

МНОГОЛЕТНИЕ КОЛЕБАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА И БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДЕ СРЕДНЕГО И ЮЖНОГО КАСПИЯ

Б. Н. АБРАМОВ

В настоящей статье мы пытаемся подвести некоторые итоги динамики отдельных ингредиентов в водах Среднего и Южного Каспия в том их комплексе, который непосредственно и главным образом определяет условия синтеза и регенерации органического вещества в интересующих нас частях моря в период от начала современного падения уровня моря до наших дней. В этот комплекс входят кислород и минеральные растворенные биогенные элементы (азот, фосфор и кремний).

Современное падение уровня Каспийского моря началось в 1934 г. К этому времени динамика гидрохимического состава воды в интересующих нас частях моря, к сожалению, была недостаточно изучена. По этому вопросу были опубликованы лишь данные в работе С. В. Бруевича [1], под руководством которого в 1933—1934 гг. в Южном и Среднем Каспии была наиболее полно произведена гидрохимическая съемка.

Полученные тогда данные позволили автору не только четко охарактеризовать химическую стратификацию вод Среднего и Южного Каспия на их глубоководных разрезах, но и помогли проследить сезонную динамику химического состава в среднем от зимы к лету.

После 1934 г. к действующим до этого факторам, определяющим гидрохимическую стратификацию и динамику химического состава воды интересующих нас частей Каспия, прибавился, как указано выше, новый фактор — падение уровня моря.

Продолжавшиеся наблюдения за состоянием моря [2, 3] позволили прийти к выводу, что падение уровня оказывает весьма сильное воздействие на физический и химический облик моря.

Гидрохимические наблюдения в Среднем и Южном Каспии продолжались в несколько сокращенном виде с 1939 по 1943 г. гидрохимиками Азербайджанского отделения ВНИРО, сначала М. В. Журавлевым, затем Б. М. Эпштейн. После пятилетнего перерыва (1944—1948 гг.) наблюдения были вновь возобновлены и проводились Б. Н. Абрамовым. Материалы наблюдений (за период с 1939 по 1954 г.) излагаются ниже в порядке сравнительного анализа с материалами предшествующих лет (1934—1938 гг.).

РАСТВОРЕННЫЙ КИСЛОРОД

Материалы по содержанию кислорода систематизированы по структурным подзонам и по интересующим нас частям моря и приведены в табл. 1.

Анализ данных табл. 1 показывает, что содержание кислорода в воде на поверхности Среднего Каспия испытывает лишь сезонные колебания, причем наивысшее содержание кислорода наблюдается зимой и весной, а самое низкое — летом. Осеннее содержание кислорода в по-

Средние данные по кислороду за ряд лет по отдельным

Год	Горизонты и структурные											
	поверхность (0 м)				подзона фотосинтеза (0-25 м)				нитритная подзона (50-100 м)			
	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
1934	8,19**	—	5,94	—	8,11**	—	5,91	—	7,43**	—	6,02	—
1935	—	7,49	5,76	—	—	7,42	5,95	—	—	7,00	5,86	—
1936	—	—	5,37	6,87	—	—	6,00	6,78	—	—	5,11	6,67
1937	7,40	7,67	4,08	6,86	7,46	7,63	4,42	6,83	7,06	7,22	4,12	5,68
1938	—	7,96	5,79	7,02*	—	7,91	5,76	6,98*	—	7,69	5,33	6,18*
1939	7,63**	7,58	—	7,27*	7,62**	7,70	—	7,20*	7,07**	7,23	—	6,79*
1940	—	7,70	6,15	6,74*	—	7,68	6,14	6,62**	—	7,22	5,39	6,05**
1941	7,57**	7,96	—	6,81	7,43*	7,87	—	6,89**	6,49**	7,99	—	5,81**
1942	—	—	—	7,02**	—	—	—	6,84**	—	—	—	6,45**
1943	—	—	6,42	—	—	—	6,19	—	—	—	6,22	—
1949	—	—	5,92	—	—	—	6,01	—	—	—	5,27	—
1952	—	8,27	5,64	—	—	8,20	5,59	—	—	7,52	5,78	—
1954	—	—	5,23	—	—	—	5,45	—	—	—	5,67	—

Содержа

1934	101**	—	99	—	100	—	96	—	91**	—	78	—
1935	—	103	104	—	—	100	98	—	—	87	73	—
1936	—	—	97	99	—	—	95	98	—	—	76**	85
1937	89	103	74	92	90	101	70	90	85	90	53	75
1938	—	100	102	98*	—	99	96	97*	—	96	69	85*
1939	95**	103	—	97*	94**	103	—	96*	87**	91	—	92*
1940	—	105	104	95**	—	102	102	93**	—	89	70	73**
1941	93**	104	—	93**	92**	102	—	93**	80**	94	—	75**
1942	—	—	—	94**	—	—	—	91**	—	—	—	82**
1943	—	—	106	—	—	—	101	—	—	—	78	—
1949	—	—	103	—	—	—	98	—	—	—	68	—
1952	—	112	101	—	—	105	93	—	—	94	72	—
1954	—	—	93	—	—	—	88	—	—	—	70	—

Содержа

* Средние данные выведены из данных по одному гидрологическому разрезу
 ** Средние данные выведены из данных по одному гидрологическому разрезу

