

с участием Института географии АН Азербайджанской ССР. Гидрохимические работы на судах и в лаборатории выполнялись силами ГОИНа и Бакинской ГМО.

Целью поставленной работы являлось освещение особенностей гидрохимического режима моря и отдельных его районов, а также физико-химических свойств и солевого состава каспийских вод. При выполнении работы использован собранный в экспедициях 1959—1963 гг. материал. Привлечены для сравнения все имеющиеся литературные и архивные материалы.

## Глава II

### СОЛЕВОЙ СОСТАВ ВОД КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Воды океана и открытых морей отличаются, как известно, постоянством соотношений между главными элементами солевого состава. Экспериментально определено строгое соотношение между соленостью, хлорностью, удельным весом и плотностью для океанской воды. На этом основании в 1940 г. под руководством Н. Н. Зубова (1957) были составлены «Океанографические таблицы», которыми широко пользуются в океанографической практике. В морях, имеющих ограниченный обмен с океаном или совершенно не соединенных с ним, также существует постоянство солевого состава, для каждого моря свое, но заметно отличное от солевого состава вод океана (табл. 61).

Ионный состав вод, а следовательно, и отношения между компонентами в разных морях и в океане различны. Для Каспийского моря соотношение между соленостью и хлорностью было установлено Лебединцевым (1901) на основании анализа проб воды, отобранных в 1897 г. в Среднем Каспии. Оно имеет следующий вид:  $S_{\text{‰}} = 2,386Cl_{\text{‰}}$ . Позднее (по данным 1933 г.) очень близкое к этому соотношение  $S_{\text{‰}} = 2,396Cl_{\text{‰}}$  было найдено Бруевичем (1937) для вод Южного Каспия. Как видно из этих соотношений, вода открытой части Среднего и Южного Каспия отличается большой однородностью; она называется нормальной или истинной каспийской водой. Для нее экспериментально также установлено строгое соотношение между соленостью, хлорностью, плотностью и удельным весом (Трофимов, 1939).

Северная часть Каспийского моря, благодаря мощному волжскому стоку, заполнена опресненными водами с иными физико-химическими свойствами, чем более соленые морские воды Среднего и Южного Каспия. Зависимость между соленостью и хлорностью для вод Северного Каспия, теоретически полученная Трофимовым (1939), выражается уравнением  $S_{\text{‰}} = 0,14 + 1,36Cl_{\text{‰}}$ . Правомочность его подтверждена также экспериментальными работами А. А. Мусиной и Н. И. Микей (1941). Свободный член

уравнения характеризует пресноводную составляющую волжских вод.

Таблица 61

**Сравнительный ионный состав вод океана, Черного, Азовского, Каспийского и Аральского морей  
(по средним данным для открытого моря)**

Ионы	Океан <sup>1</sup>		Черное море <sup>2</sup>		Азовское море <sup>3</sup>		Каспийское море <sup>4</sup>		Аральское море <sup>5</sup>	
	г/кг	% экв.	г/кг	% экв.	г/кг	% экв.	г/кг	% экв.	г/кг	% экв.
Na <sup>+</sup>	10,56	38,67			3,755	38,18	3,156	31,58	1,946	28,76
K <sup>+</sup>	0,38	0,82	5,795	39,14	0,140	0,84	0,100	0,58	0,097	0,90
Ca <sup>++</sup>	0,41	1,72	0,253	1,96	0,18	2,16	0,334	3,83	0,413	7,57
Mg <sup>++</sup>	1,27	8,79	0,697	8,90	0,460	8,84	0,740	14,00	0,459	12,77
Σ % экв. катионов		50,00		50,00		50,02		49,99		50,00
Cl <sup>-</sup>	18,98	45,06			6,729	44,38	5,347	34,69	3,009	29,09
Br <sup>-</sup>	0,06	0,06	10,230	44,84	0,024	0,06	0,007	0,02	0,0013	0,00
SO <sub>4</sub> <sup>==</sup>	2,65	4,64	1,440	4,66	0,996	4,85	3,038	14,55	2,690	19,62
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,14	0,23	0,198	0,50	0,179	0,69	0,214	0,73	0,172	1,29
Σ % экв. анионов		49,89		50,00		49,91		49,99		50,00
Σ ионов и % экв. катионов и анионов	34,45	99,89	18,614	100,00	12,463	99,93	12,936	99,98	8,787	100,00

<sup>1</sup> По Свердрупу, Джонсону и Флемингу.

<sup>2</sup> По Скопинцеву (1958), для поверхностных вод.

<sup>3</sup> По Цуриковой (1960).

<sup>4</sup> По Лебединцеву (1901) и Бруевичу (1937).

<sup>5</sup> По Блинову и Цуриковой (1956).

«Океанологические таблицы», составленные для океанских вод, неприменимы для Каспийского моря и других внутренних морей. Впервые «Океанологические таблицы» для Каспийского моря составлены в 1949 г.

Основанием для составления таблиц послужили теоретические и экспериментальные работы лаборатории гидрохимии ВНИРО, выполненные Трофимовым под руководством Бруевича.

Эти таблицы в 1961—1962 гг. расширены коллективом сотрудников лаборатории химии моря ГОИНа (А. С. Пахомовой, Г. В. Лебедевой) и кафедры океанологии географического факультета МГУ (А. Н. Косаревым, А. Н. Спидченко).

В результате всех исследований, проведенных на основании большого количества химических анализов вод Каспийского

моря, количественная зависимость между хлором и соленостью была установлена в достаточной степени точно.

Каспийское море — замкнутый водоем; в силу своего меридионального расположения оно обладает рядом физико-географических особенностей и прежде всего разнообразием климатических условий, что накладывает свой отпечаток на химический состав вод.

Солевой состав вод Каспийского моря изучался рядом исследователей. Лебединцев (1901) впервые исследовал химические свойства воды в условиях судовой лаборатории. На полный химический анализ взяты четыре пробы воды из Среднего Каспия (табл. 62), две из них собраны в мае и июне 1897 г. в восточной части моря у входа в залив Кара-Богаз-Гол (Лебединцев) и две в мае 1893 г. в западной части, недалеко от Баку (Остроух и Гершкович).

Таблица 62

Солевой состав каспийской воды (г/кг), по А. А. Лебединцеву

№ анализа	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>==</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>==</sup>	Сумма ионов
1	3,1564	0,0802	0,3208	0,7381	5,3376	0,0084	3,0308	0,1012	12,7735
2	3,0377	0,0790	0,3498	0,7186	5,3129	0,0079	3,0276	0,1133	12,6462
3	3,1000	0,0770	0,3333	0,7285	5,2930	0,0079	3,0180	0,1091	12,6668
4	3,2500	0,0900	0,3400	0,7100	5,2530	0,0080	3,0379	0,1133	12,8014
Среднее	3,1360	0,0815	0,3360	0,7238	5,2990	0,0080	3,0286	0,1092	12,7220

Примечания: 1. Анализ 1 (Остроуха), анализ 2 (Гершковича) сделаны под руководством Лебединцева; западная часть моря, недалеко от Баку. 2. Анализы 3 и 4 — восточная часть моря у залива Кара-Богаз-Гол.

Солевой состав основной воды Южного Каспия исследован Бруевичем (1937). Пробы были собраны в августе 1933 г. на восьми станциях, из них на трех глубоководных станциях, кроме поверхностных проб, отбирались и придонные. Химический анализ сделан опытными химиками-аналитиками Опариной и Голубевой (табл. 63, 64).

