

5. СОЛЕНОСТЬ

5.1. Соленость вод Северного Каспия

В специфических условиях Северного Каспия, представляющего собой обширную область смешения речных и морских вод, соленость является не только одной из важнейших физико-химических характеристик, но во многом определяет его биологическую продуктивность, процветание или угнетение отдельных комплексов гидробионтов. Многолетними исследованиями установлено, что основные скопления полупроходных рыб приурочены к водам с соленостью менее 8‰. При более высокой солености концентрации рыб неустойчивы, соленость выше 13–15‰ для них летальна [400].

Л. Г. Виноградов и Е. А. Яблонская [89] отмечают, что «...повышение солености Северного Каспия до 9–10‰ и выше катастрофически сказывается на количественном развитии солоноватоводных моллюсков Северного Каспия, наиболее обильно развивающихся в зоне с соленостью 7‰. К этой солености приурочено и распространение основных полупроходных рыб (воблы, леща, судака)...».

Основные закономерности формирования и распределения солености были сформулированы еще Н. М. Книповичем [212, 213], а затем С. В. Бруевичем и К. И. Ивановым [53].

В дальнейшем по исследованию режима солености Северного Каспия в условиях изменяющегося водного баланса моря появились десятки работ сотрудников ГОИНа, КаспНИРХа, ВНИРО, МГУ и других организаций.

В настоящее время установлены основные особенности режима солености Северного Каспия и главные формирующие его факторы: речной сток и динамика вод, обусловленная главным образом ветровыми течениями.

5.1.1. Солевой баланс вод Северного Каспия

Состояние изученности солевого баланса вод Северного Каспия позволяет с известной точностью

Таблица 5.1

Солевой баланс Северного Каспия (1956–1989 гг.)

Приходная часть баланса	10^6 т	Расходная часть баланса	10^6 т
Речной сток:		Испарение	-8,64
Волги	58,50	Отток солей в Средний Каспий	-1423,44
Урала	4,08		
Терека	0,73		
Подземный сток:	63,31		
артезианские воды	0,57		
грунтовые воды	1,52		
сумма	2,09		
Осадки	1,23		
Приток солей из Среднего Каспия	1365,75		
Общий приход	1432,38	Общий расход	-1432,08

оценить только основные составляющие. Такие статьи баланса, как солеобмен с атмосферой, вынос (смык) солей при нагонах (сгонах) в осушную зону вдоль северного и восточного побережий, изучены мало. По ориентировочным данным Л. К. Блинова [44], ветровой перенос солей, поступающих в атмосферу с морской поверхности и суши, примерно одинаков.

Согласно С. В. Бруевичу и Е. Г. Виноградовой [52], количество карбонатов, выпадающих в осадок и частично переходящих в донные отложения и используемых в биологических процессах, составляет 57,5 % общего количества солей, поступающих с речным стоком.

Для оценки современного солевого баланса Северного Каспия были приняты данные Е. Г. Архиповой и др. [339] за 1956–1970 гг., отражающие квазистационарное состояние водного баланса моря, дополненные нами за 1971–1989 гг. Результаты расчетов баланса приводятся в табл. 5.1. Следует отметить, что полученные новые значения баланса мало отличаются от значений, приведенных в работе [339].

Это, по-видимому, свидетельствует о стабильности солезапаса (солевой массы) в Северном Каспии в целом, хотя в отдельных районах моря, особенно мелководных, колебания солезапаса вследствие изменения речного стока и объема вод могут быть существенными.

Основные составляющие солевого баланса, определяющие особенности формирования полей солености, — это речной сток и водообмен со Средним Каспием (табл. 5.1).

В многолетнем аспекте при нарушении водного баланса Северного Каспия, помимо вышеназванных факторов, большое значение приобретают морфометрические характеристики водоема (площадь и объем вод), площади сечений, через которые происходит водо- и солеобмен между западной и восточной частями Северного Каспия, а также между Северным и Средним Каспием.

Для восточной части Северного Каспия важную роль играет распределение волжского стока на морском крае дельты, которое во многом определяется хозяйственной деятельностью (постоянные дноуглубительные работы и постоянное удлинение Волго-Каспийского судоходного канала, возможное увеличение водности восточных рукавов дельты Волги как путем их реконструкции, так и при работе вододелителя и др.).

Ведущим фактором в многолетних и сезонных изменениях солености Северного Каспия является речной сток, несмотря на то, что он в среднем на порядок меньше водообмена со Средним Каспием [187].

Это объясняется постоянным фронтальным поступлением речного стока в море. С другой стороны, водообмен между Северным и Средним Каспием в основном ограничен приглубой зоной Северного Каспия.

5.1.2. Многолетние изменения солености

За последние более чем полвека (1931—1989 гг.), в течение которых достаточно регулярно проводились наблюдения за соленостью Северного Каспия, среднегодовые ее значения* изменялись от 11,72 до 6,44 ‰, т. е. размах составил 5,28 %. В условиях квазистационарного водно-солевого баланса (1956—1970 гг.) размах был значительно меньше — 2,2 ‰, для западной части Северного Каспия — 1,8, для восточной — 3,2 ‰ (табл. 5.2). Важно отметить малую инерционность режима солености Северного Каспия, т. е. переход от стадии осолонения к опреснению и наоборот происходит в сравнительно короткий срок (от 1 до 4 лет).

В работах Н. И. Винецкой [86], Г. Н. Зайцева [152], М. В. Федосова [421] по-разному оцениваются изменения режима солености, поскольку периодичность в ее многолетних колебаниях выражена недостаточно четко.

Анализ многолетних изменений солености показывает, что она в основном обусловлена колебаниями волжского стока и связанными с ним колебаниями уровня моря (рис. 5.1). Экстремально маловодный период 1932—1940 гг. привел к понижению уровня моря и повышению солености. В 40-х годах произошло увеличение водности Волги и Урала и понижение солености Северного Каспия (среднее значение составило 7,08 ‰). Уменьшение водности Волги в 50—70-х годах привело к повышению солености: в 1951—1960 гг. до 7,94, в 1961—1970 гг. до 8,49, в 1971—1980 гг. до 8,94 ‰.

Таким образом, в 30-е годы соленость была экстремально повышенной, в 40-е — экстремально пониженной, в 50-е — близкой к «норме», в 60-е — повышенной, в 70-е — экстремально повышенной, в 80-е — умеренно повышенной. Однако такая трактовка многолетних изменений солености будет упрощенной, если не отметить три важных обстоятельства. Первое — это то, что на фоне постепенного сокращения материкового стока и понижения уровня моря наблюдалась тенденция осолонения Северного Каспия. После экстремально низкого положения уровня в 1977 г. в связи с увеличением речного стока и повышением уровня моря общий фон солености заметно снизился, что особенно заметно в восточной части Северного Каспия (табл. 5.2).

Второе обстоятельство заключается в том, что тенденция постепенного увеличения солености характерна для обеих частей Северного Каспия при уровне моря — 27,0...—28,5 м. При отметках уровня моря ниже — 28,5 м возрастает роль речного стока в опреснении западной части и уменьшается в восточной. Функциональная зависимость между речным стоком и средней соленостью отдельных частей Северного Каспия нарушается, однако сохраняется ненарушенной для всей акватории в целом (рис. 5.2).

Третьим обстоятельством, характеризующим режим солености Северного Каспия, является разнонаправленность многолетних изменений в пределах отдельных периодов.

* За среднегодовую соленость условно принята средняя соленость за апрель—октябрь.

Межгодовые изменения солености Северного Каспия в среднем невелики и не превышают ±0,5 ‰, однако на Волге в переходные годы от маловодных к многоводным и наоборот колебания средней солености могут возрастать до ±2,2 ‰. Столь значительные изменения солености во всем Северном Каспии существенно отражаются на условиях обитания гидробионтов.

Наиболее выражена связь межгодовых изменений солености в обеих частях Северного Каспия с суммарным стоком Волги за два года (год наблюдений за соленостью и предыдущий). Следовательно, солезапас прошлого года, как справедливо отмечала Н. И. Винецкая (86), оказывается на формировании режима солености в последующем году (рис. 5.3).

Повторяемость нескольких многоводных лет подряд может привести к сильному опреснению водоема. Так, например, после многоводных 1946—1948 гг. соленость оставалась низкой и в маловодном 1949 г.

Сокращение речного стока вследствие увеличения безвозвратного водопотребления приводит к ослаблению его воздействия на формирование солености Северного Каспия. В этих условиях возрастает значение водообмена со Средним Каспием и динамики вод в северной части моря.

5.1.3. Сезонные изменения солености

Сезонные изменения солености Северного Каспия, как отмечали многие исследователи (С. В. Бруевич, К. И. Иванов, Н. И. Винецкая, О. И. Шереметевская, М. В. Федосов и др.), как правило, хорошо согласуются с динамикой волжского стока. В естественных условиях до зарегулирования волжского стока у Самары и Волгограда максимальные значения солености наблюдались зимой.

Весной по мере увеличения притока половодья соленость понижалась, достигая минимума в июле. Таким образом, максимальное опреснение Северного Каспия наблюдалось примерно через месяц после прохождения максимальных расходов Волги у Астрахани. С окончанием прохождения волны половодья и установлением летне-осенней межени соленость постепенно возрастала.

Продолжительность периода максимального опреснения составляла около двух месяцев, причем в западной части максимальное опреснение наблюдалось в июне—июле, а в восточной — было сдвинуто на месяц, т. е. на июль—август. Среднемноголетнее годовое значение изменения солености в западной части доходило до 1,6 ‰, в восточной части было значительно меньше (0,7 ‰).

Существовала разница в сезонном изменении и распределении солености в разные по водности годы. В маловодные годы максимальное опреснение западной части Северного Каспия происходило в июне, а в многоводные — в июле. В восточной части в маловодные годы минимальная месячная соленость наблюдалась в июле, а в многоводные годы соленость сохранялась на низком уровне с июля по октябрь.