Т а б л и ц а 1

сезонам года, горизонтам и подзонам Среднего Каспия

подзоны моря											
нитратная подзона (200—400 м)				восстановительная подзона (500—700 м)				дно халистатического района			
зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
ни е O_2 в мл/л											
3,97	—	2,85	—	1,43	—	0,78	—	0,64	—	0,13	—
—	4,16	3,68	—	—	—	1,20	—	—	—	0,90	—
—	—	3,00	3,24	—	—	0,78	1,45	—	—	0,11	—
3,15	3,27	2,98	4,06	0,48	1,22	1,54	2,54	0,00	0,76	1,12	2,14
—	3,36	3,81	—	—	1,74	1,80	—	—	1,14	0,92	—
4,70	3,33	—	—	3,02	2,21	—	—	2,62	2,04	—	—
—	4,93	5,10	3,70	—	2,69	2,50	—	—	—	—	—
4,52	3,58	—	3,21	—	1,34	—	2,02	—	—	—	—
—	—	—	5,90	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	5,21	—	—	—	4,60	—	—	—	6,84	—
—	—	4,31	—	—	—	3,00	—	—	—	2,97	—
—	4,77	4,52	—	—	4,84	4,40	—	—	5,48	5,48	—
—	—	4,98	—	—	—	4,18	—	—	—	4,50	—
ни е O_2 в %											
48	—	35	—	17	—	9	—	8	—	1	—
—	45	44	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	37	41	—	—	9	18	—	—	1	14
38	39	36	50	6	15	19	31	0	9	14	26
—	50	45	—	—	24	19	—	—	14	11	—
57	44	—	—	37	27	—	—	31	24	—	—
—	59	—	42	—	33	—	30	—	32	—	28
55	44	—	39	—	24	—	24	—	21	—	24
—	—	—	73	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	63	—	—	—	55	—	—	—	82	—
—	—	53	—	—	—	36	—	—	—	36	—
—	58	55	—	—	57	52	—	—	64	64	—
—	—	61	—	—	—	52	—	—	—	55	—

Среднего Каспия: Махачкала — м. Сагындык.
Среднего Каспия: Дивичи — зал. Кендерли.

верхностном слое находится между двумя указанными пределами. Следует подчеркнуть, что наименьшее содержание кислорода на поверхности летом было в 1937 г. (4,08 мл/л).

В подзоне фотосинтеза наблюдалась аналогичная с поверхностным слоем картина распределения кислорода, причем содержание кислорода во все сезоны и годы было в общем не ниже, чем на поверхности. Следует отметить, что летом 1937 г. в данной подзоне содержание кислорода было самым низким за все сравниваемые годы (4,42 мл/л).

В нитритной подзоне заметно общее снижение содержания кислорода во все сезоны года по сравнению с поверхностным слоем и подзоной фотосинтеза, хотя отмеченный выше характер сезонных колебаний содержания кислорода и в данном случае сохраняется. Летние величины содержания кислорода в этой подзоне в 1937 г. были также самыми низкими за все сравниваемые годы.

В нитратной подзоне по сравнению со всеми предыдущими подзонами и поверхностным слоем уже не наблюдалось относительно однообразной из года в год картины в распределении кислорода, которая отмечалась выше.

Начиная с 1938 г. содержание кислорода в этой подзоне начало заметно возрастать и в последующие годы, хотя и колебалось, но на относительно очень высоком уровне. Особенно ярко это проявилось в летние сезоны всех сравниваемых лет. Аналогичная картина наблюдалась и в восстановительной подзоне, и у дна халистатического района Среднего Каспия.

Таким образом, одним из первых и главных признаков изменений химического состава и стратификации вод Среднего Каспия в период снижения уровня моря следует признать обогащение кислородом глубинных его слоев. Начало этого явления относится к весне и особенно к лету и осени 1937 г. В 1940 г. наблюдалось максимальное насыщение кислородом глубин моря. В последующие годы в глубинных водах Среднего Каспия происходили колебания содержания кислорода на высоком уровне. При этом следует подчеркнуть, что, говоря об обогащении кислородом глубинных слоев воды Среднего Каспия, мы подразумеваем не обычное обогащение кислородом одних слоев воды за счет других, а общее увеличение содержания кислорода во всей толще воды. Это можно иллюстрировать данными табл. 2.

Таблица 2
Многолетняя динамика содержания кислорода во всей толще воды Среднего Каспия по годам в летний период

Год	Содержание O_2 в мл/л в восстановительной подзоне	Содержание O_2 в мл/л во всей толще воды
1934	0,8	4,20
1935	1,2	4,03
1936	0,8	3,42
1938	1,6	3,88
1943	3,7	5,48
1949	3,0	4,58
1952	4,4	5,16
1954	4,3	5,12

Интересно отметить, что летом 1943 г. абсолютное содержание кислорода на поверхности и у дна в халистатическом районе Среднего Каспия было практически одинаковым: 6,4 мл/л на поверхности и 6,8 мл/л у дна.

С. В. Бруевич [2] указывал, что от 1934 к 1937 г. происходило относительное уменьшение содержания кислорода на горизонте 100 м. Это явление он объяснял усилившимся обменом водных масс между зоной аккумуляции и зоной обеднения биогенными элементами, а также частично увеличением количества падающих сверху остатков отмерших организмов, вызывавших дополнительный расход кислорода на окислительные процессы. В 1938 г. указанный характер распределения кислорода сохранился, но было отмечено также заметное повышение содержания кислорода в глубинных слоях Среднего Каспия, что еще раз подтвердило высказанное заключение об усилении вертикальной циркуляции.