В 1939 г. Мусиной и Микей (1941) была выполнена преимущественно для Северного Каспия работа по установлению точных величин соотношения между соленостью и хлором по материалам, собранным в августе 1938 г. Одновременно они определили солевой состав вод разных районов северной части Каспийского моря и нашли, что он постепенно меняется от предустьевоего пространства к центральной части. Происходит метаморфизация вод, и опресненные воды Северного Каспия постепенно осолоняются и приобретают свойства основной морской воды Среднего и Южного Каспия. В Среднем и Южном Каспии исследователями взяты только четыре единичные пробы, анализ

Таблица 63

## Анализы воды Южного Каспия сборов 11—21/VIII 1933 г. (г/кг), по Опариной и Голубевой

Станция . . . . . Глубина станции, м. . . Глубина взятия проб, м	25 153 0	28 74 0	31 30 0	36 7,5 0	56с 86 0	59 471 0	59 471 465	67 973 0	67 973 970	71 920 0	71 920 915	Среднее <sup>1</sup>
Na <sup>+</sup>	3,1439	3,1627	3,2157	3,2730	3,1765	3,1797	3,2036	3,1605	3,2111	3,1614	3,2091	3,1824
K <sup>+</sup>	0,0835	0,0859	0,0853	0,0869	0,0847	0,0825	0,0835	0,0845	0,0855	0,0840	0,0813	0,0841
Ca <sup>++</sup>	0,3434	0,3448	0,3475	0,3488	0,3441	0,3438	0,3480	0,3439	0,3465	0,3422	0,3493	0,3454
Mg <sup>++</sup>	0,7246	0,7330	0,7364	0,7555	0,7300	0,7303	0,7330	0,7295	0,7361	0,7252	0,7332	0,7311
Cl <sup>-</sup>	5,2924	5,3140	5,4043	5,5276	5,3384	5,3488	5,3707	5,3144	5,4094	5,3227	5,3853	5,3500
Br <sup>-</sup>	0,0072	0,0072	0,0074	0,0072	0,0073	0,0072	0,0075	0,0072	0,0072	0,0076	0,0077	0,0073
SO <sub>4</sub> <sup>==</sup>	2,9772	2,9991	3,0330	3,1070	3,0183	2,9947	3,0318	2,9959	3,0384	2,9896	3,0330	3,0111
CO <sub>3</sub> <sup>==</sup>	0,1080	0,1077	0,1068	0,1023	0,1080	0,1065	0,1101	0,1086	0,1101	0,1086	0,1092	0,1084
Сумма . . . . .	12,6802	12,7544	12,9364	13,2133	12,8073	12,7935	12,8882	12,7445	12,9443	12,7413	12,9081	12,8198
Alk мг-экв/л . . .	3,596	3,594	3,561	3,412	3,597	3,546	3,671	3,622	3,666	3,618	3,642	3,6113
Alk/Cl . . . . .	0,6795	0,6763	0,6589	0,6173	0,6738	0,6630	0,6835	0,6815	0,6777	0,6797	0,6763	0,6750

<sup>1</sup> Исключая станцию 36.

Состав воды Южного Каспия (мг-экв/кг), по Опариной и Голубевой

Таблица 64

Станция . . . . . Глубина станции, м . . Глубина взятия проб, м	25 153 0	28 74 0	31 30 0	36 7,5 0	56с 86 0	59 471 0	59 471 465	67 973 0	67 973 970	71 920 0	71 920 915
Na <sup>+</sup>	136,69	137,53	139,83	142,54	138,13	138,27	139,30	137,43	139,63	137,47	139,54
K <sup>+</sup>	2,14	2,20	2,18	2,22	2,17	2,11	2,14	2,16	2,19	2,15	2,08
Ca <sup>++</sup>	17,15	17,21	17,34	17,41	17,17	17,16	17,37	19,16	17,29	17,18	17,43
Mg <sup>++</sup>	59,59	60,28	60,56	62,13	60,03	60,06	60,28	59,99	60,54	59,64	60,30
Сумма катионов	215,57	217,22	219,81	224,30	217,50	217,60	219,09	216,74	219,65	216,34	219,35
Cl <sup>'</sup>	149,26	149,87	152,41	155,92	150,55	150,84	151,84	149,87	152,55	150,10	151,87
Br <sup>'</sup>	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10
SO <sub>4</sub> <sup>''</sup>	61,99	62,44	63,15	64,69	62,84	62,35	63,12	62,38	63,26	62,24	63,15
CO <sub>3</sub> <sup>''</sup>	3,60	3,59	3,56	3,41	3,60	3,55	3,67	3,62	3,67	3,62	3,64
Сумма анионов	214,49	215,99	219,21	224,11	217,08	216,83	218,34	215,96	219,57	216,05	218,76
Сумма катионов и анионов . . . .	430,51	433,21	439,12	448,41	434,58	434,43	434,43	432,70	439,22	432,39	438,11



которых показал близкое сходство с данными Лебединцева и Бруевича.

Детальное освещение физико-химических свойств каспийской воды (хлорности, солёности, плотности и электропроводности) и критический обзор экспериментальных работ по их определению даются в статье Блинова (1962).

Химия речного стока в Каспийское море изучалась Бруевичем и Аничковой (1941). Так как 80% водного стока в Каспийское море приходится на Волгу, то для сравнения ионного состава каспийской воды авторы взяли данные по ионному составу волжской воды. Большое содержание карбонатов и сульфатов в последней обуславливает обогащение этими компонентами и морской воды (табл. 65).

Таблица 65

Состав вод Каспийского моря, Волги и океана (в % от суммы ионов)

Ионы	Волга у Астрахани	Каспийское море		Океан
		а	б	
Na <sup>+</sup>	6,67	24,82	24,69	30,598
K <sup>+</sup>	—	0,66	0,63	1,106
Ca <sup>++</sup>	23,34	2,70	2,59	1,197
Mg <sup>++</sup>	4,47	5,70	5,66	3,725
Cl <sup>-</sup>	5,46	41,73	41,67	55,292
Br <sup>-</sup>	—	0,06	0,08	0,188
SO <sub>4</sub> <sup>==</sup>	25,63	23,49	23,82	7,692
CO <sub>3</sub> <sup>==</sup>	34,43	0,84	0,86	0,207
Солёность, г/кг	0,19856	12,68—12,94	12,63—12,80	35,00

Примечание. а — данные Бруевича (Южный Каспий), б — данные Лебединцева (Средний Каспий).

#### Материал и методика исследований

В 1961—1963 гг. в экспедициях одновременно со стандартными гидрохимическими наблюдениями отобраны также пробы воды на исследование ионного состава. В Среднем Каспии, в открытой части, взяты пробы поверхностной и придонной воды. В Южном Каспии пробы собраны в основном на двух разрезах: о. Куринский Камень — о. Огурчинский и Ленкорань — Белый Бугор. На станциях 80 и 89, кроме поверхностных проб, взяты придонные. К южной части моря отнесен разрез о. Жилой — маяк Куули. Исследованы пробы воды, взятые в сентябре и октябре 1963 г. в разных районах взморья у южного побережья Ирана.

Исследован также солевой состав вод западной и восточной прибрежных частей Среднего Каспия. Западная его часть находится под опресняющим воздействием речного стока. В восточ-

ной части в теплый период года наблюдается аномальное распределение температуры и выход на поверхность более соленых вод.

Химические анализы проводились в Москве в лаборатории химии моря ГОИНа Лебедевой под руководством и при участии автора. Щелочность, кроме того, определялась вскоре после взятия пробы воды в судовой лаборатории.

В процессе изучения гидрохимического режима Северного Каспия Б. М. Затучная в июле 1962 г. взяла пробы воды на исследование солевого состава и определила основные его компоненты: кальций, магний, щелочность. Определение сульфатов и все расчеты, выраженные в различных формах, выполнены Г. В. Лебедевой.

Схема станций, на которых взяты пробы воды на анализ, представлена на рис. 38. Пробы воды на определение солевого состава брались в поллитровые бутылки с фарфоровой пробкой и резиновой прокладкой, закрывающиеся пружинным замком. Бутылки были хорошо выщелочены благодаря многолетнему хранению в них морской воды.

Хлор определялся аргентометрическим методом. О. П. Опарина и М. Г. Голубева применяли весовой метод определения хлора. С. В. Бруевич сопоставил величины хлора, полученные весовым способом и титрованием, и нашел, что из 11 анализируемых проб только две дали ощутимые расхождения, для остальных же девяти средние результаты были тождественны (Бруевич, 1937).

Бром нами не определялся, так как содержание его в морской воде настолько мало (по литературным данным, среднее для каспийской воды — 0,007 г/кг), что оно находится в пределах точности применявшихся методов анализа и не изменяет существенно результаты, полученные для других элементов.

Сульфаты определялись весовым методом путем осаждения сернокислого бария из навески воды в 50 г. Осаждение велось горячим раствором  $BaCl_2$  при непрерывном помешивании. После 12-часового и даже суточного стояния в теплом месте осадок фильтруют<sup>1</sup>, промывают, высушивают, озоляют, сжигают и выдерживают в электропечи при 700° до постоянного веса.

Щелочность — связанная угольная кислота — определялась прямым титрованием точного объема воды раствором соляной кислоты 0,02 нормальности с применением смешанного индикатора (Руководство по морским гидрохимическим исследованиям, 1959). Для удаления образующейся при реакции свободной  $CO_2$  через воду при титровании пропускался воздух, лишенный  $CO_2$ .

<sup>1</sup> Чтобы избежать прохождения осадка через фильтр (что нередко имеет место), рекомендуется перед фильтрованием прибавить к осадку измельченные кусочки фильтровальной бумаги с дистиллированной водой.

Результаты выражались в мг-экв  $\text{HCO}_3/\text{л}$ , так как при содержании гидрокарбонатов в каспийской воде, достигающем 96,7%, ион  $\text{HCO}_3'$  доминирует.