Сезонный ход солености в отдельных районах Северного Каспия неодинаков и может существенно отличаться от изменений в целом для за-

Таблица 5.2

Средние значения солености вод Северного Каспия за апрель — октябрь и отдельных его районов

Год	IV	VI	VII	VIII	X	Средн.	IV	VI	VII	VIII	X	Средн.
Западный район Северного Каспия/Восточный район Северного Каспия												
1934	— 8,87	9,33 ¹ 8,13 ¹	—	10,18 ² 7,67 ²	— (8,22)	(9,75) (8,22)	—	8,79 ¹ —	—	9,10 ² —	—	—
1935	— 8,58 ³ 8,91 ³	— 7,93 ⁴	— 6,42	9,70 ⁴ 7,93 ⁴	— (9,14) (8,42)	(9,14) (8,42)	—	8,74 ³ —	—	8,84 ⁴ —	—	—
1936	— 7,15 9,59	8,78 —	—	8,92 9,59	— (8,28) (9,59)	(8,28) (9,59)	—	8,20 —	—	9,20 —	—	—
1937	— 10,46	9,76 8,49	—	9,76 —	11,22 9,86 (9,18)	(10,48) (9,18)	—	— —	9,24 —	— 10,69	—	—
1938	— 9,90 ⁵ 11,07 ⁵	— —	—	9,63 9,39	11,43 11,94 ⁶ (10,80)	(10,32) (10,80)	—	10,88 ⁵ —	—	9,65 11,65 ⁴ (10,56)	—	—
1939	— 10,66 ⁹ 12,48	— —	—	— —	— —	— —	—	11,35 ⁹ —	—	— —	—	—
1940	— 9,24 11,89	— 12,31	— 12,57 ⁷	9,45 10,50 (9,73)	— (12,25)	— (9,73)	—	10,29 —	—	10,56 11,12 (10,66)	—	—
1941	— 9,77 ⁸ 11,96	— 7,96	— 9,74	6,73 — (8,25) (9,88)	— (8,25) (9,88)	— (9,88)	—	10,66 —	—	7,21 —	—	—
1942	нет данных	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1943	— (6,63)	7,30 7,01	7,04 6,13	8,94 5,59	(10,00) 6,52	8,44 6,38	—	7,49 —	—	7,65 —	—	—
1944	нет данных	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1945	нет данных	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1946	— 9,37 5,71	— 6,43 4,28	— (5,75) 4,24	— 7,16 4,00	— 8,94 4,40	— 7,37 4,52	— 7,85	— 4,94	— —	8,18 6,89 7,09 6,44	—	—
1947	— 5,70	— 8,05 5,75	— (6,50) 5,40	— 5,43 5,40	— 6,78 6,78	— 7,65 6,62	— —	7,10 —	— —	— —	—	—
1948	— 8,91 4,44	7,59 4,58	9,23 4,73	8,89 5,22	10,46 5,60	9,02 4,91	6,95	6,43 7,30	7,25 7,30	6,37 6,37	6,86 6,86	—
1949	— 10,51 6,91	9,05 6,72	9,21 5,12	10,07 5,92	10,01 6,00	9,77 6,13	9,07	8,31 7,50	8,33 8,33	8,39 8,39	8,32 8,32	—
1950	— 9,38 6,63	8,57 6,26	9,34 (5,35)	(9,49) 7,01	10,49 6,93	(9,45) 6,64	8,30 —	— 7,60	8,40 8,40	9,03 9,03	(8,33) (8,33)	—
1951	— (10,73) 7,40	— (7,56) 7,63	— (9,26) 7,84	— 8,84 7,71	— 8,76 7,96	— 8,83 7,59	— 9,47	— 7,55 7,91	— 8,41	— 8,46	— 8,36	—
1952	— 10,06 8,44	— 7,61 8,06	— 7,60 7,27	— 9,22 7,78	— 9,33 7,60	— 8,76 7,83	— 9,45	— 7,78 7,47	— 8,67	— 8,68	— 8,41	—
1953	— (9,14) 7,91	— 7,76 7,44	— (7,09) 7,13	— 8,63 7,55	— (8,68) 7,58	— (8,30) 7,58	— 8,68	— 7,64 7,29	— 8,22	— —	— (8,36)	—
1954	— 10,25 8,36	— 7,48 7,98	— (6,96) 7,31	— 7,67 6,48	— (9,35) 8,10	— 8,28 7,65	— 9,54	— 7,67 7,25	— 6,91 7,24	— 7,08	— 8,01	— 7,41
1955	— 8,82 7,37	— 8,89 7,42	— 9,57 6,60	— 10,06 6,28	— (9,95) 5,63	— 9,46 6,66	— 8,28	— 8,34 8,45	— 8,45 8,63	— 8,34	— 8,41	—
1956	— 8,58 6,57	— 7,85 6,27	— 8,02 5,98	— 8,02 5,55	— 9,51 5,49	— 9,40 5,79	— 7,49	— 7,25 7,24	— 7,08	— 8,01	— 7,41	—
1957	— 9,01 6,44	— 7,70 5,64	— 6,76 5,29	— 7,64 5,53	— 8,73 3,85	— 7,97 5,32	— 8,04	— 6,91 6,19	— 6,82	— 6,83	— 6,96	—

Год	IV	V1	VII	VIII	X	Средн.	IV	V1	VII	VIII	X	Средн.
1959	8,53 4,65	8,43 5,74	8,20 5,35	8,73 5,88	9,95 4,71	8,77 5,27	7,06	7,42	7,10	7,63	7,98	7,44
1960	9,87 6,06	8,51 6,08	(9,07) 5,64	9,44 5,84	10,05 6,94	9,37 6,11	8,38	7,58	7,76	8,03	8,88	8,13
1961	10,88 6,07	8,69 5,90	8,71 5,64	9,96 5,29	10,20 6,00	9,69 5,78	9,08	7,64	7,56	8,18	8,65	8,22
1962	10,06 7,04	9,38 6,47	(9,14) 5,89	9,77 5,46	9,15 5,99	9,50 6,17	8,95	8,30	7,93	8,16	8,00	8,27
1963	10,24 7,04	10,22 7,55	9,94 7,24	8,89 7,86	9,07 7,79	9,67 7,50	9,06	9,25	8,92	8,50	8,59	8,86
1964	(8,18) 6,57	8,12 7,24	(9,59) 6,81	9,08 7,32	9,54 6,86	8,90 6,96	7,58	7,79	8,57	8,66	8,54	8,23
1965	9,80 6,45	9,24 6,84	(9,02) 6,79	(9,14) 5,64	9,34 6,61	9,31 6,47	8,55	8,33	8,18	7,82	8,34	8,24
1966	10,49 7,45	8,27 6,89	(7,50) 7,07	8,48 7,70	8,46 7,71	8,64 7,36	9,35	7,74	7,34	8,18	8,18	8,16
1967	10,00 7,95	9,00 7,45	(9,89) 7,59	9,64 8,44	(9,59) (8,09)	9,82 7,90	9,23	8,41	9,06	9,19	9,70	9,12
1968	10,33 8,47	8,60 7,82	(8,90) 7,77	9,44 8,48	10,76 9,94	9,61 8,48	9,64	8,37	8,47	9,08	10,42	9,20
1969	9,71 8,77	8,69 6,93	8,80 6,52	9,66 7,86	8,93 7,03	9,16 7,42	9,36	8,04	7,92	8,98	8,23	8,51
1970	10,56 7,02	8,61 6,27	7,45 6,48	(8,87) (6,70)	(9,53) (6,72)	(9,00) (6,64)	9,24	7,72	7,08	(8,05) (8,48)	(8,11)	
1971	9,07 (6,02)	8,50 5,42	9,12 5,96	9,35 6,21	9,30 5,96	9,07 5,91	(7,93)	(7,33)	(7,92)	8,26	8,05	(7,90)
1972	8,28 5,75	8,01 5,86	(7,48) 6,27	8,27 6,86	10,24 7,64	8,46 6,48	7,33	7,35	(7,02)	7,74	9,28	7,74
1973	8,93 7,54	7,66 6,70	8,91 7,15	9,73 7,44	10,21 7,87	9,10 7,34	8,45	7,30	8,25	8,88	9,36	8,45
1974	10,04 5,71	8,42 5,83	(8,04) 5,06	9,73 5,42	9,75 6,22	9,20 5,65	8,72	7,45	6,92	8,14	8,46	7,94
1975	10,14 6,58	10,75 8,68	11,05 8,75	11,76 9,11	11,53 9,49	11,05 8,52	8,84	9,98	10,21	10,80	10,77	10,12
1976	11,02 9,04	9,97 9,45	(10,36) (8,98)	10,05 9,19	11,54 10,42	(10,59) (9,42)	10,29	9,77	(9,86)	9,74	11,14	10,16
1977	9,53 10,06	9,45 10,62	(10,47) (11,13)	(10,56) 10,86	(11,19) (11,20)	(10,24) (10,77)	9,72	9,87	(10,70)	10,67	(11,19) (10,43)	
1978	10,35 10,47	8,34 8,42	(9,06) 9,22	9,56 10,63	(9,44) 9,74	(9,35) 9,70	10,39	8,37	9,12	9,95	9,55	9,48
1979	(9,19) (8,31)	9,00 7,88	(7,44) 7,35	7,28 7,87	(9,06) (7,81)	(8,39) 7,84	(8,87)	8,80	(7,40)	7,50	(8,59) (8,23)	
1980	(9,98) (8,78)	8,65 8,09	(8,58) 8,38	9,21 8,46	(9,86) (8,19)	(9,24) (8,38)	(9,52)	8,40	8,50	9,04	(9,30) (8,98)	
1981	10,19 7,02	7,19 6,87	— 7,30	8,56 8,37	10,08 8,54	8,70 7,70	9,08	7,07	—	8,49	9,52	8,35
1982	9,45 9,90	8,49 8,95	9,95 8,76	9,69 8,99	9,55 9,09	9,35 9,15	9,62	8,67	9,24	9,42	9,47	9,28
1983	9,27 9,99	7,48 7,12	9,13 8,94	8,51 8,30	8,37 9,76	8,55 8,82	9,55	7,34	9,06	8,42	8,90	8,65
1984	9,60 7,30	9,26 7,03	9,80 6,67	9,83 6,90	9,63 7,30	9,62 7,04	8,71	8,63	8,60	8,58	8,99	8,70

Год	IV	VI	VII	VIII	X	Средн.	IV	VI	VII	VIII	X	Средн.
1985	9,09 6,42	8,46 7,09	8,20 5,97	7,76 5,57	9,53 6,60	8,61 6,33	8,01	7,89	7,34	6,91	8,69	7,78
1986	9,12 8,27	7,50 7,46	7,90 6,95	8,14 5,90	9,54 7,90	8,64 7,34	9,17	7,48	7,91	7,26	9,28	8,22
1987	10,22 5,89	8,60 5,68	9,11 5,74	9,19 6,15	9,40 6,02	9,32 5,90	8,57	7,47	7,65	8,01	8,30	8,00
1988	10,79 5,73	8,47 6,65	8,87 7,05	8,81 7,05	9,41 5,27	9,27 6,35	8,83	7,75	8,15	8,10	7,87	8,14

Примечание. Таблица составлена по данным К. И. Иванова [170] для ряда 1934—1951 гг. и Д. Н. Катунина для ряда 1952—1988 гг. Средние значения солености вычислялись объемным методом [47]. Все данные по солености с 1940 по 1956 г. откорректированы соответственно с „Океанологическими таблицами для Каспийского моря“ (1949).