Мы целиком придерживаемся мнения об усилении вертикальной циркуляции, когда стремимся объяснить описанный выше факт обогащения кислородом глубинных вод Среднего Каспия. Мы считаем, что теперь ясно видно, что сомнения С. В. Бруевича [2] по поводу данных о содержании кислорода в глубинных водах Среднего Каспия в 1937 г. и браковка всех материалов по кислороду, собранных летом этого года, являются совершенно необоснованными.

Переходя к анализу данных по кислороду в Южном Каспии (табл. 3), прежде всего следует отметить, что заметное обогащение кислородом глубинных слоев воды началось здесь много позже и проявилось гораздо слабее, чем в Среднем Каспии. Хотя постепенное обогащение кислородом было относительно последовательным, резкие изменения были обнаружены лишь в 1954 г.

Стремясь объяснить описанные выше явления в распределении кислорода в Южном Каспии и выяснить причины различий в кислородном режиме по сравнению с Средним Каспием, мы вновь обращаемся к выводам, высказанным ранее. Особого внимания заслуживают в данном случае наблюдения за глубиной проникновения вертикальной циркуляции. Граница действия вертикальной циркуляции, обусловленной зимним охлаждением, лежит между 50—100 м, а граница турбулентного перемешивания — около 100 м от поверхности.

Однако указывалось, что аэрация более глуболежащих масс воды зависит уже не от вышеперечисленных факторов, а от сползания охлажденных и аэрированных вод по северному склону Среднего Каспия в область больших глубин. В Южном Каспии дополнительная аэрация зависит от переливания более холодных и более аэрированных вод Среднего Каспия через подводный Апшеронский порог.

В среднем глубина опускания аэрирующих вод в Среднем и Южном Каспии, по мнению С. В. Бруевича [1] близка к 500 м, в Южном Каспии доходит иногда до 700 м.

Другим фактором аэрации глубинных вод, особенно Южного Каспия, отмеченным ранее, является зимнее сползание охлажденных вод высокой солености с восточного мелководья. Из сказанного следует, что аэрация глубинных вод Южного Каспия в известной мере зависит от глубины и силы вертикальной циркуляции в Среднем Каспии. Теперь можно сказать, что именно поэтому обогащение кислородом глубинных вод Южного Каспия, как указано выше, происходит слабее и позже, чем в Среднем Каспии.

Это мнение, которого мы придерживаемся, было высказано еще в начале периода падения уровня моря. В последующее время был сделан вывод об усилении в Каспии вертикальной циркуляции в первый период снижения уровня моря (от 1934 к 1937 г.). Однако до настоящего времени остается открытым вопрос о причине усиления сползания охлажденных аэрированных вод по северному склону Среднего Каспия в его халистатику в период падения уровня моря.

Средние данные по кислороду за ряд лет по отдельным

Год	Горизонты и структурные											
	поверхность (0 м)				подзона фотосинтеза (0—25 м)				нитритная подзона (50—100 м)			
	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
	С о д е р ж а											
1934	7,99	—	5,36	—	7,83	—	5,39	—	6,14	—	5,01	—
1935	—	7,39	5,53	—	—	7,45	5,91	—	—	5,92	4,68	—
1936	—	—	5,13	5,27	—	—	5,63	6,10	—	—	4,35	4,19
1937	6,95	6,49	5,43	5,54	6,83	6,53	5,89	6,59	5,81	5,10	4,76	4,60
1938	7,35*	7,46	5,2	6,39	7,24*	7,43	5,60	6,35	6,14*	6,83	4,67	4,52
1939	7,24	6,83	—	6,67	7,22	7,01	—	6,60	5,88	5,40	—	5,21
1940	—	7,15	6,49	6,64	—	7,25	6,29	6,43	—	5,86	4,68	5,17
1941	7,25	7,08	—	6,57	7,10	7,10	—	6,55	5,90	5,80	—	5,19
1942	—	—	—	6,80	—	—	—	6,60	—	—	—	5,08
1943	—	—	6,15	6,61	—	—	6,09	6,55	—	—	5,30*	4,74*
1949	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1952	—	7,60*	5,74*	—	—	7,70*	5,95*	—	—	6,59	4,07	—
1954	—	—	5,14	—	—	—	5,33	—	—	—	4,03	—
	С о д е р ж а											
1934	103	—	94	—	101	—	91	—	83	—	67	—
1935	—	103	100	—	—	101	100	—	—	77	62	—
1936	—	—	94	96	—	—	93	93	—	—	57	56
1937	89	95	101	94	88	92	95	93	77	65	61	62
1938	95*	100	97	93	94*	99	96	92	80*	86	61	58
1939	96	104	—	97	95	101	—	96	77	74	—	68
1940	—	104	109	101	—	104	103	98	—	77	63	69
1941	97	99	—	93	95	98	—	93	81	76	—	71
1942	—	—	—	100	—	—	—	97	—	—	—	68
1943	—	—	103*	99*	—	—	100*	98*	—	—	72*	63*
1949	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1952	—	102*	98	—	—	102	94	—	—	84*	56	—
1954	—	—	95	—	—	—	91	—	—	—	58	—