Кальций и магний определялись комплексометрическим методом, разработанным и предложенным для морских и океанских вод Скопинцевым (Скопинцев и Кабанов, 1958). Это — объемный метод, в котором титрование ведется при разных индикаторах: эриохром черный для суммы кальция и магния и мурексид отдельно для кальция. Магний высчитывался по разности. По данным Скопинцева, этот метод дает высокую сходимость величин кальция и магния с величинами, приведенными в работах других авторов и установленными весовым путем. Преимуществом комплексометрического метода перед другими является также его простота и значительно меньшая трудоемкость, что очень важно при массовых анализах.

Во многих пробах кальций и магний определены и весовым путем.

Натрий и калий экспериментально не определялись. Их содержание вычислено по разности между суммой анионов и суммой катионов, выраженных в миллиграмм-эквивалентной форме. Для выражения щелочных ионов в весовой форме полученная величина пересчитана на натрий, так как содержание калия по сравнению с натрием очень мало.

Результаты анализов даны в весовом (грамм-ионы в 1 кг воды и в процентах от суммы ионов) и в эквивалентном выражении (миллиграмм-эквивалентах и процент-эквивалентах). Последняя форма выражения более рациональна и удобна при сравнении ионного состава вод разной минерализации.

#### Солевой состав вод Среднего и Южного Каспия

Полученные результаты химических анализов, сведенные в табл. 66—69 для Среднего Каспия и табл. 70—73 для Южного, позволяют дать характеристику ионного состава каспийских вод, а также выявить те факторы, которые вызывают метаморфизацию нормальной каспийской воды в отдельных районах моря. Рассмотрим колебания в воде основных солеобразующих компонентов.

Хлорность в открытой части Среднего Каспия колеблется незначительно и составляет в среднем 5,44‰. В западной прибрежной части, находящейся под влиянием волжского стока, хлорность меньше, 5,31‰. В восточной части, наоборот, она повышена и достигает 5,66‰ (Казахский залив). Это результат отсутствия материкового стока и сильного испарения в жаркое время года на мелководье.

В Южном Каспии хлорность увеличивается к югу и востоку. Так, на разрезе о. Куринский Камень — о. Огурчинский она



Таблица 66

## Ионный состав вод Среднего Каспия (г/кг)

Станция	Дата пробы	Глубина станции, м	Горизонт, м	Cl' + Br'	SO <sub>4</sub> '	HCO <sub>3</sub> '	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na + K в пересчете на Na <sup>+</sup>	Сумма ионов
Открытая часть моря										
42	VIII 1961	600	0	5,44	2,9975	0,2172	0,3530	0,7430	3,2349	12,9856
6/№		—	580	5,44	3,0103	0,2147	0,3530	0,7447	3,2369	12,9996
1	II 1962	—	0	5,43	3,0239	0,2183	0,3525	0,7446	3,2391	13,0084
2		330	0	5,45	3,0129	0,2170	0,3528	0,7465	3,2423	13,0215
3		440	0	5,44	—	—	0,3515	0,7450	—	—
		150	0	5,44	—	—	0,3521	0,7437	—	—
Район, пограничный с Северным Каспием										
12	VIII 1962	14	0	4,78	2,7587	0,2252	0,3185	0,7203	2,7781	11,5808
15		22	0	5,18	2,9750	0,2218	0,3360	0,7140	3,1205	12,5473
18		14	0	5,13	2,8160	0,2157	0,3265	—	3,0854	12,2592
Западная прибрежная часть										
20	VIII 1962	25	0	5,32	2,9507	0,2212	0,3414	0,7273	3,1791	12,7397
29		77	0	5,29	3,0799	0,2219	0,3452	0,7364	3,2003	12,8737
38		33	0	5,32	2,8273	0,2245	0,3453	0,7345	3,1033	12,5549
Восточная прибрежная часть										
47	VIII 1962	10	0	5,51	—	0,2294	0,3421	0,7558	—	—
Б	20—21 IX 1963	33	30	5,53	—	0,2334	0,3411	0,6986	—	—
В		34	32	5,51	3,0808	0,2230	0,3468	0,6842	3,4408	13,2856
Д		19,5	18	5,53	3,1610	0,2342	0,3411	0,6986	3,4757	13,4406
Е		21	20	5,56	—	0,2328	0,3449	0,6876	—	—

Ионный состав вод Среднего Каспия (мг-экв/кг)

Станция	Дата	Глубина, м	Горизонт, м	Cl' + Br'	SO <sub>4</sub> "	HCO <sub>3</sub> '	Сумма анионов	Ca"	Mg"	Na + K в пересчете на Na'	Сумма ионов
Открытая часть моря											
42	VIII 1961	600	0	153,408	62,408	3,558	219,374	17,615	61,104	140,655	438,748
6/№	11 1962	—	580	153,408	62,674	3,517	219,599	17,615	61,244	140,740	439,198
		—	0	153,126	62,958	3,576	219,660	17,590	61,236	140,834	439,320
		330	0	153,690	62,729	3,554	219,973	17,605	61,392	140,976	439,946
		440	0	153,408	—	—	—	17,540	61,269	—	—
3		150	0	153,408	—	—	—	17,570	61,162	—	—
Район, пограничный с Северным Каспием											
12	13 VIII 1962	14	0	134,795	57,436	3,689	195,920	15,894	59,234	120,792	391,840
15		22	0	146,076	61,939	3,633	211,648	16,766	58,719	136,163	423,296
18		14	0	144,666	58,629	3,533	206,828	16,294	56,382	134,152	413,656
Западная прибрежная часть											
20	20 VIII 1962	25	0	150,024	61,434	3,623	215,081	17,038	59,817	138,226	430,162
29		77	0	149,178	64,124	3,635	216,937	17,224	60,563	139,150	433,874
38	19 VIII 1962	33	0	150,024	58,864	3,677	212,565	17,232	60,403	134,930	425,130
Восточная прибрежная часть											
47	18 VIII 1962	10	0	155,392	—	3,749	—	17,072	62,161	—	—
Б	20—21 IX 1963	33	30	155,946	—	3,823	—	17,021	57,453	—	—
В		34	32	155,382	64,142	3,653	223,177	17,305	56,269	149,603	446,354
Д		19,5	18	155,946	65,812	3,836	225,594	17,021	57,453	151,120	451,188
Е		21	20	156,792	—	3,813	—	17,210	56,548	—	—

Таблица 68

## Ионный состав вод Среднего Каспия (в % экв.)

Станция	Дата	Глубина станции, м	Горизонт, м	Cl' + Br'	SO <sub>4</sub> "	HCO <sub>3</sub> '	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> в пересчете на Na	Сумма ионов
Открытая часть моря										
42	VIII 1961	600	0	34,97	14,22	0,81	4,01	13,93	32,06	100,00
6/№ 1	II 1962 VIII 1963	330	580	34,98	14,27	0,80	4,01	13,94	32,05	100,01
			0	34,74	14,45	0,81	4,00	13,94	32,06	100,00
23	VIII 1963	60	0	34,93	14,26	0,81	4,00	13,96	32,04	100,00
		дно	34,44	14,68	0,88	3,88	12,93	33,19	100,00	
32		550	0	34,49	14,64	0,87	3,82	12,92	33,26	100,00
			дно	34,47	14,64	0,88	3,58	13,14	33,28	99,99
52		317	0	34,58	14,55	0,87	3,76	12,99	33,25	100,00
			дно	34,62	14,54	0,85	3,85	12,29	33,21	100,00
			дно	34,56	14,58	0,87	4,00	12,77	33,23	100,01
Район пограничный с Северным Каспием										
12	VIII 1962	14	0	34,40	14,66	0,94	4,06	(15,12)	30,83	100,01
15		22	0	34,51	14,63	0,86	3,96	13,87	32,17	100,00
18		14	0	34,97	14,17	0,85	3,94	13,63	32,43	99,99
Западная прибрежная часть										
20	VIII 1962	25	0	34,88	14,28	0,84	3,96	13,90	32,13	99,99
29		77	0	34,38	14,78	0,84	3,97	13,96	32,07	100,00
38		33	0	35,29	13,85	0,86	4,05	14,21	31,74	100,00
Восточная прибрежная часть										
В	IX 1963	34	32	34,81	14,37	0,82	3,88	12,61	33,52	100,01
Д		19,5	18	34,56	14,59	0,85	3,77	12,73	33,49	99,99