В скобках — приближенные значения, полученные или по неполным материалам наблюдений, или по уравнениям связи между среднегодовыми значениями и какого-либо конкретного месяца.

¹ Июнь—июль; ² август—сентябрь—октябрь; ³ май—июнь; ⁴ август—сентябрь; ⁵ май—июнь; ⁶ октябрь—ноябрь; ⁷ октябрь—ноябрь; ⁸ май—июнь; ⁹ май.

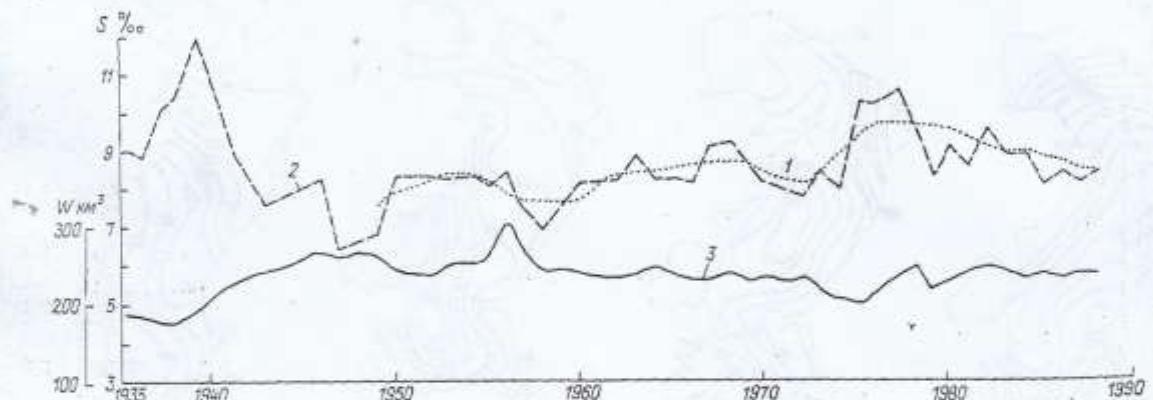


Рис. 5.1. Многолетние изменения солености вод Северного Каспия.

1 — слаженные по пятилеткам значения солености, %; 2 — среднегодовая соленость, %; 3 — сток Волги, слаженный по пятилеткам, км³.

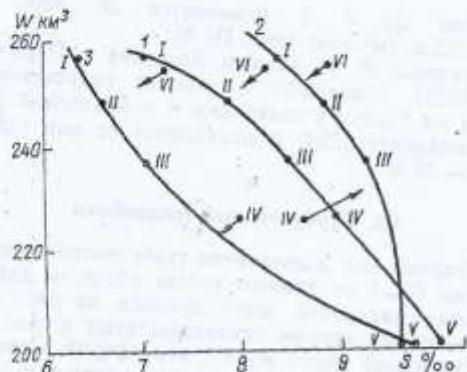


Рис. 5.2. Зависимость между стоком Волги и соленостью Северного Каспия (осредненными по десятилетиям) при различных отметках уровня моря.

I — Северный Каспий; 2 — западная часть; 3 — восточная часть.
I — 1941—1960 гг. ($H = -27.9$ м); II — 1951—1960 гг. ($H = -25.3$ м); III — 1961—1970 гг. ($H = -25.3$ м); IV — 1971—1980 гг. ($H = -25.6$ м); V — 1931—1940 гг. ($H = -26.5$ м); VI — 1981—1990 гг. ($H = -26.0$ м).

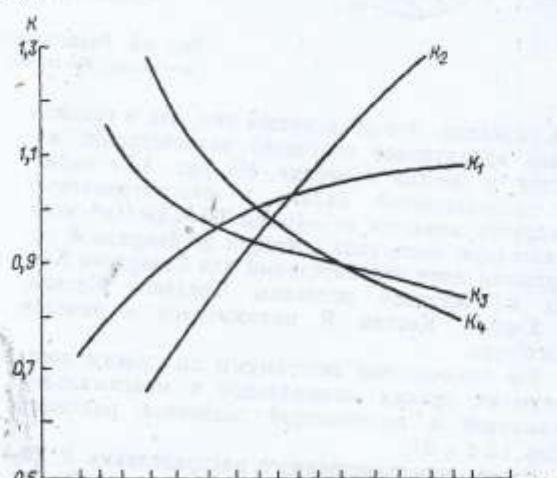


Рис. 5.3. Кривые обеспеченности средних модульных коэффициентов солености и стока Волги.

K_1 — для западной части Северного Каспия; K_2 — для восточной части; K_3 — сток Волги в год определения солености; K_4 — сток Волги за два года — в год наблюдений и в предыдущий ($K_{1,2} = S_1/S_2$; $K_{3,4} = W_1/W$; S_1 — соленость в год наблюдений; \bar{S} — средняя многолетняя соленость; W_1 — сток Волги в год наблюдений; W_2 — среднемноголетний сток Волги).

падной и восточной частей. Эти различия связаны с удаленностью районов моря от устьев рек, от Среднего Каспия, а также с особенностями циркуляции вод.

На всех станциях Северного Каспия прослеживается влияние волжской волны половодья, а на устьевом взморье Урала и вдоль восточного побережья — еще и уральской (рис. 5.4).

происходит осенью, в период максимальной повторяемости юго-восточных и восточных ветров.

Сезонные изменения солености по материалам наблюдений на ГМС мало отличаются от ее динамики в открытой части моря. Колебания солености у о. Тюленьего и Астраханского приемного плавмаяка (северо-западная часть моря) и у о. Кулалы и Форт-Шевченко (юго-восточная часть)

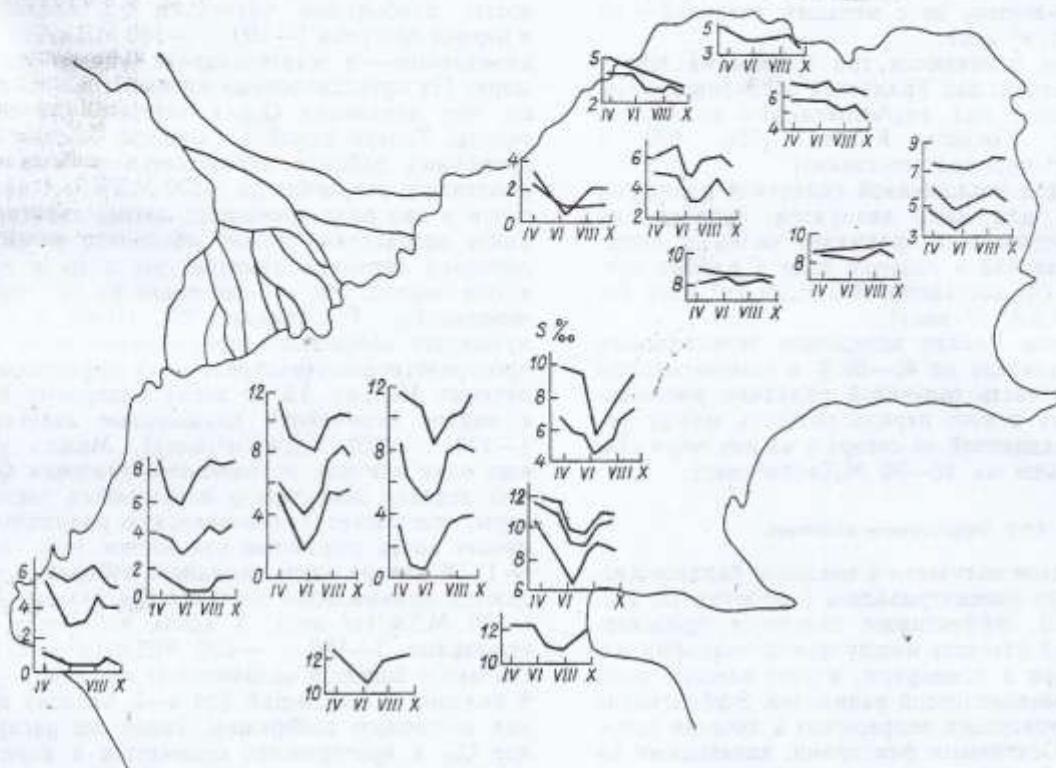


Рис. 5.4. Сезонные изменения солености в отдельных районах Северного Каспия.

По особенностям сезонного хода солености в Северном Каспии можно выделить следующие зоны:

- зона, где происходит устойчивая адвекция речных вод (устьевое взморье Волги до глубины 1,5 м);
- зона, где воздействие речного стока велико, максимум опреснения в июне — августе;
- зона, где влияние речных вод нивелируется воздействием ветровых течений.

Площадь первой зоны составляет 8—8,5 тыс. км² (9—12 % площади Северного Каспия).

Вторая зона охватывает остальную акваторию западной части моря и значительную часть восточной (70—75 % всей площади Северного Каспия).