* Средние данные выведены из данных по одному гидрологическому разре

** Средние данные выведены из данных по одному гидрологическому разре

Таблица 3

сезонам года, горизонтам и подзонам Южного Каспия

подзоны моря											
нитратная подзона (20С—400 м)				восстановительная подзона (500—900 м)				дно халистатического района			
зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
ни е O ₂ в мл/л											
3,30	—	2,51	—	0,83	—	0,32	—	0,25	—	0,0	—
—	2,82**	2,71**	—	—	0,46	0,84	—	—	0,11	0,15	—
—	—	2,38**	3, 5	—	—	0,58	1,29	—	—	0,30	—
2,84**	2,92**	4,50**	3,16**	0,65	0,73	1,60	1,20	0,28	0,35	—	0,82
4,13*	3,00**	2,78**	2,47**	—	1,06	0,86	0,61	—	0,84	0,71	0,16
2,71**	2,74	—	2,36**	0,62	0,31	—	0,64	0,31	0,20	—	0,22
—	3,52**	3,15**	2,88**	—	1,68	—	—	—	—	0,96	—
3,08**	2,96**	—	2,73**	1,33	0,66	—	0,49	0,78	0,29	—	0,04
—	—	—	3,23**	—	—	—	1,35	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	3,21**	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	2,59**	—	—	—	2,36	—	—	—	3,55	—
ни е O ₂ в %											
42	—	32	—	9	—	5	—	3	—	0	—
—	35	34	—	—	6	8	—	—	1	1	—
—	—	29	37	—	—	7	14	—	—	4	—
35	36	56	39	8	9	17	15	3	4	24	10
—	42	39	30	—	13	16	6	—	11	8	2
33	26	—	31	9	4	—	8	4	2	—	3
—	43	—	36	—	15	—	—	—	12	—	—
38	37	—	37	16	8	—	6	10	4	—	1
—	—	—	40	—	—	—	16	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	32	—	—	—	31	—	—	—	44	—

зу Южного Каспия: о-в Жилой — м. Куули.

зу Южного Каспия: о-в Куринский Камень — о-в Огурчинский

БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Наиболее показательными элементами с точки зрения выявления изменений химического состава и стратификации вод Среднего и Южного Каспия в период современного падения уровня моря являются биогенные элементы.

Как известно, наиболее ясное представление о химической стратификации вод Среднего и Южного Каспия было установлено С. В. Бруевичем [1] именно по характеру вертикального распределения биогенных элементов. В самом начале современного падения уровня моря (1934 г.), когда этот фактор не мог еще влиять на установившиеся гидрологические закономерности Каспия, было сделано заключение, что минимальные концентрации минеральных растворенных биогенных элементов во все периоды года располагались в слое от поверхности до 25 м, причем концентрации эти относительно снижались от зимы к лету, когда азота и фосфора здесь практически не было. В слое воды от 50 до 100 м были обнаружены наивысшие концентрации азота нитритов, а в слое от 200 до 400 м — наивысшие концентрации азота нитратов. Концентрации фосфатного фосфора и кремния ниже слоя 25 м последовательно возрастали ко дну.

Все эти данные по биогенным элементам позволили разделить море на структурные зоны и подзоны. Структурных зон было выделено две: верхняя (до 100 м) зона обеднения и нижняя (ниже 100 м) зона аккумуляции биогенных элементов. В пределах зоны обеднения была выделена резко выраженная подзона фотосинтеза (0—25 м) и нитритная подзона (50—100 м), а в зоне аккумуляции — нитратная (200—400 м) и восстановительная (ниже 400 м) подзоны.

Такое распределение биогенных элементов объяснялось своеобразным гидрологическим режимом моря. Потребление биогенных элементов, как указывал С. В. Бруевич, происходит в зоне обеднения и главным образом летом, а некоторое их возмещение совершается в основном зимой за счет сокращения их потребления и извлечения из зоны обеднения в подзону фотосинтеза благодаря вертикальной циркуляции и турбулентному перемешиванию. Процесс этот, по высказанному мнению, протекал в Среднем Каспии более энергично, чем в Южном. В зоне аккумуляции шло накопление биогенных элементов, связанное с регенерацией органического вещества отмирающих планктонных организмов, падающих из фотосинтетического слоя. Однако вследствие уменьшения с глубиной кислорода нитрификация аммиачного азота на глубине задерживалась и минерализация органического азота останавливалась на стадии аммонификации, в силу чего нитратов в глубинных слоях халистатических районов Среднего и Южного Каспия практически не было.

Современные данные о стратификации биогенных элементов в интересующих нас частях моря значительно меняют описанную выше закономерность, действовавшую до начала современного падения уровня моря. Особенно наглядно это проявляется на азоте нитратов, хотя в данном случае мы располагаем далеко не полным материалом.

Азот нитратов

В табл. 4 нами сведены данные по азоту нитратов для Среднего и отдельно Южного Каспия.

Данные табл. 4 свидетельствуют о том, что в Среднем Каспии к 1952—1954 гг. по сравнению с 1934 г. основные концентрации нитратов переместились из нитратной подзоны в восстановительную и достигали иногда (лето 1952 г.) максимума у дна халистатического района этой части моря, что находится в соответствии с современным вертикальным распределением кислорода, описанным выше.