Таблица 69

## Ионный состав вод Среднего Каспия (в процентах от суммы ионов)

Стация	Дата	Глубина станции, м	Горизонт, м	Cl' + Br'	SO <sub>4</sub> ''	HCO <sub>3</sub> '	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na + K в пересчете на Na	Сумма ионов
Открытая часть моря										
42	VIII 1961	600	0	41,89	23,09	1,67	2,72	5,72	24,91	100,00
6/№			580	41,85	23,15	1,65	2,72	5,73	24,90	100,00
1	II 1962	330	0	41,74	23,25	1,68	2,71	5,72	24,90	100,00
23	VIII 1963	60	0	41,85	23,14	1,67	2,71	5,73	24,90	100,00
			0	41,97	23,65	1,77	2,56	5,18	25,86	99,99
32		550	дно	41,05	23,60	1,75	2,51	5,16	25,93	100,00
			0	41,04	23,61	1,77	2,36	5,27	25,95	100,00
			дно	41,18	23,47	1,74	2,48	5,19	25,94	100,00
52		317	0	41,22	23,44	1,70	2,54	5,19	25,91	100,00
			дно	41,12	23,50	1,74	2,63	5,10	25,91	100,00
Район пограничный с Северным Каспием										
12	VIII 1962	14	0	41,28	23,82	1,94	2,75	6,22	23,99	100,01
15		22	0	41,28	23,71	1,77	2,68	5,69	24,87	100,00
18		14	0	41,85	22,97	1,76	2,66	5,59	25,17	99,99
Западная прибрежная часть										
20	VIII 1962	25	0	41,76	23,16	1,74	2,68	5,71	24,95	100,00
29		77	0	41,09	23,92	1,72	2,68	5,72	24,86	99,99
38		33	0	42,37	22,52	1,79	2,75	5,85	24,72	100,00
Восточная прибрежная часть										
B	IX 1963	34	32	41,47	23,19	1,68	2,61	5,15	25,90	100,00
Д		19,5	18	41,14	23,52	1,74	2,54	5,20	25,86	100,00

бывает преимущественно ниже 5,47‰, а на разрезе Ленкорань — Белый Бугор незначительно выше 5,51‰. При этом на обоих разрезах хлорность возрастает на восточных станциях, достигая в полученных нами пробах 5,65 или 13,48‰S (станции 84, 94, 95). Увеличение хлора на востоке объясняется отсутствием разбавляющего действия речного стока и интенсивным испарением с обширного мелководного пространства в теплый период года. По глубине хлорность колеблется незначительно.

Сульфаты содержатся в воде Каспийского моря в большем количестве, чем в океане и других морях, кроме Аральского (табл. 61). В среднем Каспии содержание сульфатов в среднем составляет 14,5% экв., в Южном — 14,4% экв., а в Аральском море — 19,6% экв. Источником сульфатов в Каспийском море служит волжский сток. По данным 1961 г. (Зенин и др., 1964), средняя годовая величина сульфат-иона равна 15,1% экв. В Северном Каспии в среднем из 11 проб поверхностной воды, взятых равномерно по всей акватории моря, эта величина составляет 14,78% экв. Сравнение величин  $\text{SO}_4^{2-}$  по отдельным частям моря показывает их убывание с севера на юг, т. е. с удалением от источника. В более минерализованных водах отдельных районов моря наблюдается увеличение сульфатов. В Среднем Каспии содержание сульфатов увеличивается в следующем порядке: район пограничный с Северным Каспием — 2,8466 г/кг, западная прибрежная часть, находящаяся под влиянием речного стока, — 2,9526 г/кг; открытая часть — 3,0112 г/кг и восточная часть — 3,1209 г/кг. В Южном Каспии наименьшее количество сульфатов (2,9512 г/кг) наблюдалось в западной и южной прибрежных частях с хлорностью 5,12‰, наибольшее (3,1669 г/кг) — в юго-восточной части моря, где хлорность достигает 5,65‰.

Щелочность определяет содержание в воде различных форм угольной кислоты, главным образом, солей кальция и магния или карбонатов. Абсолютная щелочность каспийской воды больше, чем в других морях. Воды Каспия пересыщены карбонатами, что экспериментально установлено рядом исследователей. Из всех форм угольной кислоты преобладает гидрокарбонат кальция. Повышенные значения ионов  $\text{HCO}_3^-$  отмечены на станциях 77—80, находящихся в западной части моря, в зоне влияния куринских вод. Наоборот, на восточных станциях, особенно на станциях 92, 94 и 95, наблюдается пониженная щелочность. Здесь осаждается  $\text{CaCO}_3$  из пересыщенной им воды при соприкосновении на мелководье с твердой фазой — донными карбонатными осадками.

Содержание кальция колеблется по горизонтали и по вертикали незначительно, некоторое увеличение его прослеживается в южной части. Накопление кальция в воде ограничивается действием различных факторов. Прежде всего кальций является подвижным членом системы карбонатного равновесия. При на-



Таблица 70

## Ионный состав вод Южного Каспия (г/кг)

Станция	Дата взятия пробы	Глубина, м	Горизонт, м	Cl' + Br'	SO <sub>4</sub> ''	HCO <sub>3</sub> '	Ca''	Mg''	Na + K в пере- счете на Na	Сумма ионов
Открытая часть моря										
77	VIII 1961	310	0	5,41	—	0,2223	0,3577	0,7416	—	—
78		800	0	5,42	3,0852	0,2239	0,3573	0,7466	3,2547	13,0877
79		700	0	5,47	—	0,2223	0,3655	0,7609	—	—
80а		800	0	5,47	—	0,2236	0,3610	0,7538	—	—
81		450	0	5,47	—	0,2090	0,3500	0,7757	—	—
82		80	0	5,47	3,0749	0,2187	0,3643	0,7605	3,2448	13,1332
83		40	0	5,47	3,0868	0,2212	0,3546	0,7575	3,2682	13,1583
92		240	0	5,46	—	0,2139	(0,3390)	0,7757	—	—
93		34	0	5,46	3,0445	0,2102	0,3687	0,7857	3,1691	13,0382
80	VIII 1962	763	0	5,48	3,0511	0,2158	0,3603	0,7500	3,2644	13,1216
89		780	750	5,46	3,0299	0,2107	0,3631	0,7516	3,2331	13,0484
			0	5,46	3,0455	0,2115	0,3547	0,7543	3,2464	13,0714
			750	5,44	3,0279	0,2190	0,3567	0,7540	3,2251	13,0227
Апшеронский район										
57	VIII 1962	24	0	(5,35)	—	0,2164	0,3489	0,7523	—	—
60		197	0	5,42	3,0730	0,2141	0,3563	0,7410	3,2569	13,0613
61		110	0	5,47	—	0,2113	0,3544	0,7533	—	—
65		14	0	5,45	—	0,2132	—	0,7555	—	—

Западная прибрежная часть										
67	VIII 1962	30	0	5,17	2,9065	0,2189	0,3353	0,7083	3,1028	12,4418
Сальянский рейд	VIII 1963	12	0	5,07	2,9958	0,2143	0,2976	0,6424	3,2469	12,4670
Юго-восточная часть										
94	VIII 1961	15	0	5,62	—	0,2078	0,3500	0,8165	—	—
95		10	0	5,63	—	0,1889	0,3500	0,8050	—	—
84a	VIII 1962	12	0	5,65	3,1669	0,2170	0,3641	0,7883	3,3538	13,5401
Южная прибрежная часть										
Взморье, в районе Сефид-Руд	VIII 1963	10	0	4,14	2,3986	0,2163	0,2620	0,5306	2,6108	10,1583
Взморье, в районе Пехлеви	IX 1963	23	0	5,27	3,0767	0,2269	0,3872	0,6940	3,2332	12,8880
Взморье, в районе Ноушехр										
1	29 VIII 1963	11	0	5,11	2,9087	0,2250	0,3375	0,5869	3,2943	12,4624
2			0	5,06	—	0,2210	0,3375	0,5869	—	—
3			0	5,10	—	0,2249	0,3375	0,5817	—	—
4			0	5,08	—	0,2212	0,3375	0,5828	—	—
5			0	5,10	2,9044	0,2247	0,3375	0,5869	3,2858	12,4393