Третья зона расположена в восточной части моря, охватывает часть северного побережья между дельтами рек Волги и Урала, а также северную часть Уральской борозды. Юго-восточные и северо-западные ветры способствуют перемещению вод из района Уральской борозды к северному побережью и наоборот. Поэтому, в отличие от первой и второй зон, для которых характерно максимальное опреснение в весенне-летний период, в третьей зоне наибольшее опреснение вод

асинхронны, т. е. увеличение интенсивности западной волжской струи способствует усилинию компенсационного подтока среднекаспийских вод вдоль восточного побережья. Современное увеличение западной волжской струи способствует не только переносу транзитом в Средний Каспий около трети волжской воды, но и увеличению компенсационного подтока вод из Среднего Каспия.

Годовой ход солености у о. Тюленьего имеет два максимума — зимний (февраль) и летний (август) — и два минимума — летний (июнь) и осенний (октябрь), что хорошо согласуется с данными Н. А. Скриптуна [368]. Повышение солености в феврале связано с тем, что ледяной покров, достигающий максимального развития, препятствует растеканию струи опресненной воды, поступающей из Волго-Каспийского канала, и она в тонком поверхностном слое стекает по Бахтемирской борозде, поступая в Средний Каспий. Летний максимум обусловлен уменьшением водности в межень, усилием компенсационного подтока вод из Среднего Каспия и увеличением испарения.

Минимум годового хода солености в июне обусловлен прохождением максимальных расходов

воды Волги [368]. Второй минимум солености (октябрьский) вызывается преобладанием в это время года северо-западных гонных ветров.

Закономерно, что в юго-восточной части акватории (о. Кулалы) максимумы солености (май, октябрь) связаны с усилением компенсационной звукции среднекаспийских вод в период усиления огражненной струи вдоль западного побережья Северного Каспия. Третий максимум солености отмечается в феврале.

Наибольшее огражнение этого района происходит в июле, т. е. через два месяца после прохождения волжской волны половодья у Волгограда. Второй минимум солености наблюдается в марте и третий — в ноябре, что объясняется особенностями ветрового режима.

Среднегодовые изменения солености у о. Тюльского и о. Кулалы (по материалам 1961—1971 гг.) составляют соответственно 2,98 и 2,05 %.

Влияние зарегулирования волжского стока сказалось на уменьшении объема половодья, и за 1959—1988 гг. его величина только два раза превысила среднемноголетнее значение (144 км³) для естественного периода водности реки.

Смещение сроков максимального огражнения Северного Каспия существенно изменило экологические условия, в частности для тех гидробионтов, которые эволюционно адаптированы к условиям размножения именно в период максимального прогрева и огражнения морских вод (июль — август).

5.1.4. Пространственное распределение солености

Северный Каспий можно рассматривать как водоем постоянного смешения речных и каспийских вод. Наиболее активно смешение происходит в западной части, куда непосредственно поступают как речные, так и среднекаспийские воды. Горизонтальные градиенты солености при этом могут достигать 1 %/км.

Восточная часть Северного Каспия характеризуется более однородным полем солености, так как большая часть речных и морских (среднекаспийских) вод поступает в этот район моря в трансформированном виде.

По значениям горизонтальных градиентов солености можно выделить в западной части Северного Каспия контактную зону река — море с соленостью вод от 2 до 10 %, в восточной части — от 2 до 6 %.

Фронтальная зона река — море занимает основную площадь северного Каспия, в среднем 64 %. Зона, в которой происходит метаморфизация речных вод, составляет около 23 %. Наименьшую площадь (около 13 %), но наибольший объем занимают воды с соленостью более 10 % (табл. 5.3).

На распределение солености в Северном Каспии оказывают влияние следующие основные факторы:

а) речной сток (его значение, интенсивность поступления воды из Волгоградского водохранилища, распределение стока на морском крае дельты Волги). Н. И. Винецкая [86] первая показала, какие изменения в режим солености вносят особенности развития половодья на р. Волге;

б) динамика вод, включающая главным образом ветровые и градиентные течения; результирующий водообмен между западной и восточной частями Северного Каспия и между Северным и Средним Каспием;

в) рельеф дна, определяющий расположение вод с различной соленостью в основном вдоль изобат, на что впервые обратил внимание К. И. Иванов [170];

г) площадь сечения на Кулалинском пороге, определяющая при прочих равных условиях водообмен между западной и восточной частями Северного Каспия;

Таблица 5.3

Среднемноголетние площади, занимаемые водами с разной соленостью, по данным за 1940—1973 гг. при $H = 28,2$ м (придонный слой)

Месяц	Градации зон солености, %							Сумма
	0—2	2—4	4—6	6—8	8—10	10—12	>12	
Апрель	14,6	4,9	12,1	19,9	16,4	6,2	8,9	83,0
	17,5	5,9	14,6	24,0	19,8	7,6	10,7	100,0
Июнь	21,8	10,1	7,9	18,8	16,4	7,5	4,0	86,5
	25,2	11,7	9,1	21,7	19,0	8,7	4,6	100,0
Июль	21,2	10,7	9,9	19,5	14,8	6,4	2,5	85,0
	25,0	12,6	11,6	23,0	17,4	7,5	2,9	100,0
Август	19,7	6,9	12,1	19,6	17,5	6,8	2,4	85,0
	23,2	8,1	14,2	23,1	20,6	8,0	2,8	100,0
Сентябрь	18,9	6,5	11,5	20,9	17,6	6,7	2,1	84,2
	22,4	7,7	13,7	24,8	20,9	8,0	2,5	100,0
Октябрь	18,1	7,8	10,9	19,1	15,7	7,7	3,2	82,5
	22,0	9,4	13,2	23,2	19,0	9,3	3,9	100,0
Среднее	19,7	7,8	10,7	19,4	16,4	6,9	4,0	84,9
	23,2	9,2	12,6	22,9	19,3	8,1	4,7	100,0

Примечание. Числитель — тыс. км²; знаменатель — %.

д) испарение, формирующее отрицательный пресный баланс в восточной части моря, определяющее компенсационный подток вод в эту часть.

Основные черты распределения солености в Северном Каспии можно представить следующим образом. В межень, как в свое время отмечал К. И. Иванов [170], волжская вода, поступающая на морской край дельты, продвигается к югу вдоль западного побережья, в том числе восточнее

море с соленостью от 6 до 10‰ довольно консервативна и мало изменяется по площади, т. е. происходит не расширение площади этой зоны, а просто смещение ее к югу.

Опресняющее действие уральского стока локализовано устьевым взморьем Урала и прилегающей к нему северо-восточной частью моря (район Гоголевская Коса — Каратонские Шалыги) и проявляется кратковременно (апрель — июнь). Мак-

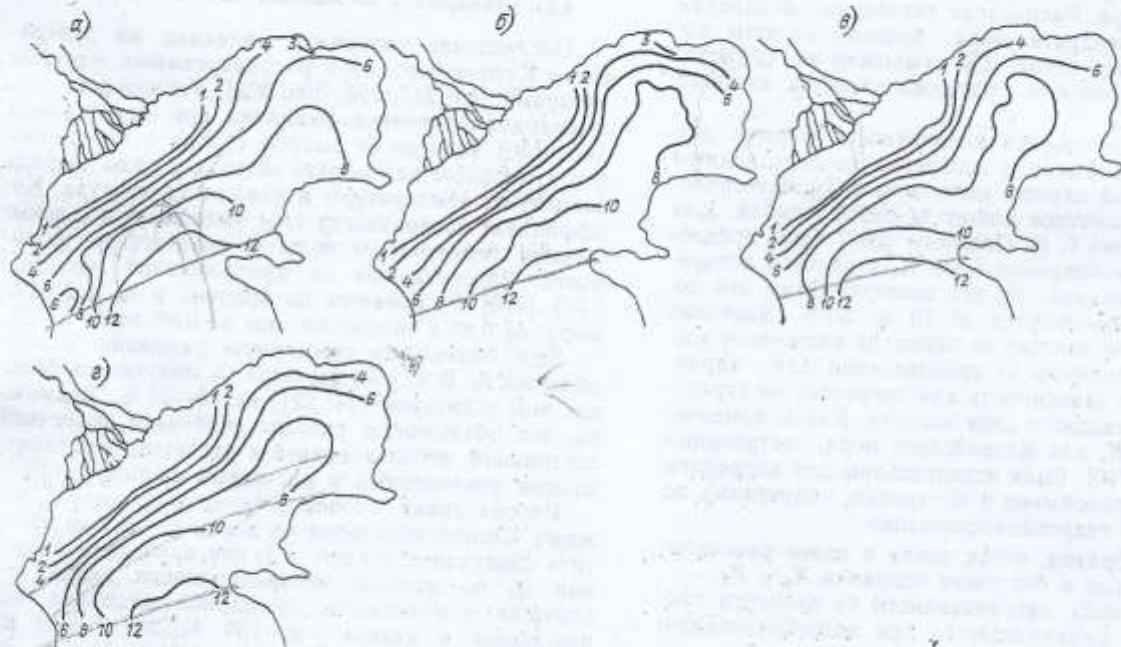


Рис. 5.5. Среднемноголетнее (1940—1963 гг.) распределение солености (%) вод Северного Каспия (поверхностный слой).
а — апрель; б — июнь; в — август; г — октябрь.

о. Тюленьего по Бахтемирской бороздине; соответственно вода из восточных рукавов дельты Волги переносится в северо-восточном, восточном и юго-восточном направлениях. Этими трансформированными водами занято все мелководье в восточной части моря. Среднекаспийские воды в качестве компенсационного переноса поступают в Северный Каспий через восточную часть Мангышлакского порога, прижимают опресненные воды в центральной части устьевого взморья Волги и частично затекают на восток, в район Уральской бороздины (рис. 5.5). В условиях зарегулирования стока Волги усилилось разделение потока речных вод при поступлении их в море на две «струи» — западную и восточную. Поступление волжских вод в половодье вызывает оттеснение соленых среднекаспийских вод к югу под действием градиентных течений. При этом опресненные воды движутся фронтально — западная и восточная «струи» сливаются. Однако и в период прохождения волн половодья основной перенос опресненных вод в Средний Каспий происходит вдоль западного побережья. Поступление половодья в море способствует в первую очередь расширению зоны с соленостью воды до 4‰ и уменьшению солености на границе со Средним Каспием (табл. 5.3). Остальная часть гидрофронта контактной зоны река —

симальное опреснение уральского взморья происходит через 3—4 дня после прохождения пиковых расходов воды у Гурьева (в среднем в конце мая).