Таблица 4

Средние данные по азоту нитратов (в $\mu\text{кг/л}$) за ряд лет по отдельным сезонам, горизонтам и подзонам Среднего и Южного Каспия

Годы	Сезоны года	Горизонты и подзоны моря					
		поверхность	подзона фотосинтеза	нитритная подзона	нитратная подзона	восстановительная подзона	дно халистатического района
Средний Каспий							
1934	Зима	13,0	13,0	50,0	117,0	27,0	7,0
1934	Лето	0,0	0,0	28,0	117,0	63,0	0,0
1952	Весна	0,1	0,1	7,0	91,0	125,0	120,0
1952	Лето	0,5	0,8	20,0	73,0	116,0	120,0
1954	Лето	4,3	2,5	38,5	88,5	75,0	66,0
Южный Каспий							
1933	Лето	7,0	6,0	12,0	78,0	45,0	—
1934	Зима	0,0	0,0	23,0	109,0	40,0	0,0
1934	Лето	0,0	0,0	28,0	138,0	58,0	0,0
1952	Весна	0,0	0,2	4,0	—	—	—
1952	Лето	4,0	3,0	31,0	—	—	—
1954	Лето	1,0	0,8	37,0	70,5	52,5	64,0

В Южном Каспии, как видно из табл. 4, сравнимым с 1934 г. является лишь 1954 г., в летний период которого было обнаружено, что концентрации нитратов почти поровну распределились между нитратной и восстановительной подзонами, что также гармонирует с современным вертикальным распределением кислорода в этой части моря.

Фосфор фосфатов

В табл. 5 сведены данные по фосфору фосфатов по каждой из интересующих нас частей моря.

Как видно из табл. 5, в Среднем Каспии во все сезоны года и особенно в летние периоды концентрации фосфатов на поверхности и до некоторой степени в подзоне фотосинтеза с 1937 г. почти последовательно из года в год возрастали, причем в 1940 г. они достигали максимума.

Однако после 1940 г. концентрация фосфатов по годам колебалась, причем на относительно высоком уровне (кроме лета 1954 г.).

У дна халистатического района и отчасти в восстановительной подзоне Среднего Каспия, наоборот, концентрации фосфора почти последовательно, из года в год, снижались независимо от сезонов года.

В других подзонах (нитритной и нитратной) Среднего Каспия концентрации фосфора хотя и колебались по каждому из сезонов года в период всех лет наблюдений, однако колебания эти не носили резкого характера и не отражали какой-либо закономерности.

В Южном Каспии (см. табл. 5) на поверхности и даже в подзоне фотосинтеза наблюдалась аналогичная с Средним Каспием картина возрастания концентрации фосфора по годам и сезонам (кроме осени), хотя с несколько меньшей силой. Обнаружить последовательное снижение по годам концентраций фосфора у дна халистатического района и в восстановительной подзоне в этой части моря не удается.

Предпринятые нами попытки обнаружить изменения общих концентраций фосфора во всей толще воды как Среднего, так и Южного Каспия ни к чему не привели.

Средние данные по фосфору фосфатов за ряд лет по отдель

Год	Горизонты и структур											
	поверхность (0 м)				подзона фотосинтеза (0-25 м)				нитритная подзона (50-100 м)			
	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень

Средний

1934	3,0	—	0,0	—	4,0	—	0,3	—	9,5	—	6,0	—
1935	—	2,0	1,0	—	—	2,2	1,1	—	—	10,0	7,8	—
1936	—	—	3,1	—	—	—	3,9	—	—	—	8,0	—
1937	7,0	1,4	6,0**	—	5,2	1,0	6,5**	—	13,0	7,1**	10,0**	—
1938	—	6,1*	4,1	13,8*	—	9,1	3,2	5,1*	—	11,8	6,1	18,0*
1939	12,4**	5,3	—	7,5*	12,8**	4,5	—	7,6*	12,3**	6,7	—	9,7*
1940	—	8,9	12,5	6,9**	—	7,0	12,5**	7,7	—	11,3	13,7	14,5**
1941	17,0**	12,5	—	6,3**	17,0**	12,2	—	7,5**	18,5**	13,4	—	15,9**
1942	—	—	—	3,3**	—	—	—	3,5**	—	—	—	8,5**
1943	—	—	7,2	—	—	—	7,2	—	—	—	9,4	—
1949	—	—	5,9	—	—	—	8,0	—	—	—	11,3	—
1952	—	8,0	8,4	—	—	7,1	8,7	—	—	10,0	15,4	—
1954	—	—	1,2	—	—	—	2,7	—	—	—	11,2	—

Ю ж н ы й

1934	1,0	—	0,0	—	1,2	—	0,0	—	6,3	—	7,7	—
1935	—	4,0	2,3	—	—	4,0	3,0	—	—	7,7	10,6	—
1936	—	—	3,0	—	—	—	2,2	—	—	—	8,3	—
1937	2,1	0,4	5,5	—	2,2	0,7	7,5	—	9,4	5,5	15,5	—
1938	3,6*	7,4	0,7	8,1	7,8*	6,9	0,9	9,2	15,7*	7,8	6,5	13,0
1939	10,6	7,7	—	9,8	9,4	4,6	—	10,7	10,1	8,4	—	14,1
1940	—	8,5	19,5	7,2	—	11,2	12,8	6,8	—	6,4	16,7	14,5
1941	11,5	6,6	—	5,7	14,6	6,1	—	6,1	15,5	12,1	—	11,1
1942	—	—	—	3,2	—	—	—	3,5	—	—	—	7,0
1943	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1949	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1952	—	9,3*	7,1	—	—	7,6*	7,2	—	—	10,3*	14,6	—
1954	—	—	1,3	—	—	—	1,6	—	—	—	12,6	—

* Средние данные выведены из данных по одному гидрологическому разрезу
 ** Средние данные выведены из данных по одному гидрологическому разрезу
 мень — о-в Огурчинский.