Таблица 71

## Ионный состав вод Южного Каспия (мг-экв/кг)

Станция	Дата взятия пробы	Глубина, м	Горизонт, м	Cl' + Br'	SO <sub>4</sub> ''	HCO <sub>3</sub> '	Сумма анионов	Ca''	Mg''	Na + K' в пере- счете на Na	Сумма ионов
Открытая часть моря											
77	VIII 1961	310	0	152,562	—	3,641	—	17,849	60,989	—	—
78		800	0	152,844	64,234	3,667	220,745	17,831	61,400	141,514	441,490
79		700	0	154,254	—	3,641	—	18,238	62,576	—	—
80a		800	0	154,254	—	3,663	—	18,014	61,993	—	—
81		450	0	154,254	—	3,423	—	17,465	63,794	—	—
82		80	0	154,254	64,019	3,582	221,855	18,179	62,544	141,132	443,710
83		40	0	154,254	64,267	3,623	222,144	17,695	62,297	142,152	444,288
92		240	0	153,972	—	3,504	—	16,916	63,794	—	—
93		34	0	153,972	63,386	3,443	220,801	18,398	64,616	137,787	441,602
80		763	0	154,536	63,524	3,535	221,595	17,979	61,680	141,936	443,190
89		780	750	153,972	63,083	3,451	220,506	18,119	61,812	140,575	441,012
			0	153,972	63,407	3,464	220,843	17,700	62,034	141,109	441,686
			750	153,408	63,041	3,587	220,036	17,800	62,009	140,227	440,072
Апшеронский район											
57	VIII 1962	24	0	150,870	—	3,544	—	17,412	61,872	—	—
60		197	0	152,844	63,980	3,507	220,331	17,780	60,940	141,611	440,662
61		110	0	154,254	—	3,461	—	17,687	61,954	—	—
65		14	0	153,690	—	3,497	—	16,946	62,132	—	—

		Западная прибрежная часть									
67	VIII 1962	30	0	145,794	60,513	3,586	209,893	16,731	58,251	134,911	419,786
Сальянский рейд	VIII 1963	12	0	142,974	62,373	3,584	208,931	15,155	53,925	139,855	417,862
Юго-восточная часть											
94	VIII 1961	15	0	158,484	—	3,404	—	17,465	67,149	—	—
95		10	0	158,766	—	3,094	—	17,465	66,203	—	—
84а	VIII 1962	12	0	159,330	65,935	3,554	228,819	18,169	64,827	145,823	457,638
Южная прибрежная часть											
Взморье, в рай- оне Сефид- Руд	VIII 1963	10	0	116,748	49,939	3,604	170,291	13,298	44,377	112,616	340,582
Взморье, в рай- оне Пехлеви	IX 1963	23	0	148,614	64,057	3,797	216,468	19,735	57,699	142,034	432,936
Взморье, в рай- оне Ноушехр	VIII 1963	11	0	144,102	60,559	3,686	208,347	16,841	48,267	143,239	416,694
2			0	142,692	—	3,620	—	16,841	47,839	—	—
3			0	143,820	—	3,684	—	16,841	47,929	—	—
4			0	143,256	—	3,623	—	16,841	47,839	—	—
5			0	143,820	60,470	3,680	207,970	16,841	48,267	142,862	415,940







рушении последнего кальций выпадает в осадок в виде  $\text{CaCO}_3$  и таким образом абсолютное количество его в воде уменьшается. Этот процесс широко распространен во всей восточной части Каспийского моря, особенно интенсивен он в южной его части.

Наблюдается определенная тенденция к накоплению магния в южной части моря. В Среднем Каспии содержание магния составляет 0,7447 г/кг, а в Южном — в среднем 0,7519 г/кг. Наибольшие величины магния найдены в юго-восточном районе Южного Каспия. Здесь на станциях 92—95 и 84а содержание магния значительно выше, чем во всем море; оно колеблется от 0,7757 до 0,8165 г/кг, среднее из 5 проб составляет 0,7942 г/кг. Магний по сравнению с кальцием обладает большой растворимостью и, очевидно, не участвует в процессе осаждения. Содержание магния, выраженное в ‰ экв., на станции 93, расположенной в этом районе, наивысшее, 14,63.

Следовательно, воды юго-восточного района Южного Каспия по режиму щелочно-земельной группы солевого состава отличаются от вод исследованной нами открытой части Каспийского моря.

Наши наблюдения относятся к жаркому периоду года (август, 1961 г.), когда происходит интенсивное испарение с поверхности воды и, как результат этого, усиленное осаждение карбоната кальция. Поэтому представляет интерес исследование солевого состава воды этого специфического в отношении физико-географических условий района в холодный сезон года.

Анализ абсолютного содержания отдельных солеобразующих компонентов исследованной нами открытой части моря показал, что колебания их небольшие, что свидетельствует о сравнительной однородности солевого состава воды. Но в то же время выявляется как определенная закономерность постепенное возрастание концентрации солей с севера на юг. Об этом можно судить и по содержанию определяемых элементов и по их сумме. Правда, разница в концентрациях ионов в Среднем и Южном Каспии незначительна, примерно 0,6%. Очевидно, южная часть Каспийского моря, представляющая собой конечную область водоема, не охвачена в полной мере водообменом и в ней, как в полузамкнутой чаше, могут накапливаться соли.

Постоянство солевого состава вод характеризуется не только абсолютными количествами, но в еще большей степени ионными соотношениями или коэффициентами. Обычно для морской воды берутся отношения элементов к доминирующему в ней хлор-иону. Относительные величины изменяются под воздействием различных факторов и прежде всего при поступлении новых водных масс, в частности, речного стока. На значение коэффициентов при исследовании солевого состава вод указывал еще Лебединцев (1901): «Коэффициенты характеризуют химический состав солевой массы моря, а также изменения этого состава под

влиянием химических факторов. Если вода разжижается лишь дистиллированной водой, то при уменьшении удельного веса и солёности коэффициенты остаются постоянными».

Относительные величины содержания солеобразующих ионов к содержанию хлора рассмотрены нами по районам моря для Среднего и Южного Каспия (табл. 74).

Таблица 74

Относительные величины содержания солеобразующих компонентов

Район моря	$\frac{Alk}{Cl}$	$\frac{SO_4}{Cl}$	$\frac{Ca}{Cl}$	$\frac{Mg}{Cl}$
<b>Средний Каспий</b>				
Открытая часть . . . . .	0,6588	0,5662	0,0650	0,1369
Район, пограничный с Северным Каспием . . . . .	0,6895	0,5616	0,0650	0,1378
Западная прибрежная часть . . . . .	0,6864	0,5560	0,0648	0,1380
Восточная прибрежная часть . . . . .	0,6752	0,5654	0,0662	0,1372
<b>Южный Каспий</b>				
Открытая часть . . . . .	0,6657	0,5600	0,0654	0,1390
Западная прибрежная часть . . . . .	0,7002	0,5766	0,0618	0,1318
Юго-восточная часть . . . . .	0,5948	0,5605	0,0629	0,1426
Южная прибрежная часть:				
взморье у Сефид-Руд и район				
Пехлеви . . . . .	0,7955	0,5816	0,0684	0,1299
у порта Ноушехр . . . . .	0,7188	0,5693	0,0663	0,1147

Отношения содержания ионов к хлору в отдельных районах Среднего Каспия очень близки. Несколько увеличен щелочно-хлорный коэффициент в районах, подверженных воздействию речного стока (западная прибрежная часть и район пограничный с Северным Каспием). В небольших районах Южного Каспия отдельные гидрохимические компоненты отклоняются от компонентов открытой части моря, так как находятся под влиянием факторов местного значения. Воды южного побережья, находящиеся под влиянием стока иранских рек, смешанные с неустановившимся солевым составом.

Воды открытой части Среднего и Южного Каспия очень близки по своему ионному составу.

Солевой состав воды Каспийского моря отличен от солевого состава вод других морей и океанов, что особенно видно из сравнения относительных величин компонентов и их сумм (табл. 75).

Вода Каспийского моря отличается от океанической воды и вод открытых морей высоким содержанием удельно тяжелых сернокислых и углекислых солей щелочно-земельных катионов ( $Ca^{++}$  и  $Mg^{++}$ ). Каспийские воды по своему составу близки к водам тоже изолированного от океана Аральского моря, причем в по-

следнем разница в ионном составе вод по сравнению с океаном выражена в еще большей степени.

Таблица 75

Относительные величины содержания солеобразующих компонентов  
в воде океана и морей

Отношение содержания иона к содержанию хлора	Океан <sup>1</sup>	Море			
		Черное <sup>2</sup>	Азовское <sup>3</sup>	Каспийское <sup>4</sup>	Аральское <sup>5</sup>
$\frac{SO_4}{Cl}$	0,1396	0,1408	0,1484	0,5631	0,8940
$\frac{HCO_3}{Cl}$	0,00738	0,0194	0,0274	0,0398	0,0572
$\frac{Ca}{Cl}$	0,0216	0,0247	0,0277	0,0652	0,1372
$\frac{Mg}{Cl}$	0,0669	0,0681	0,0683	0,1380	—
$\frac{\Sigma}{Cl}$	1,815	1,819	1,856	2,386	2,597

<sup>1</sup> По Свердрупу, Джонсону и Флемингу.

<sup>2</sup> По Б. А. Скопинцеву (1958).