В июле начинается постепенное осолонение мелководных районов моря, сокращение опресненных площадей. В августе происходит повышение солености на всей акватории Северного Каспия. На свале глубин вновь возрастают горизонтальные градиенты солености (рис. 5.5).

В сентябре — октябре продолжается сокращение площадей с опресненными водами и увеличение поступления среднекаспийских вод. Однако некоторые черты летнего опреснения еще сохраняются, особенно в приглубой зоне западной части моря (рис. 5.5 г).

Осенью под действием процессов конвективного и ветрового перемешивания вертикальные градиенты солености уменьшаются на свале глубин до 0,01—0,08‰/м, в остальных районах наблюдается почти полная гомохалинность. В ноябре—декабре происходит дальнейшее осолонение вод Северного Каспия, сужение западной «струи». Зимой наибольшее повышение солености наблюдается в западной части на свале глубин и на акватории, прилегающей ко взморью Волги. По сравнению с октябрем соленость в этих районах возрастает в среднем на

1—2,5 %, а в отдельных случаях и больше. В период образования ледяного покрова происходит увеличение солености вод под действием стекающего из льда рассола. Например, в феврале 1972 г. на свале глубин наблюдалось увеличение солености в поверхностном слое воды по сравнению с придонным на 0,62—1,56 %. Таяние льда способствует понижению солености воды, поскольку ледяной покров к началу его разрушения имеет более низкую соленость (0,15—0,5 %), чем вода.

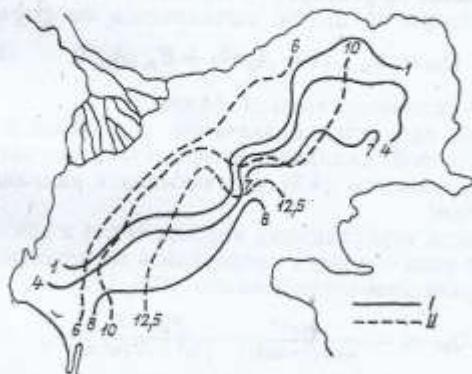


Рис. 5.6. Распределение солености (%) в экстремально многоводном (июнь 1947 г.) (I) и маловодном (октябрь 1968 г.) (II) годах.

Расчеты показывают, что в период развития ледяного покрова средняя соленость Северного Каспия повышается примерно на 0,6—0,7 %, в том числе в западной части на 0,4 %, в восточной на 1,2—1,3 %. При таянии льда примерно на столько же происходит ее понижение, и в целом эти изменения соизмеримы с сезонными колебаниями солености в навигационный период.

В заключение рассмотрим случаи экстремального опреснения и осолонения Северного Каспия.

Максимальное опреснение произошло во время прохождения волны половодья в 1947 г. Воды с соленостью более 8 % занимали всего около 10—15 % площади Северного Каспия (рис. 5.6). Треть всей площади водоема (до 4—5-метровой изобаты) была занята водами с соленостью до 2 %.

Наибольшее осолонение происходит ранней весной или поздней осенью при уменьшении притока речных вод в море, и в результате этого усиливается влияние ветрового воздействия. Одновременно происходит сокращение ширины зоны опресненных вод и фронтальной зоны до 20—45 км, против 80—100 км при максимальном опреснении западной части Северного Каспия.

Значительное осолонение может происходить и в период половодья при объемах стока обеспеченностью более 60 %, т. е. в маловодные годы, при одновременном действии южных ветров, способствующих адвекции в Северный Каспий среднекаспийских вод. Распределение солености в этом случае мало отличается от весенне-осеннего с той лишь разницей, что площадь опресненной зоны (0—2 %) близка по размерам к среднемноголетней. Подробно распределение солености вод Се-

верного Каспия в различные годы рассмотрено в работе Д. Н. Катунина и И. А. Хрипунова [199].

5.1.5. Вертикальное распределение солености

Значительные вертикальные градиенты солености в Северном Каспии формируются в результате взаимодействия речных и морских вод, определяющую роль при этом играет волжский сток. Усилинию вертикальной стратификации способствует также неодинаковое термическое состояние слоев воды, поскольку температура поверхностных опресненных вод, поступающих летом со взворья, на 10—15 °C выше, чем придонных среднекаспийских.

Кроме указанных факторов, необходимо учитывать также глубину моря и рельеф дна. В районах моря с отрицательными формами рельефа дна вертикальные градиенты солености выражены резче.

На свале глубин (8—15 м) формируется устойчивый галоклин, который хорошо прослеживается в зоне прохождения западной волжской «струи». Глубина залегания его непостоянна (в среднем на горизонте 4—6 м при общей глубине около 10 м), толщина в межень — около 1 м, в период прохождения волны половодья — 2—3 м. Положение галоклина в Северном Каспии часто совпадает с термоклином. Галоклин служит индикатором интенсивности поступления пресных вод в данный район. Так, в центральной части Северного Каспия слой скачка солености залегает глубже и толще его меньше, чем в зоне прохождения западной «струи». За валом глубин, на границе со Средним Каспием, галоклин формируется в период прохождения волны половодья Волги (май—июль) и залегает в слое 10—15 м.

Устойчивость галоклина велика во время прохождения волны половодья, за исключением маловодных лет. В межень формирование слоя скачка солености связано с развитием западных и северо-западных ветров силой не менее 4—5 баллов. Однако галоклин может формироваться и при сильных устойчивых юго-восточных ветрах, хотя при ветрах скоростью более 7 м/с разрушается.

По особенностям вертикального распределения солености Н. А. Скриптуров [362] выделяет в западной части моря три района. Первый район с однородным распределением солености протягивается от морского края дельты до глубины около 2 м; второй — от изобаты 2 м до свала глубин, со слабо выраженной стратификацией; третий район — свал глубин с существенными вертикальными градиентами солености.

Многолетние наблюдения КаспНИРХ позволяют сделать вывод, что значительная переслоенность вод в Северном Каспии может наблюдаться почти на всей акватории. Однако особенности вертикальной стратификации в разных районах моря неодинаковы. Небольшие глубины на большей части акватории и интенсивное ветровое перемешивание вод ограничивают районы формирования зон с устойчивой вертикальной стратификацией солености. Возможность образования таких зон определяется адвекцией пресных вод в эти зоны и глубиной места.

Весной и летом устойчивость вертикальной стратификации вод по солености повышается, так как температура пресных вод, поступающих со взморья Волги, больше, чем морских вод. Осенью при развитии конвективного перемешивания площадь зон, стратифицированных по солености, почти постоянно формируются в зоне прохождения западной волжской «струи», а также в период половодья на свале глубин (3–10 м) и южнее. При этом в центральной части свала глубин расложение вод происходит в апреле — августе, в восточной части — только в июне, а южнее свала глубин — в июле — сентябре.

Максимальные градиенты солености до (3,1‰/м) формируются в период поступления волжских полых вод в мае на горизонтах 3–5 м. Однако устойчивость таких градиентов невелика.

Н. И. Винецкая [86], Н. А. Скрипунов [362] и другие отмечают, что наибольшие вертикальные градиенты солености наблюдаются в многоводные годы. В целом это справедливо, однако при определенном характере динамики вод прямая стратификация солености может быть выражена не менее резко и в маловодные годы (как, например, в 1950, 1959, 1961 и 1964–1965 гг.). Однако в отличие от многоводных лет, устойчивость ее в маловодные годы невелика — около трех суток.

Вертикальные градиенты ($\Delta S/\Delta Z$) в современных условиях равны в среднем в июне 0,22, августе 0,06, октябре 0,09 ‰/м. После зарегулирования волжского стока произошло внутригодовое перераспределение $\Delta S/\Delta Z$ — увеличение в межень и уменьшение в период прохождения волн половодья.

Для восточной части Северного Каспия характерна гомохалинность. Как отмечает Н. И. Винецкая [86], весьма незначительная вертикальная стратификация (до 0,01‰/м) отмечается только в северной части Уральской бороздины, что обусловлено отсутствием значительного речного стока, относительной изоляцией от Среднего Каспия, мелководностью района и интенсивным ветровым перемешиванием. Как речные, так и морские воды поступают в восточную часть моря в основном в трансформированном виде. Зимой вблизи устья Урала вертикальные градиенты солености, по данным Астраханской ГМО, составляют 0,3–0,5‰/м, достигая в отдельных случаях 1,5‰/м или уменьшаясь до 0,04‰/м.

Максимальные значения $\Delta S/\Delta Z$ на востоке в навигационный период могут достигать 1,34‰/м (июнь 1958 г.), однако устойчивые вертикальные градиенты солености в этой части моря не наблюдаются.

5.1.6. Влияние ветра на распределение солености

Многие исследователи, изучавшие режим солености Северного Каспия, отмечали важную роль ветра в распределении солености [86, 150, 285, 392, 396, 408]. Они показали, что северо-западные и западные ветры для Северного Каспия являются опресняющими, южные и восточные — осолоняющими.

Д. Н. Катунин [197] показал, что результатирующее воздействие ветра на режим солености Север-

ного Каспия (опреснение или осолонение) имеет определенную вероятность.

В межень влияние ветровых условий над морем на формирование поля солености значительно возрастает. В июне — августе около 40–50 % случаев изменения солености определяется колебаниями водности Волги, а осенью — только 18 %.

В большинстве случаев понижение (повышение) солености под воздействием ветра не выходит за пределы $\pm 0,5 \%$, что в 1,5–3 раза меньше, чем под влиянием речного стока.

Для западной части моря с высокой степенью вероятности можно ожидать опреснение вод под действием западных, северо-западных, северных, северо-восточных ветров (табл. 5.4).