Таблица 5

ным сезонам года, горизонтам и подзонам Каспия (в мкг/л)

ные подзоны моря											
нитратная подзона (200—400 м)				восстановительная подзона (500—700 м)				дно халистатического района			
зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень

К а с п и й

34,0	—	35,5	—	55,0	—	48,0	—	75,0	—	52,0	—
—	23,0	29,3	—	—	27,0	30,0	—	—	—	31,3	—
—	32,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
38,3	32,7	18,0	—	58,0	50,0	54,0	—	56,0	54,0	76,0	—
—	26,0	30,0	—	—	31,2	41,2	—	—	31,0	50,0	—
22,9	12,6	—	—	31,0	25,1	—	—	30,3	24,7	—	—
—	30,7	—	30,0	—	68,8	—	39,3	—	—	—	41,0
36,0	35,0	—	28,4	37,0	63,7	—	32,4	32,0	71,0	—	33,8
—	—	—	10,1	—	—	—	14,0	—	—	—	—
—	—	12,0	—	—	—	15,1	—	—	—	12,5	—
—	—	26,0	—	—	—	36,4	—	—	—	40,0	—
—	23,4	31,5	—	—	27,3	25,4	—	—	26,5	23,0	—
—	—	19,8	—	—	—	22,3	—	—	—	20,8	—

К а с п и й

28,0	—	37,5	—	67,0	—	55,0	—	78,0	—	53,0	—
—	30,0	38,0	—	—	49,0	54,0	—	—	52,0	51,0	—
—	—	36,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
27,0	31,3	—	—	57,0	75,5	—	—	63,0	—	—	—
—	20,7	27,7	32,0	—	35,0	—	—	—	—	—	—
40,9	20,8	—	30,3	56,7	34,1	—	70,4	55,6	39,0	—	105,6
—	24,6	—	31,3	—	49,0	—	—	—	42,9	—	—
38,0	42,0	—	27,9	58,0	78,0	—	59,0	69,0	91,0	—	79,0
—	—	—	16,6	—	—	18,0	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	17,3	—	—	—	28,0	—	—	—	28,9	—

Среднего или Южного Каспия: Махачкала—м. Сягындык или о-в Жилой—м. Куули.
Среднего или Южного Каспия: Дивичи—зал. Кендерли или о-в Куринский Ка-

Средние данные по кремнию (в мкг/л) за ряд лет по

Год	Горизонты и структур											
	поверхность (0 м)				фотосинтеза (0-25 м)				нитритная (50-100 м)			
	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень

Средний

1934	407**	—	380	—	412**	—	372	—	483	—	549	—
1935	—	—	198	—	—	—	231	—	—	—	527	—
1936	—	—	128	—	—	—	138	—	—	—	340	—
1937	387	247	228	287	408	252	258	331	558	385	341	611
1938	—	807	269	227*	—	1024	385	226*	—	916	631	284*
1939	491**	190	—	—	558**	225	—	—	923**	408	—	—
1940	157*	433	1088**	276**	164	679	1356**	289**	485*	969	1942**	556**
1941	651**	758	—	398**	802**	650	—	392**	873**	848	—	636**
1942	—	—	—	371**	—	—	—	455**	—	—	—	1049
1943	—	—	530	—	—	—	439	—	—	—	1579	—
1949	—	—	267	—	—	—	333	—	—	—	515	—
1952	—	303	212	—	—	307	224	—	—	348	295	—
1954	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Южный

1934	343	—	239	—	312	—	268	—	454	—	479	—
1935	—	141**	127	—	—	145	132	—	—	255	426	—
1936	—	—	197	—	—	—	193	—	—	—	484	—
1937	153	229	272	239	156	249	281	257	223	472	332	473
1938	244*	321	183	176	258*	330	244	189	489*	420	570	409
1939	170	150	—	—	180	187	—	—	308	345	—	—
1940	—	217	704	406	—	200	792	429	—	474	1197	723
1941	701	403	—	359	674	469	—	269	1013	749	—	523
1942	—	—	—	285	—	—	—	357	—	—	—	737
1943	—	—	536*	336*	—	—	389*	342*	—	—	666*	740*
1949	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1952	—	403*	193*	—	—	416*	214*	—	—	436*	408	—
1954	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Средние данные получены из данных по одному гидрологическому разрезу

** Средние данные получены из данных по одному гидрологическому разрезу (Огурчинский) Каспия.

Таблица 6

отдельным сезонам года, горизонтам и подзонам Каспия

ные подзоны моря

нитратная (200—400 м)				восстановительная (500—700 м)				дно халистатического района			
зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
К а с п и й											
1289	—	1393	—	2681	—	3218	—	3500	—	3875	—
—	—	1310	—	—	—	2259	—	—	—	2778	—
—	—	1446	—	—	—	2874	—	—	—	3260	—
1627	1514	609	1204	4107	2701	1167	3277	5000	3761	1250	5000
—	2006	1551	—	—	3423	3741	—	—	5357	4870	—
2612	2034	—	—	4350	3300	—	—	—	3600	—	—
—	1157	2276	1420	—	—	—	2349	—	—	—	2747
1705	1768	—	1430	2649	3490	—	2096	2500	4310	—	2155
—	—	—	1284	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	1568	—	—	—	2036	—	—	—	1923	—
—	—	341	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	759	520	—	—	1572	883	—	—	1645	875	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