<sup>3</sup> По А. П. Пуриковой (1960).

<sup>4</sup> По А. С. Пахомовой (1964).

<sup>5</sup> По Л. К. Блинову (1956).

### Солевой состав вод Северного Каспия

Солевой состав вод Северного Каспия формируется под воздействием нескольких факторов. Основным из них является сток Волги, влияние которого распространяется на всю толщу вод этой мелководной части моря. В восточной части оказывают влияние уральские воды, которые по содержанию некоторых компонентов отличаются от волжских. С юга приходят воды из Среднего Каспия с уже установившимся ионным составом. В северном Каспии происходит смешение разных водных масс и в зависимости от преобладающего действия того или иного фактора образуются воды разного солевого состава — от опресненных вод с хлорностью меньше 1‰ до близких к истинным каспийским водам.

Для исследования солевого состава вод в Северном Каспии взяты поверхностные пробы воды на 11 станциях, равномерно расположенных по акватории моря (рис. 38). Результаты анализа (табл. 76—79) показали большие колебания ионного состава воды в разных районах. Установленный Лебединцевым

следнем разница в ионном составе вод по сравнению с океаном выражена в еще большей степени.

Таблица 75

Относительные величины содержания солеобразующих компонентов  
в воде океана и морей

Отношение содержания иона к содер- жанию хлора	Океан <sup>1</sup>	Море			
		Черное <sup>2</sup>	Азовское <sup>3</sup>	Каспийское <sup>4</sup>	Аральское <sup>5</sup>
$\frac{SO_4}{Cl}$	0,1396	0,1408	0,1484	0,5631	0,8940
$\frac{HCO_3}{Cl}$	0,00738	0,0194	0,0274	0,0398	0,0572
$\frac{Ca}{Cl}$	0,0216	0,0247	0,0277	0,0652	0,1372
$\frac{Mg}{Cl}$	0,0669	0,0681	0,0683	0,1380	—
$\frac{\Sigma}{Cl}$	1,815	1,819	1,856	2,386	2,597

<sup>1</sup> По Свердрупу, Джонсону и Флемингу.

<sup>2</sup> По Б. А. Скопинцеву (1958).

<sup>3</sup> По А. П. Цуриковой (1960).

<sup>4</sup> По А. С. Пахомовой (1964).

<sup>5</sup> По Л. К. Блинову (1956).

Солевой состав вод Северного Каспия

Солевой состав вод Северного Каспия формируется под воздействием нескольких факторов. Основным из них является сток Волги, влияние которого распространяется на всю толщу вод этой мелководной части моря. В восточной части оказывают влияние уральские воды, которые по содержанию некоторых компонентов отличаются от волжских. С юга приходят воды из Среднего Каспия с уже установившимся ионным составом. В северном Каспии происходит смешение разных водных масс и в зависимости от преобладающего действия того или иного фактора образуются воды разного солевого состава — от опресненных вод с хлорностью меньше 1‰ до близких к истинным каспийским водам.

Для исследования солевого состава вод в Северном Каспии взяты поверхностные пробы воды на 11 станциях, равномерно расположенных по акватории моря (рис. 38). Результаты анализа (табл. 76—79) показали большие колебания ионного состава воды в разных районах. Установленный Лебединцевым



Таблица 76

Солевой состав вод Северного Каспия на поверхности (г/кг)

Станция	Cl' + Br'	SO <sub>4</sub> "	HCO <sub>3</sub> '	Ca"	Mg"	Na + K в пере- счете на Na	Сумма ионов
6	0,47	0,2944	0,1244	0,0646	0,0724	0,2816	1,3074
11	4,59	3,0618	0,2137	0,3116	0,6386	2,9581	11,7738
17	2,83	1,6684	0,1924	0,2178	0,3912	1,7169	7,0167
15a	4,51	2,5936	0,2120	0,3041	0,6274	2,7112	10,9583
18a	0,25	0,1076	0,0979	0,0383	0,0180	0,1726	0,6844
22	4,41	2,4790	0,2126	0,2948	0,7081	2,4496	10,5541
1	2,23	1,2575	0,1774	0,1747	0,2943	1,3582	5,4921
6a	3,59	2,2509	0,2118	0,2587	0,4949	2,2532	9,0595
51	3,25	2,0026	0,1920	0,2383	0,4574	2,0005	8,1408
14	2,23	1,3154	0,1874	0,1795	0,3090	1,3563	5,5776
10	3,34	1,9970	0,1974	0,2347	0,4619	2,0539	8,2849
12a	0,09	0,0890	0,1433	0,0529	0,0212	0,0543	0,4507

Таблица 77

Солевой состав вод Северного Каспия на поверхности (мг-экв/кг)

Станция	Cl' + Br'	SO <sub>4</sub> "	HCO <sub>3</sub> '	Сумма анионов	Ca"	Mg"	Na + K'	Сумма ионов
6	13,254	6,130	2,038	21,422	3,226	5,953	12,243	42,844
11	129,438	63,746	3,501	196,686	15,548	52,520	128,618	393,372
17	79,806	34,736	3,152	117,694	10,868	32,176	74,650	235,388
15a	127,182	53,999	3,473	184,654	15,174	51,597	117,883	369,308
18a	7,050	2,240	1,604	10,894	1,909	1,479	7,506	21,788
22	124,362	51,613	3,483	179,458	14,711	58,238	106,509	358,916
1	62,886	26,181	2,906	91,973	8,720	24,200	59,053	183,946
6a	101,238	46,864	3,469	151,571	12,907	40,697	97,967	303,142
51	91,650	41,694	3,145	136,489	11,892	37,614	86,983	272,978
14	62,886	27,387	3,070	93,343	8,959	25,414	58,970	186,686
10	94,188	41,578	3,233	138,999	11,711	37,985	89,303	277,998
12a	2,538	1,853	2,348	6,739	2,640	1,740	2,359	13,478

хлорный коэффициент для нормальной каспийской воды (2,386) неприменим к опресненной воде. Близкий к нему хлорный коэффициент 2,393 получен только в пробе со станции 22, расположенной в центральной части Северного Каспия, и с некоторым допущением в пробе со станции 15a в юго-западном районе (табл. 80).

Преобладающим фактором формирования солевого состава вод в этих районах, по-видимому, будет приток соленых вод из Среднего Каспия. В то же время повышенные относительные величины солеобразующих компонентов указывают и на опресняющее действие речного стока.

Таблица 78

## Солевой состав вод Северного Каспия на поверхности (% экв.)

Станция	Cl' + Br'	SO <sub>4</sub> '	HCO <sub>3</sub> '	Ca''	Mg''	Na' + K'	Сумма ионов
6	30,94	14,31	4,76	7,53	13,89	28,58	100,01
11	32,90	16,20	0,89	3,95	13,35	32,70	99,99
17	33,90	14,76	1,34	4,62	13,67	31,71	100,00
15a	34,44	14,62	0,94	4,11	13,97	31,92	100,00
18a	32,36	10,28	7,36	8,76	6,79	34,45	100,00
22	34,65	14,38	0,97	4,10	16,23	29,68	100,01
1	34,19	14,23	1,58	4,74	13,16	32,10	100,00
6a	33,40	15,46	1,14	4,26	13,42	32,32	100,00
51	33,57	15,27	1,15	4,36	13,78	31,86	99,99
14	33,68	14,67	1,64	4,80	13,61	31,59	99,99
10	33,88	14,96	1,16	4,21	13,66	32,12	99,99
12a	18,83	13,75	17,42	19,59	12,91	17,50	100,00

Таблица 79

Солевой состав вод Северного Каспия на поверхности  
(в процентах от суммы ионов)

Станция	Cl' + Br'	SO <sub>4</sub> '	HCO <sub>3</sub> '	Ca''	Mg''	Na' + K'	Сумма ионов
6	35,95	22,52	9,52	4,94	5,54	21,54	100,01
11	38,98	26,00	1,82	2,65	5,42	25,12	99,99
17	40,33	23,78	2,74	3,10	5,58	24,47	100,00
15a	41,16	23,67	1,93	2,78	5,72	24,74	100,00
18a	36,53	15,72	14,30	5,60	2,63	25,22	100,00
22	41,78	23,49	2,01	2,79	6,71	23,21	99,99
1	40,60	22,90	3,23	3,18	5,36	24,73	100,00
6a	39,63	24,84	2,34	2,86	5,46	24,87	100,00
51	39,92	24,60	2,36	2,93	5,62	24,57	100,00
14	39,98	23,58	3,36	3,22	5,54	24,32	100,00
10	40,31	24,10	2,38	2,83	5,58	24,79	99,99
12a	19,97	19,75	31,79	11,74	4,70	12,05	100,00

В предустьевом пространстве Волги (станции 6, 18a, 12a), как показывает анализ, солевой состав вод с хлорностью меньше 0,5‰ близок к солевому составу речной воды. Минерализация воды в прибрежной полосе против дельты Волги не превышает 1 г/кг.