Для восточной части подобный эффект достигается при северо-западных, северных, северо-восточных и восточных ветрах. Отметим, что в период поступления волжских полых вод в море (май — июль) вероятность опреснения восточной части Северного Каспия под воздействием северо-восточных и восточных ветров возрастает.

Неоднозначный результат воздействия ветра объясняется возникновением компенсационного подтека вод. Для юго-западной части Северного Каспия это явление отметил Н. А. Скрипунов [368]. После сильных сгонных ветров компенсационный подтек может способствовать осолонению не только отдельных участков, но и всей западной части Северного Каспия.

Компенсационные течения в восточной части также имеют место, но выражены слабее, чем в западной. Однако для отдельных участков влияние ветра на формирование солености может быть иным, чем для всей восточной части Северного Каспия. Например, при юго-восточных ветрах на фоне общего увеличения солености происходит опреснение северной части Уральской бороздины и прилегающих мелководий.

В формировании режима солености имеет значение не только направление и скорость ветра, но и продолжительность его действия. Точное решение этого вопроса может быть получено только при детальном исследовании динамики вод Северного Каспия.

5.1.7. Соотношения между средними за апрель—октябрь (условно среднегодовыми) и среднемесячными значениями солености

Для прогнозирования солености с полугодичной заблаговременностью, а также для восстановления рядов были проведены статистические расчеты по выявлению зависимости между среднегодовой соленостью и ее среднемесячными значениями. Соотношения определялись отдельно для западной и восточной частей Северного Каспия.

В отличие от подобных расчетов, проведенных Б. М. Затучной [157], использовались ряды солености только за 1960–1977 гг. (табл. 5.5), и расчетные зависимости получены не только для лета, но и для других сезонов года.

Вычисление коэффициентов корреляции проведено по известной формуле

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5.1)$$

Таблица 5.4

Соотношение между среднегодовыми (апрель—октябрь) и среднемесячными значениями солености вод Северного Каспия

Месяц	Уравнение регрессии	r_{xy}	S_r	S_y	P
Апрель	$S_a = 0,52S_{IV} + 4,09$	0,65	0,09	0,35	$P > P_{0,95}$
	$S_a = 0,81S_{IV} + 1,13$	0,88	0,03	0,52	$P > P_{0,995}$
Июнь	$S_a = 0,50S_{VI} + 4,98$	0,82	0,05	0,32	$P > P_{0,995}$
	$S_a = 1,03S_{VI} - 0,16$	0,92	0,02	0,43	$P > P_{0,995}$
Июль	$S_a = 0,34S_{VII} + 6,36$	0,75	0,08	0,24	$P > P_{0,95}$
	$S_a = 1,01S_{VII} + 0,30$	0,90	0,03	0,43	$P > P_{0,995}$
Август	$S_a = 0,53S_{VIII} + 4,41$	0,90	0,03	0,22	$P > P_{0,995}$
	$S_a = 0,84S_{VIII} + 1,20$	0,93	0,02	0,40	$P > P_{0,995}$
Сентябрь	$S_a = 0,59S_{IX} + 3,75$	0,90	0,04	0,25	$P > P_{0,995}$
	$S_a = 0,75S_{IX} + 1,68$	0,95	0,01	0,31	$P > P_{0,995}$
Октябрь	$S_a = 0,51S_X + 4,25$	0,50	0,11	0,54	$P > P_{0,95}$
	$S_a = 0,01S_X + 0,03$	0,91	0,02	0,46	$P > P_{0,995}$

Примечание. S_a и S_b — среднегодовая соленость соответственно западной и восточной частей Северного Каспия; r_{xy} — коэффициент корреляции; S_r — погрешность коэффициента корреляции; S_y — средняя квадратическая погрешность уравнения регрессии; P — выборочный порог достоверности.

где x_i , y_i — текущие значения случайных величин; \bar{x} , \bar{y} — их математическое ожидание; n — число членов ряда (выборки).

Погрешность коэффициента корреляции определялась по формуле

$$S_r = \sqrt{(1 - r^2)/(n - 2)}. \quad (5.2)$$

Соответственно среднеквадратическая погрешность уравнения регрессии —

$$S_y = \sigma_y \sqrt{1 - r^2}. \quad (5.3)$$

Таблица 5.5

Наблюденные (S_n) и расчетные (S_p) значения солености для западной части Северного Каспия (%)

Год	S_n	S_p	$S_n - S_p$
1960	9,37	9,39	-0,02
1961	9,69	9,93	-0,24
1962	9,50	9,67	-0,17
1963	9,67	9,18	0,49
1964	8,90	9,11	-0,21
1965	9,31	9,94	-0,63
1966	8,64	8,71	-0,07
1967	9,82	9,47	0,35
1968	9,61	9,74	-0,07
1969	9,16	9,54	-0,38
1970	9,00	8,90	0,10
1971	9,07	9,49	-0,42
1972	8,70	9,66	-0,96
1973	9,10	9,70	-0,60
1974	9,35	9,53	-0,18
1975	11,04	9,90	1,14
1976	10,64	10,56	0,08
1977	10,24	10,24	0,00
1960—1965	9,50	9,54	-0,04
1966—1970	9,25	9,27	-0,02
1971—1975	9,45	9,66	-0,19
1976—1977	10,44	10,35	0,09

Выборочный порог достоверности определялся в долях единицы по Вандер Вардену [69]:

$$t = (r/\sqrt{1 - r^2})\sqrt{n - 2}. \quad (5.4)$$

Затем по таблицам определялись границы для выборочного коэффициента r по 1%-ному уровню значимости. Наиболее значимые связи (при $P < P_{0,95}$) коэффициенты корреляции не использовались) формировались с помощью регрессивного анализа. Уравнения регрессии рассчитывались методом наименьших квадратов [248]. Все полученные зависимости проверялись на фактическом материале, не использованном при расчетах.

Для восточной части Северного Каспия отмечена более тесная связь между рассматриваемыми характеристиками, чем для западной. Однако погрешность уравнения регрессии для западной части в 1,5—2 раза (кроме октября) ниже, чем для восточной. Физический смысл такой закономерности очевиден, если учесть особенности формирования солености и ее сезонную динамику в обеих частях моря. Солезапас западной части Северного Каспия сосредоточен в основном в приглубой зоне и сравнительно мало изменяется, поэтому погрешность уравнения регрессии меньше, чем для восточной части, где изменчивость солености выше.

5.1.8. Расчетные зависимости между соленостью отдельных районов моря

В настоящее время накоплен обширный материал, позволивший найти зависимости для расчета сезонных изменений солености в отдельных районах восточной и западной частей Северного Каспия, которые являются прогнозистическими. Большая теснота связи и меньшие погрешности характерны для расчетных зависимостей для восточной части Северного Каспия. Это и понятно, поскольку

условия формирования солености для обоих районов восточной части практически идентичны.

Характерно, что для западной части взаимосвязь между значениями солености отдельных районов возрастает в период прохождения волн половодья, т. е. когда усиливается генетическая общность условий формирования режима солености.

5.1.9. Расчетные зависимости для определения зон пониженной солености в западной части Северного Каспия

Формирование опресненных зон в западной части Северного Каспия определяется главным образом водностью Волги. Площади опресненных зон как в условиях естественной водности Волги, так и в период зарегулированного стока возрастают с апреля по июль. Затем они уменьшаются, однако в октябре их площадь все же больше, чем в апреле. После зарегулирования волжского стока площади опресненных зон в летний период сократились на 10–16 %, несколько возросли в апреле за счет повышенных зимних расходов воды в современных условиях [194].

5.1.10. Соленость вод Северного Каспия при изменении водного баланса

В современных условиях гидрологический режим, в том числе соленость, формируется в результате совокупного воздействия климатических и антропогенных факторов.

В перспективе в случае возможного понижения уровня моря ниже отметки —28,5...—28,7 м произойдет нарушение сложившегося водно-солевого баланса. В конце 70-х годов уровень Каспийского моря опускался до отметки —29,0 м. В результате

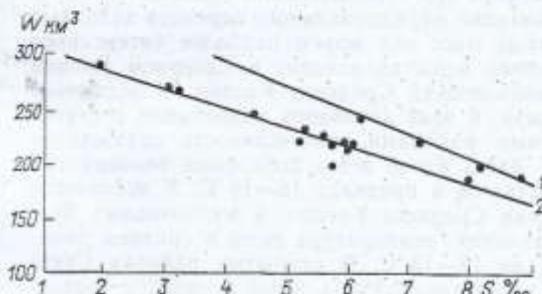


Рис. 5.7. Зависимость между объемами волжского стока и соленостью вод, вытекающих из западной части Северного Каспия в восточную (2) и из восточной в западную (1).

произошло увеличение солености в обеих частях Северного Каспия, особенно значительное (до 11,2 ‰) в восточной части [198]. Характерным было образование вдоль Кулалинского порога устойчивой зоны с резко выраженным горизонтальными градиентами солености (2–10 ‰/км). Пресные воды из восточных рукавов дельты Волги поступали в основном в юго-восточную часть Северного Каспия, продвигаясь вдоль Кулалинского порога.

Озередки, острова, расположенные восточнее Иголкинского банка, соединились, образовав есте-

ственное препятствие для поступления пресных вод непосредственно в восточную часть моря. В районе Тюленьих островов образовался очаг повышенной солености. Воды из этого района поступали на границу со Средним Каспием, соленость их составляла более 14 %. Очаги солености, превышающей среднекаспийскую, располагались также вдоль восточного и юго-восточного побережий Северного Каспия.

Колебания уровня предопределяют сложность расчета перспективной солености Северного Каспия, особенно отдельных районов, так как некоторые из них могут в этих условиях не осолоняться, а опресняться. Особенно это относится к району восточнее о. Тюленьего (Бахтемирский осередок), через который осуществляется перенос волжских вод, выходящих из западных рукавов дельты Волги.

Определенное значение может иметь также сезонное перераспределение волжского стока, а именно — увеличение расходов в зимний период, что будет способствовать уменьшению поступления пресной воды на восток. Таким образом, произойдет не только нарушение существующего водно-солевого баланса, но и циркуляции вод.