К а с п и й

941	—	1055	—	2108	—	2239	—	2119	—	3050	—
—	1114	878	—	—	2449	2226	—	—	2941	2778	—
—	—	1410	—	—	—	2042	—	—	—	2258	—
811	1229	—	1306	1588	2993	—	4654	1846	3993	—	4571
—	653	1405	1327	—	1403	2633	2287	—	2020	3000	3035
1104	1069	—	—	2132	2850	—	—	2575	3340	—	—
—	613	1250	1288	—	1242	—	—	—	1150	—	—
1436	1351	—	1416	2190	2174	—	2448	2450	2604	—	2604
—	—	—	1288	—	—	—	2108	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	530	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Среднего (Махачкала — м. Сагындык) или Южного (о-в Жилой — м. Куули) Каспия.
Среднего (Дивичи — зал. Кендерли) или Южного (о-в Куринский Камень — о-в

Кремний в морской воде

Все имевшиеся в нашем распоряжении данные по кремнию сведены в табл. 6.

Данные табл. 6 по кремнию на первый взгляд представляют очень пеструю картину. По ней трудно установить какие-либо закономерные изменения, которые, например, были выявлены по кислороду, азоту нитратов и фосфору. Однако, если эти данные систематизировать по зонам моря (зонам обеднения и аккумуляции) и по глубоководным разрезам Среднего (Дивичи — м. Кендерли) и Южного (о-в Куринский Камень—о-в Огурчинский) Каспия, отдаленным от непосредственного влияния речного стока, тогда картина несколько меняется и приближает нас к истине, во всяком случае с точки зрения выявления динамики вертикальной циркуляции в обоих интересующих нас глубоководных районах моря.

Систематизированные таким образом данные по кремнию мы приводим в табл. 7.

Таблица 7

Динамика изменения концентраций кремния (в $\mu\text{г}/\text{л}$) в зонах обеднения и аккумуляции в различные сезоны за ряд лет в Каспии

Год	Зона обеднения				Зона аккумуляции			
	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
Средний Каспий								
1933	—	—	—	—	—	—	—	—
1934	440	—	441	—	2072	—	2306	—
1935	—	—	362	—	—	—	1768	—
1936	—	—	235	—	—	—	2162	—
1937	485	331	289	—	2866	2108	888	—
1938	—	980	478	—	—	2816	2802	—
1939	716	299	—	—	2996	2521	—	—
1940	—	318	1419	396	—	1346	—	1934
1941	810	721	—	489	2175	2631	—	1813
1942	—	—	—	692	—	—	—	1588
1943	—	—	874	—	—	—	1803	—
1952	—	323	253	—	—	1165	702	—
1954	—	—	—	—	—	—	—	—
Южный Каспий								
1933	—	—	213	—	—	—	1411	—
1934	369	—	352	—	1508	—	1765	—
1935	—	200	270	—	—	1877	1648	—
1936	—	—	340	—	—	—	1771	—
1937	190	362	314	—	1278	2250	—	—
1938	—	365	375	275	—	1122	2173	1927
1939	232	250	—	—	1747	2182	—	—
1940	—	316	964	447	—	1006	—	—
1941	810	581	—	369	1907	1821	—	2060
1942	—	—	—	508	—	—	—	1690
1943	—	—	—	—	—	—	—	—
1952	—	—	295	—	—	—	—	—
1954	—	—	—	—	—	—	—	—

После соответствующей систематизации данных становится ясным, что зимой за ряд лет в зоне обеднения Среднего Каспия происходило последовательное повышение концентрации кремния. Кроме того, появление в этой зоне Среднего Каспия таких высоких концентраций кремния, как весной 1938 и 1941 гг., летом 1940 и 1943 гг. и осенью 1940 г., говорит о безусловном подъеме кремния из зоны аккумуляции. В свою очередь, в зоне аккумуляции Среднего Каспия не наблюдалось известного постоянства концентрации кремния, что указывает на появление в этой зоне чуждых ей вод, вызывавших временами уменьшение концентраций кремния (см. весну 1940 и 1952 гг. и лето 1937 и 1952 гг.).

В Южном Каспии после соответствующей систематизации данных по кремнию пестрота картины, отражающей концентрации кремния, все же менее сглаживается, чем в Среднем Каспии. Однако и здесь, в зоне обеднения, имели место резкие повышения концентраций кремния (см. лето 1940 г., зиму и весну 1941 г.). В зоне же аккумуляции Южного Каспия не замечалось значительных снижений концентраций кремния, хотя весенние данные 1938 и 1940 гг. дают основание полагать, что и здесь поступление чуждых вод все же имело место, хотя и с наименьшей силой, чем в Среднем Каспии.

Азот нитритов

По азоту нитритов мы располагаем материалами только до 1940 г., причем до 1938 г. включительно эти данные были опубликованы ранее [1, 2 и 3].

Все имеющиеся данные по нитритам сведены в табл. 8.