Солевой состав вод к северу от о. Кулалы (станции 10, 17, 14) в районе водообмена между западной и восточной частями Северного Каспия более или менее одинаков (табл. 81), что свидетельствует о стабильности условий формирования ионного состава вод в данном районе моря. Это район непрерывного водообмена и интенсивного перемешивания вод разного состава — восточных, западных и приходящих сюда основных среднекаспийских. В результате их смешения образуется достаточно однородная водная масса.

Таблица 80

## Относительные величины содержания солеобразующих компонентов

Станция	$\frac{\text{Alk}}{\text{Cl}}$	$\frac{\text{SO}_4}{\text{Cl}}$	$\frac{\text{Ca}}{\text{Cl}}$	$\frac{\text{Mg}}{\text{Cl}}$	$\frac{\Sigma \text{ ионов}}{\text{Cl}}$
6	4,3404	0,6264	0,1374	0,1540	2,74
11	0,7697	0,6671	0,0679	0,1391	2,56
17	1,1201	0,5895	0,0770	0,1382	2,48
15a	0,7769	0,5751	0,0674	0,1391	2,43
18a	6,4200	0,4304	1,5320	0,0720	2,74
22	0,7968	0,5621	0,0668	0,1606	2,39
1	1,3090	0,5639	0,0783	0,1320	2,46
6a	0,9733	0,6270	0,0721	0,1379	2,52
51	0,9742	0,6162	0,0733	0,1407	2,55
14	1,3830	0,5899	0,0805	0,1386	2,50
10	0,9746	0,5979	0,0703	0,1383	2,48
12a	26,0888	0,9889	0,5877	0,2356	5,01

Таблица 81

## Ионный состав вод в районе водообмена между западной и восточной частями моря

Станция	Cl	Сумма ионов (Σ)	$\frac{\Sigma}{\text{Cl}}$	$\frac{\text{Alk}}{\text{Cl}}$	$\frac{\text{SO}_4}{\text{Cl}}$	$\frac{\text{Ca}}{\text{Cl}}$	$\frac{\text{Mg}}{\text{Cl}}$
10	3,34	8,2849	2,48	0,9746	0,5979	0,0703	0,1389
17	2,83	7,0167	2,48	1,1201	0,5895	0,0770	0,1382
14	2,23	5,5776	2,50	1,3830	0,5899	0,0805	0,1386

В восточной части Северного Каспия исследовано три пробы воды (станции 1, 6a, 51). Одна из них (станция 1) характеризует воды, находящиеся под непосредственным влиянием уральского стока (северо-восточного района). Две пробы взяты в Уральской бороздине (станции 6a и 51). Оказалось, что относительные величины компонентов повышены так же, как и в северо-западной части Северного Каспия. Хлорность вод в Уральской бороздине увеличена в связи с удалением от источника опреснения. По солевому составу — это смешанные воды, которые формируются под действием как речных, так и истинных морских вод, поступающих в восточную часть моря через Мангышлакский залив. Воды уральской бороздины пересыщены карбонатами, на что указывает хемотропная садка их на дне, особенно в глубинных затишных участках бороздины; дно в них

покрыто мощным слоем пелитоморфного карбоната (Пахомова, 19566).

Выше было указано, что для опресненных вод Северного Каспия выведена своя зависимость между соленостью и хлором с учетом пресноводной составляющей (речного стока):  $S = 2,36Cl + 0,14$ . В работе Мусиной и Микей (1941) указывается, что к каспийской воде, опресненной уральским стоком, эта формула неприменима, и для этой воды ими установлена иная связь между соленостью и хлором. Величины хлорных коэффициентов для уральских вод значительно выше, чем для вод Северного Каспия, при равном содержании хлора. Причина этого, по мнению исследователей, кроется в различии солевого состава уральских и волжских вод (значительно повышенное содержание сульфатов в уральской воде по сравнению с волжской). За неимением данных полного анализа воды р. Урал этот вывод сделан на основании анализа поверхностных вод в районах уральского и волжского опреснения.

Химический состав вод рек Волги и Урала рассмотрен в работе Алекина (1948 б). Из приведенных им данных (табл. 82 и 83) видно, что воды Урала обогащены хлоридами натрия, так

Таблица 82

Средние величины содержания главнейших ионов (мг/л) в воде Волги у Астрахани. 1901—1911 и 1938 гг.

Месяц	Cl'	SO <sub>4</sub> "	CO <sub>3</sub> "	Ca"	Mg"	Na' + K'	Сумма ионов
I	20,1	85,6	101,7	72,7	16,1	23,3	319,5
II	19,2	91,4	104,6	76,1	15,9	22,6	329,8
III	20,6	96,3	111,1	81,0	17,2	19,5	345,7
IV	23,9	83,9	143,5	69,7	12,8	16,2	350,0
V	8,5	36,2	77,0	37,7	6,3	10,8	176,5
VI	5,6	29,7	64,4	33,1	5,6	8,9	147,3
VII	6,9	40,2	55,7	38,4	6,7	8,2	156,1
VIII	10,9	85,0	65,8	58,5	10,2	12,0	242,4
IX	13,4	54,0	80,2	54,7	10,4	14,5	227,2
X	19,6	74,0	83,8	62,9	12,8	18,2	271,3
XI	24,2	85,0	90,3	67,8	13,9	22,2	303,4
XII	20,0	70,2	88,7	60,2	13,2	18,7	271,0
Средняя годовая	16,1	69,3	88,9	59,3	11,8	16,3	261,7

как река дренирует районы бывших трансгрессий Каспийского моря. Что касается сульфатов и карбонатов, то их содержание в Урале и Волге выражается величинами одного порядка и даже нередко наблюдается повышенное количество сульфатов не в уральской, а в волжской воде.

## Химический сток воды р. Урала (мг/л)

Пункт	Дата взятия пробы	Cl'	SO <sub>4</sub> ''	HCO <sub>3</sub> '	Ca''	Mg''	K' + Na'	Сумма ионов
Пос. Кушумский	13 III 1941	104,4	81,4	245,9	90,0	28,8	45,2	595,7
	28 III	43,0	57,5	191,6	64,3	15,7	47,3	449,6
	17 IV 1939	33,6	14,2	112,4	44,6	8,7	3,5	217,0
Пос. Тополинский, г. Гурьев	30 III 1941	113,1	79,8	238,4	74,3	27,5	69,8	602,9
	11 V 1934	36,9	30,9	133,0	36,4	9,2	34,5	280,9
	11 VIII	90,2	67,3	223,9	58,6	19,0	74,4	533,4
	11 III 1935	178,2	100,9	328,8	90,3	31,6	136,2	866,0
Среднее у г. Гурьева	—	101,8	66,4	228,6	61,8	19,9	81,7	527

По полученным в 1962 г. аналитическим данным высокого содержания сульфатов и в водах восточной части Северного Каспия не обнаружено. Влияние уральского стока сказывается на увеличении в воде хлоридов натрия. Наблюдается близкая сходимость всех остальных компонентов солевого состава всего Северного Каспия. Колебания в содержании солеобразующих компонентов в отдельных районах объясняются преимущественно величиной пресного стока и отражаются прежде всего на соотношениях щелочности и хлора  $\left(\frac{\text{Alk}}{\text{Cl}}\right)$ .

Для сравнения с прежними данными по солевому составу вод приведены результаты исследований 1938 г. (табл. 84). Для большей наглядности характерные анализы приведены в табл. 85.

Как видно из табл. 85 в юго-западной части Северного Каспия как абсолютные, так и относительные количества основных компонентов солевого состава воды выражены величинами одного порядка. Некоторое увеличение коэффициентов  $\frac{\text{Alk}}{\text{Cl}}$  и  $\frac{\text{SO}_4}{\text{Cl}}$  в настоящее время можно объяснить более северным расположением станций, где взяты пробы на анализ в 1962 г. Пробы воды с близких по местоположению станций 15а (1962 г.) и 2 (1938 г.) имеют очень сходный солевой состав.