При расчете перспективной солености Северного Каспия необходимо знать водообмен, формирующийся как под действием ветра, так и за счет пресной составляющей баланса. Уменьшение пресной составляющей (N_p) ослабляет поток северокаспийских и, наоборот, усиливает advекцию среднекаспийских вод. Пресная составляющая баланса (N_p) для Северного Каспия прямо пропорциональна речному стоку (W_r):

$$W_r = 1,33N_p. \quad (5.5)$$

Таким образом, общий водообмен (V_b) равен

$$V_b = V_{vb} \pm V_{pb}, \quad (5.6)$$

где V_{vb} — результирующий ветровой водообмен, V_{pb} — водообмен, обусловленный пресным балансом.

При понижении уровня моря соленость Северного Каспия будет постепенно возрастать, особенно в восточной части Северного Каспия. Основным фактором увеличения солености в этой части моря является резкое сокращение водообмена с западной частью.

Расчеты будущей солености восточной части в условиях неуставновившегося водно-солевого баланса были выполнены нами по следующему уравнению:

$$S_t = \{S_{t-1}V_{t-1} \pm [(Q_b + F_b)S'_b - (Q_b - F_b)S''_b]\}/V_t. \quad (5.7)$$

Соленость в расчетный год может быть определена как

$$S_t = (S_{t-1}V_{t-1} \pm \Delta S)/V_t. \quad (5.8)$$

где S_t — искомая соленость; V_t — объем вод восточной части Северного Каспия; V_{t-1} — объем вод восточной части Северного Каспия в предыдущий год; S_{t-1} — исходная соленость предыдущего года; Q_b — условный водообмен (км³), выраженный в виде результирующих потоков (по Г. В. Ржеплинскому

[337]): F_v — дефицит воды (km^3) в восточной части моря при годовом стоке Урала 50 %-ной обеспеченности, среднемноголетних значениях испарения и осадков; дефицит приведен по Г. В. Ржеплинскому; S_w' — соленость вод, вытекающих из восточной части в западную; S_v' — соленость вод, вытекающих из западной части в восточную.

Значения S_w' и S_v' были получены по результатам многолетних наблюдений на Куллапинском пороге (границе между западной и восточной частями Северного Каспия) (рис. 5.7). Принято, по Г. В. Ржеплинскому [337], что результирующий поток в северной части порога направлен из западной части в восточную, в южной — направление потока обратное.

Проведенные расчеты показали, что при понижении уровня моря будет происходить осолонение как восточной, так и западной частей Северного Каспия (табл. 5.6).

Таблица 5.6

Расчетные приращения солености по отношению к исходной при различных отметках уровня моря (при 50 %-ной обеспеченности стока Волги и Урала)

		Отметка уровня моря, м				
		-28,7	-29,0	-29,6	-30,1	-30,6
Западная часть		-0,07	+0,38	+0,75	+1,22	+1,44
Восточная часть		+1,29	+1,86	+4,33	+6,20	+7,85

Наиболее интенсивное осолонение восточной части происходит при отметках уровня моря ниже -29,0 м. Заметим, что полученные значения приращения солености относятся к средним условиям водности; при повышенной повторяемости маловодных и многоводных лет значения приращения несомненно будут иными.

5.2. Соленость вод Среднего и Южного Каспия

5.2.1. Информационная база и методы анализа

Исходными материалами для характеристики солености Среднего и Южного Каспия послужили прибрежные и рейдовые наблюдения, проводимые на гидрометстанциях, и наблюдения в приусտвенных участках крупных рек (Терек, Сулак, Кура). По открытому морю обобщались все наблюдения на стандартных, «вековых» и других разрезах за 1956—1985 гг., материалы сезонных гидрологических съемок в отдельных районах, а также все эпизодические наблюдения, проведенные в открытом море с начала наблюдений до 1975 г. В отдельные годы гидрологические работы проводились одновременно на нескольких судах различных ведомств на девяти разрезах. С 1962 г. число разрезов сократилось до четырех.

В результате был сформирован массив наблюдений за соленостью по одноградусным квадратам и реперным станциям «вековых» гидрологических разрезов (см. рис. 1.3).

Информационная база для исследования солености Среднего и Южного Каспия содержит более 10 000 наблюдений, сгруппированных по одногра-

дусным квадратам. Если за 100 % взять все наблюдения за четыре характерных месяца сезона (февраль, апрель, август, ноябрь), то в процентном отношении сезонная освещенность по данным «вековых» разрезов выглядит следующим образом: февраль — 22 %, апрель — 27 %, август — 35 % и ноябрь — 16 %.

Наиболее освещена наблюдениями широтная зона $40^{\circ}00'—40^{\circ}30'$ с. ш. Относительно слабо (рис. 1.4) охвачены наблюдениями самые южные районы моря (у иранского побережья).

Компоновка исходной информации проводилась по единой сетке станций, отнесенных к середине одноградусных квадратов, и по реперным станциям. Для Среднего и Южного Каспия в качестве реперных послужили гидрологические станции «вековых» и стандартных разрезов.

Среднемноголетние значения солености, полученные для одноградусных квадратов и реперных станций, были использованы для построения схем распределения солености на горизонтах 0 и 20 м в характерные месяцы сезонов (февраль, апрель, август, ноябрь).

Для характеристики вертикальной структуры солености использовались данные на «вековых» разрезах за 1956—1985 гг.

5.2.2. Пространственно-временное распределение солености

Формирование полей солености в верхнем слое моря происходит в основном под воздействием речного стока, ветра и циркуляции вод. В отдельных районах моря на соленость в верхнем слое могут оказывать влияние атмосферные осадки, процессы образования и таяния льда.

Вертикальное распределение солености формируется под влиянием конвективного перемешивания и связанной с ним плотностной циркуляции вод.

Средняя соленость поверхностных вод в открытом море находится в пределах 12,7—12,8 %. Для восточного побережья во все сезоны характерна более высокая соленость ввиду отсутствия речного стока и осолонения при интенсивном испарении. Здесь соленость может доходить до 13,6 %, а в мелководных бухтах бывает еще выше.

Наибольшая разница в солености между западным и восточным прибрежными районами характерна для северного района Среднего Каспия. Разность между значениями солености на крайних станциях разреза о. Чечень — п-ов Мангышлак в весенние и осенние месяцы превышает 3—4 % (табл. 5.7).

Изменения солености в толще воды были проанализированы при сравнении ее распределения на стандартных разрезах за четыре периода: 1958—1962 гг. (А. С. Пахомова), 1965—1968 гг. (А. Н. Косарев), 1961—1978 и 1956—1985 гг. (Л. П. Тамбовцева) (табл. 5.8).

В наиболее подверженной опреснению зоне (о. Чечень — п-ов Мангышлак) ввиду уменьшения водности Волги в 50—70-е годы произошло повышение солености в слое 0—10 м на 0,5—0,8 %. Однако увеличение стока в последнее десятилетие сказалось и на среднемноголетних значениях солености, вследствие чего на указанном разрезе они уменьшились на 0,5—0,6 %.

Таблица 5.7

Разность солености в поверхностном слое (0 м) между крайними станциями разреза (%)

Месяц	о. Чечень — п-ов Манышлак			Динчи — Кандерли			о. Жилой — м. Куули			о. Курийский Камень — о. Огурчинский		
	ст. 1	ст. 7	ΔS_{1-7}	ст. 1	ст. 11	ΔS_{1-11}	ст. 1	ст. 9	ΔS_{1-9}	ст. 1	ст. 10	ΔS_{1-10}
Февраль	12,20	12,94	-0,74	12,49	12,92	-0,43	12,54	12,94	-0,40	12,49	13,06	-0,57
Апрель	8,34	12,73	-4,39	12,60	12,98	-0,38	12,72	13,01	-0,29	12,28	13,01	-0,73
Август	10,19	11,65	-1,46	12,80	13,03	-0,23	12,78	12,98	-0,20	12,80	12,92	-0,12
Ноябрь	8,60	12,30	-3,70	12,01	12,82	-0,81	12,70	12,94	-0,24	12,84	12,90	-0,06

Южнее на акватории Среднего и Южного Каспия соленость в слое 0—10 м изменялась мало, отклоняясь от нормы не более чем на 0,1%.

Изменение водности и подъем уровня моря в 80-е годы привели к уменьшению глубины проникновения конвекции, вследствие чего на глубинах ниже 400 м возрос удельный вес вод с соленостью 13‰ и выше.

Максимальные многолетние колебания солености рассмотрены на четырех разрезах — мелководном, на котором оказывается воздействие опресненных северокаспийских вод, и глубоководных.

На разрезе о. Чечень — п-ов Манышлак максимальные колебания солености на поверхности достигают 8,0‰, а на горизонтах 10 и 20 м — 5,6 и 1,8‰ соответственно. Южнее, на разрезе Динчи — Кандерли, наибольший размах изменяется от 3‰ в слое 0—5 м до 1,2—1,6‰ в глубинных слоях (150—500 м).

На разрезах в глубоководной впадине Южного Каспия и над Ашеронским порогом колебания солености составляют 1—1,5‰. Наибольшая разница между максимальной и минимальной соленостью отмечена в районе Ашеронского порога, где она равна 1,6‰ в поверхностном слое и 2,1‰ на горизонте 5 м. В глубоководной части разреза о. Жилой — м. Куули преобладают значения солености 1—1,3‰. Ближе к восточному побережью размах солености несколько увеличивается (1,2—1,4‰).

В западной части разреза о. Курийский Камень — о. Огурчинский отражается влияние стока Куры: размах солености в поверхностном слое увеличивается до 2‰. Опресняющее влияние курийского стока с глубиной уменьшается, на горизонтах 40—70 м размах колебаний солености не более 1,1‰.

Для анализа сезонных изменений солености использованы схемы ее распределения на поверхности и вертикальные разрезы солености в феврале, апреле, августе, ноябре (рис. 5.8—5.12).

Среднемноголетняя соленость в феврале на поверхности изменяется от 11—12‰ на северо-западе до 13—13,5‰ на юго-востоке. На горизонте 20 м она увеличивается в том же направлении от 12,5 до 13,1‰. В открытых районах моря соленость колеблется в пределах 12,7—12,8‰.