Таблица 8

Средние данные по азоту нитритов (в $\mu\text{кг/л}$) за ряд лет по отдельным сезонам года, горизонтам и зонам Каспия

Год	Поверхность				Зона обеднения				Зона аккумуляции			
	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень

Средний Каспий

1934	0,2	—	0,0	—	0,2	—	0,0	—	0,0	—	—	—
1935	—	0,0	—	—	—	0,0	—	—	—	0,0	—	—
1936	—	—	0,0	0,3	—	—	0,3	0,5	—	—	0,0	0,3
1937	0,6	0,8	0,6	0,3	0,8	0,5	0,6	0,3	0,2	0,2	0,3	0,0
1938	—	0,1	0,3	0,3	—	0,1	0,4	0,3	—	0,0	0,4	—
1939	0,7	0,0	—	—	0,7	1,0	—	—	0,3	0,1	—	—
1940	—	0,5	0,3	0,3	—	1,0	0,4	0,3	—	0,1	0,2	0,4

Южный Каспий

1934	0,2	—	—	—	0,3	—	—	—	0,2	—	—	—
1935	—	0,0	—	—	—	0,0	—	—	—	0,0	—	—
1936	—	—	0,0	0,7	—	—	0,5	0,9	—	—	0,0	1,4
1937	0,4	0,2	0,3	0,2	0,5	0,2	0,4	0,2	—	0,1	0,2	0,0
1938	0,3	0,1	0,7	0,3	0,3	0,2	0,9	0,3	—	0,0	0,7	0,0
1939	0,3	0,0	—	—	0,4	0,1	—	—	0,0	0,0	—	—
1940	—	0,3	0,2	—	—	0,4	0,3	0,4	—	—	—	0,2

В Среднем Каспии после начавшегося резкого снижения уровня моря существенно повышаются концентрации нитритного азота на поверхности. Началось это явление с осени 1936 г. и длилось в течение 1937, 1938 и 1940 гг. и частично (зимой) в 1939 г. Необычная картина наблюдалась и в распределении по годам нитритов в зоне аккумуляции, где было обнаружено после 1936 г. значительное содержание нитритов.

Максимальные концентрации нитритов в зоне обеднения Среднего Каспия, куда входит и нитритная подзона, вполне закономерны.

В Южном Каспии в распределении нитритов на поверхности наблюдалась почти аналогичная с Средним Каспием картина. Однако в зоне аккумуляции Южного Каспия нитриты наблюдались лишь эпизодически.

ВЫВОДЫ

1. Наблюдения за кислородом и биогенными элементами (азотом, фосфором и кремнием) в Среднем и Южном Каспии в период падения уровня моря (1934—1954 гг.) показывают, что со второй половины 1937 г. в этих частях моря происходили такие физические, химические и биологические процессы, которые коренным образом изменили характер стратификации элементов.

2. К началу падения уровня моря (1934 г.) содержание кислорода последовательно убывало по мере опускания ко дну и абсолютное его содержание у дна халистатического района Южного Каспия практически равнялось нулю, а в Среднем Каспии исчислялось десятками долями миллилитра.

С лета 1937 г. глубинные воды Среднего Каспия начали обогащаться кислородом и к 1943 г. содержание кислорода достигло максимума, после чего колебания в содержании кислорода происходили на очень высоком уровне.

В Южном Каспии процесс обогащения глубинных вод кислородом происходил значительно медленнее.

3. К началу падения уровня моря (1934 г.) нитраты концентрировались в толще воды от 200 до 400 м и содержание их убывало ко дну. Это происходило в силу отсутствия или недостатка здесь кислорода, когда процесс минерализации органического азота останавливался на стадии аммонификации. Наблюдения за нитратами в последующие годы показали, что концентрации их у дна нарастали и практически сравнивались (а иногда и превышали) с концентрациями нитратов в нитратной подзоне (200—400 м). Это явление хорошо сочетается с современным распределением кислорода.

4. Фосфаты на поверхности как Среднего, так и Южного Каспия к началу периода падения уровня моря практически отсутствовали, а по мере увеличения глубины концентрации их плавно возрастали.

В последующие годы и особенно с 1937 по 1940 г. на поверхности обеих интересующих нас частей моря летние концентрации фосфатов значительно возросли и после 1940 г. колебания их происходили на относительно высоком уровне. Кроме того, у дна Среднего Каспия было обнаружено последовательное, из года в год, уменьшение концентрации фосфатов.

5. Наблюдения за азотом нитритов и за кремнием также показывают значительные изменения их вертикального распределения после начала снижения уровня моря. В Среднем Каспии эти изменения характеризуются частым появлением в зоне обеднения высоких концентраций нитритов и кремния, а в зоне аккумуляции — периодическим снижением концентрации кремния.

6. Все перечисленные выше явления химической стратификации дают основания подтвердить мнение об общем усилении вертикальной циркуляции в период падения уровня моря.

Начало усиления вертикальной циркуляции в Среднем Каспии пришлось на середину 1937 г.; затем, достигнув максимума в 1943 г., интенсивность перемешивания ослабела. В Южном Каспии это явление наступило позже и проявлялось много слабее.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Бруевич С. В., Гидрохимия Среднего и Южного Каспия, АН СССР, 1937.
2. Бруевич С. В., Динамика химического состава Каспийского моря в период падения его уровня (1933—1937 гг.), Известия Географического общества, № 6, 1939.
3. Бруевич С. В., Гидрохимический обмен Каспийского моря в 1938 г., Труды по комплексному изучению Каспийского моря, вып. 14, 1941.