В восточной части явно повышенное значение щелочно-хлорного коэффициента на станциях 51 и 6 в Уральской бороздине является результатом большой насыщенности вод карбонатами (высокий щелочной резерв). Увеличение сульфатов в абсолютном и относительном их выражении, по данным 1962 г., не обнаружено. Повышенный хлорный коэффициент вод восточной части



**Солевой состав воды Каспийского моря (г/кг).**

Район . . . . .	Северный Каспий (северо-западный район)					
Станция . . . . .	22	512	2	5	3	8
Дата . . . . .	3 VIII	9 VIII	5 VIII	5 VIII	5 VIII	5 VIII
Горизонт взятия пробы, м	3,5	0	0	0	дно	дно
Na <sup>+</sup>	0,6330	0,9433	2,6925	2,7850	3,0538	3,1200
K <sup>+</sup>	0,0212	0,0342	0,0891	0,0809	0,0974	0,0995
Ca <sup>++</sup>	0,1081	0,1340	0,3170	0,3177	0,3450	0,3456
Mg <sup>++</sup>	0,1651	0,2412	0,6409	0,6460	0,7125	0,7254
Cl <sup>-</sup>	1,1130	1,6420	4,6470	4,7370	5,2120	5,3010
Br <sup>-</sup>	0,0009	0,0012	0,0068	0,0072	0,0068	0,0068
SO <sub>4</sub> <sup>''</sup>	0,6475	0,9409	2,5780	2,6300	2,8764	2,9390
CO <sub>3</sub> <sup>''</sup>	0,0636	0,0647	0,0998	0,0976	0,1026	0,1016
Сумма S . . . . .	2,7524	4,0015	11,0711	11,3014	12,4065	12,6389
Щелочность A мг-экв/л . . . . .	2,1190	2,1570	3,3270	3,2530	3,4200	3,3850
Плотный остаток при t = 480° (S <sub>480</sub> ) . .	2,7560	4,0030	11,1050	11,3290	12,4220	12,6550
S <sub>480</sub> /S	1,0012	1,0003	1,0030	1,0024	1,0013	1,0012
Na/Cl	0,5688	0,5745	0,5796	0,5879	0,5859	0,5791
K/Cl	0,0190	0,0208	0,0192	0,0171	0,0187	0,0188
Ca/Cl	0,0974	0,0802	0,0682	0,0671	0,0662	0,0652
Mg/Cl	0,1488	0,1471	0,1379	0,1364	0,1367	0,1368
Br/Cl	0,00081	0,00073	0,00146	0,00152	0,00130	0,00128
SO <sub>4</sub> /Cl	0,5818	0,5737	0,5547	0,5552	0,5519	0,5544
CO <sub>3</sub> /Cl	0,0573	0,0395	0,0215	0,0206	0,0197	0,0192
A/Cl	1,9040	1,3140	0,7160	0,6870	0,6680	0,6390



1938 г. (по А. А. Мусиной и Н. И. Микей, 1941)

Средний и Южный Каспий					Северный Каспий (район влияния р. Урала)	
6	50	19	18	среднее для района	46	46' »
13 VIII	22 VIII	15 VIII	15 VIII		4 XI	4 XI
0	дно	0	0	—	0	дно
3,1101	3,1426	3,1750	3,2516	3,1698	2,3077	3,0763
0,1046	0,1020	0,1046	0,1061	0,1043	0,0514	0,0960
0,3614	0,3647	0,3629	0,3654	0,3636	0,2071	0,3529
0,7239	0,7279	0,7376	0,7343	0,7309	0,4021	0,7230
5,3470	5,3580	5,4070	5,5170	5,4070	2,9280	5,2460
0,0064	0,0068	0,0068	0,0072	0,0068	0,0040	0,0058
2,9725	2,9793	3,0265	3,0720	3,0125	2,9214	2,9900
0,1030	0,1057	0,1027	0,0991	0,1026	0,0560	0,0889
12,7289	12,7870	12,9231	13,1527	12,8975	8,8777	12,5789
3,4340	3,4420	3,4240	3,3040	3,4010	1,8680	2,9620
12,7430	12,792	12,9300	13,1640	12,9080	8,8780	12,6010
1,0011	1,0004	1,0005	1,0008	1,0007	1,0000	1,0017
0,5818	0,5865	0,5872	0,5894	0,5862	0,7882	0,5864
0,01956	0,0190	0,0181	0,0192	0,0189	0,0176	0,0183
0,0676	0,0681	0,0672	0,0662	0,0673	0,0707	0,0672
0,1354	0,1359	0,1364	0,1331	0,1352	0,1373	0,1378
0,00120	0,00127	0,00126	0,00131	0,00126	0,00137	0,00111
0,5559	0,5561	0,5597	0,5568	0,5571	0,9978	0,5700
0,0193	0,0197	0,0190	0,0180	0,0190	0,0179	0,0169
0,6420	0,6420	0,6330	0,5990	0,6290	0,6380	0,5650

Таблица 85

Солевой состав вод в отдельных районах моря в 1962 и 1938 гг.

Район, год	Станция	Cl %	SO <sub>4</sub> г/кг	Сумма ионов Σ г/кг	Alk Cl	SO <sub>4</sub> Cl	Ca Cl	Mg Cl	Σ Cl
Юго-западная часть, 1962	22	4,41	2,4790	10,5541	0,7968	0,5621	0,0668	—	2,39
	15a	4,51	2,5936	10,9583	0,7769	0,5751	0,0674	0,1391	2,43
	11	4,59	3,0618	11,7738	0,7697	0,6671	0,0679	0,1391	2,56
Юго-западная часть, 1938	2	4,65	2,5780	11,0711	0,7160	0,5547	0,0682	0,1379	2,38
	5	4,74	2,6300	11,3014	0,6870	0,5552	0,0671	0,1364	2,39
Уральская бороздина, 1962	51	3,25	2,0026	8,1408	0,9742	0,6162	0,0733	0,1407	2,55
	6	3,59	2,2509	9,0595	0,9733	0,6270	0,0721	0,1379	2,52
Уральская бороздина, 1938	46	2,93	2,9214	8,8777	0,6380	0,9978	0,0707	0,1373	3,04

моря по сравнению с водами юго-западного района, обнаруженный исследованиями 1938 г., наблюдается и сейчас. Это, очевидно, объясняется влиянием уральских вод, обладающих большей и несколько иной минерализацией, чем волжские воды (Алекин, 19486).

#### Изменение солевого состава вод в последние годы

Для суждения об изменении солевого состава вод во времени сравнивались данные за последние годы с данными для вод Южного Каспия, по Бруевичу (1937), и для вод Среднего Каспия, по Лебединцеву (1901). Как видно из табл. 86, содержание большей части компонентов (хлорности, кальция и магния) медленно, но неизменно растет, увеличивается минерализация вод. Это увеличение особенно заметно в южной части моря. Сумма ионов изменяется по годам следующим образом:

1897 г. — 12,8346 г/кг	Рост 0,73%	Всего 1,97%
1933 г. — 12,9286 "	Рост 1,24%	
1961 г. — 13,0881 "		

Минерализация воды открытой части Каспийского моря возросла почти на 2%. Наибольший рост ее 1,24%, приходится на время с 1933 до 1961 гг., т. е. на период наиболее интенсивного снижения уровня.

Соотношения солеобразующих компонентов для вод открытой части Среднего и Южного Каспия почти не изменились во времени, что свидетельствует о постоянстве солевого состава. Некоторые отклонения в абсолютном и относительном содержании компонентов, в частности увеличение магния, отмечены в юго-

Таблица 86

Содержание основных компонентов солевого состава вод Среднего и Южного Каспия в г/кг (первая строка) и в процентах от суммы солей (вторая строка)

	Cl <sup>+</sup> + Br <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>++</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	Сумма ионов	$\frac{\text{Alk}}{\text{Cl}}$	$\frac{\text{SO}_4}{\text{Cl}}$	$\frac{\text{Ca}}{\text{Cl}}$	$\frac{\text{Mg}}{\text{Cl}}$
Средний Каспий, 1893, 1897 (по Лебединце- ву)	5,3070 41,35	3,0286 23,60	0,2217 1,73	0,3360 2,62	0,7238 5,64	3,2175 25,07	12,8346 100,01	0,6923	0,5707	0,0633	0,1364
Южный Каспий, 1933 (по Бруевичу)	5,3573 41,44	3,0111 23,29	0,2172 1,69	0,3454 2,67	0,7311 5,65	3,2665 25,26	12,9286 100,00	0,6750	0,5628	0,0646	0,1365
Средний Каспий, 1961— 62 (по Пахомовой)	5,44 41,83	3,0112 23,16	0,2168 1,67	0,3525 2,71	0,7447 5,72	3,2383 24,90	13,0038 100,00	0,6588	0,5662	0,0650	0,1369
Южный Каспий, 1961— 62 (по Пахомовой)	5,46 41,73	3,0576 23,29	0,2169 1,66	0,3585 2,73	0,7540 5,73	3,2491 24,86	13,0865 100,00	0,6657	0,5603	0,0657	0,1378