Вдоль всего восточного побережья тянется полоса солености 13‰, образовавшаяся в результате интенсивного летнего испарения. Кроме того, в Южном Каспии повышение солености происходит при выносе осолоненных вод из бухт и заливов на восточном шельфе под действием юго-во-

сточных ветров. В дальнейшем эти воды переносятся в Средний Каспий.

Вдоль всего западного побережья до Ашеронского полуострова тянется полоса опресненных вод с соленостью 10—12,5‰, поступающих из Северного Каспия (см. рис. 5.8 а).

Понижение солености вдоль западного берега Южного Каспия в слое 0—20 м вызывается стоком Куры.

В глубинных слоях Среднего и Южного Каспия соленость около 13‰. В центральной части Среднего Каспия такая соленость наблюдается на горизонтах ниже 100 м, а в глубоководной части Южного Каспия верхняя граница вод с повышенной соленостью опускается до 250 м (см. рис. 5.9).

Весной по мере увеличения притока опресненных вод из Северного Каспия соленость в западной части моря понижается до 9—12‰.

Как и зимой, воды с пониженной соленостью распространяются в верхнем слое 0—10 м.

Распределение солености в центральной части моря выравнивается. Почти по всей толще вод Южного Каспия, а также Среднего она составляет 12,8—12,9‰. Слой повышенной солености (13‰) занимает лишь глубоководную часть Среднекаспийской впадины и узкую полосу у дна восточного шельфа (см. рис. 5.10).

Вдоль восточного побережья на поверхности северная граница вод с соленостью 13‰ смешается к югу (см. рис. 5.8 б).

После весеннего пика половодья Волги, а также рек западного побережья, когда в море поступает до 50% годового стока, зона опресненных вод резко увеличивается и в августе занимает наибольшую площадь (см. рис. 5.8 в).

На границе с Северным Каспием соленость 12,5‰ наблюдается до глубины 20 м. На поверхности перенос опресненных вод к югу вдоль западного побережья усиливается (изогалина 12,5‰ смешается в центральную часть Среднего Каспия).

В юго-западном районе наблюдается влияние стока Куры. Язык опресненных вод (12—12,5‰) вытянут к северо-востоку под действием антициклической циркуляции в этом районе.

Ввиду увеличения испарения в летнее время значительно расширяется зона с соленостью 13‰ вдоль восточного побережья. В мелководных бухтах и заливах восточного побережья соленость достигает до 14‰.

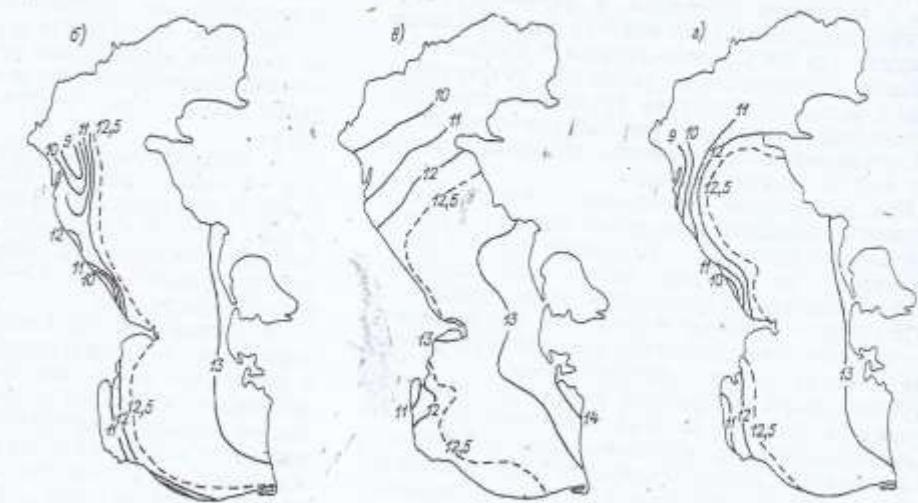
Осеню горизонтальные градиенты солености в северо-западном районе Среднего Каспия сохраняются (см. рис. 5.8 г). В толще вод соленость изменяется от 9—10‰ на западе до 12,5—12,6‰ на

Таблица 5.8

Среднемноголетние значения солености (%) в Каспийском море

Гори- зонт, м	о. Чечень — п-ов Мангышлак				Дашчи — Кандарлы				о. Жилой — м. Куузы				о. Куринский — Камень — о. Огур- чинский			
	1958— 1962	1965— 1968	1961— 1978	1966— 1985	1958— 1962	1965— 1968	1961— 1978	1958— 1985	1958— 1962	1965— 1968	1961— 1978	1958— 1985	1958— 1962	1965— 1968	1961— 1978	1958— 1985
0	11,68	12,55	12,04	11,94	12,80	—	12,84	12,77	12,81	12,89	12,90	12,83	12,84	12,69	12,90	12,81
5	12,04	12,55	—	12,02	—	—	—	—	12,77	12,80	—	12,84	—	—	—	12,82
10	12,18	12,76	(11,89)	12,23	12,78	—	12,91	12,82	12,81	12,80	12,90	12,84	12,85	12,77	12,91	12,84
20	12,97	12,99	—	12,80	—	—	—	—	—	12,82	—	12,84	—	12,79	—	12,85
30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12,83	—	12,87	—	12,83	—	12,87
50	—	—	—	—	12,81	—	12,91	12,90	12,83	12,80	12,91	12,89	12,84	12,87	12,91	12,88
75	—	—	—	—	—	—	—	—	12,84	12,80	—	—	—	—	—	—
100	—	—	—	—	12,86	—	12,96	12,94	12,85	12,85	(12,76)	12,92	12,85	12,84	12,92	12,90
150	—	—	—	—	—	—	—	—	12,86	12,90	—	12,92	—	—	—	12,91
200	—	—	—	—	12,89	—	12,98	12,97	—	—	—	—	12,84	12,81	12,96	12,94
300	—	—	—	—	12,90	—	—	13,03	—	—	—	—	—	—	—	12,96
400	—	—	—	—	12,89	—	—	13,04	—	—	—	—	12,85	12,80	—	13,00
500	—	—	—	—	12,88	—	—	13,08	—	—	—	—	12,85	—	—	13,08
600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12,83	—	—
700	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12,86	—	—	—
800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12,89	12,86	—	—

Примечание. В скобках — сомнительное значение.

Рис. 5.8. Среднемноголетняя соленость (%) на поверхности моря.
а — февраль; б — апрель; в — август; г — ноябрь.

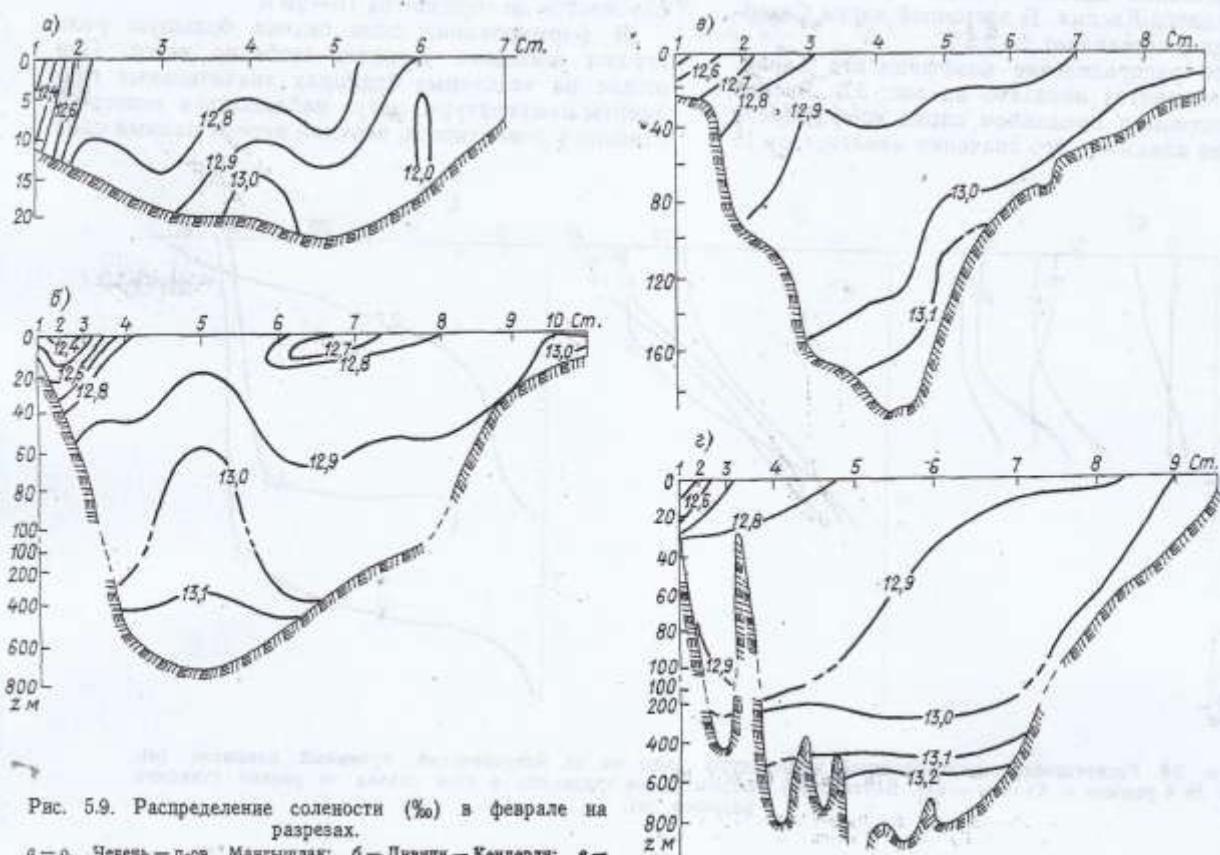


Рис. 5.9. Распределение солености (%) в феврале на разрезах.

а — о. Чечень — п-ов Мангышлак; б — Джиличи — Кендерли; в — о. Жалой — м. Куули; г — о. Курийский Камень — о. Огурчинский.

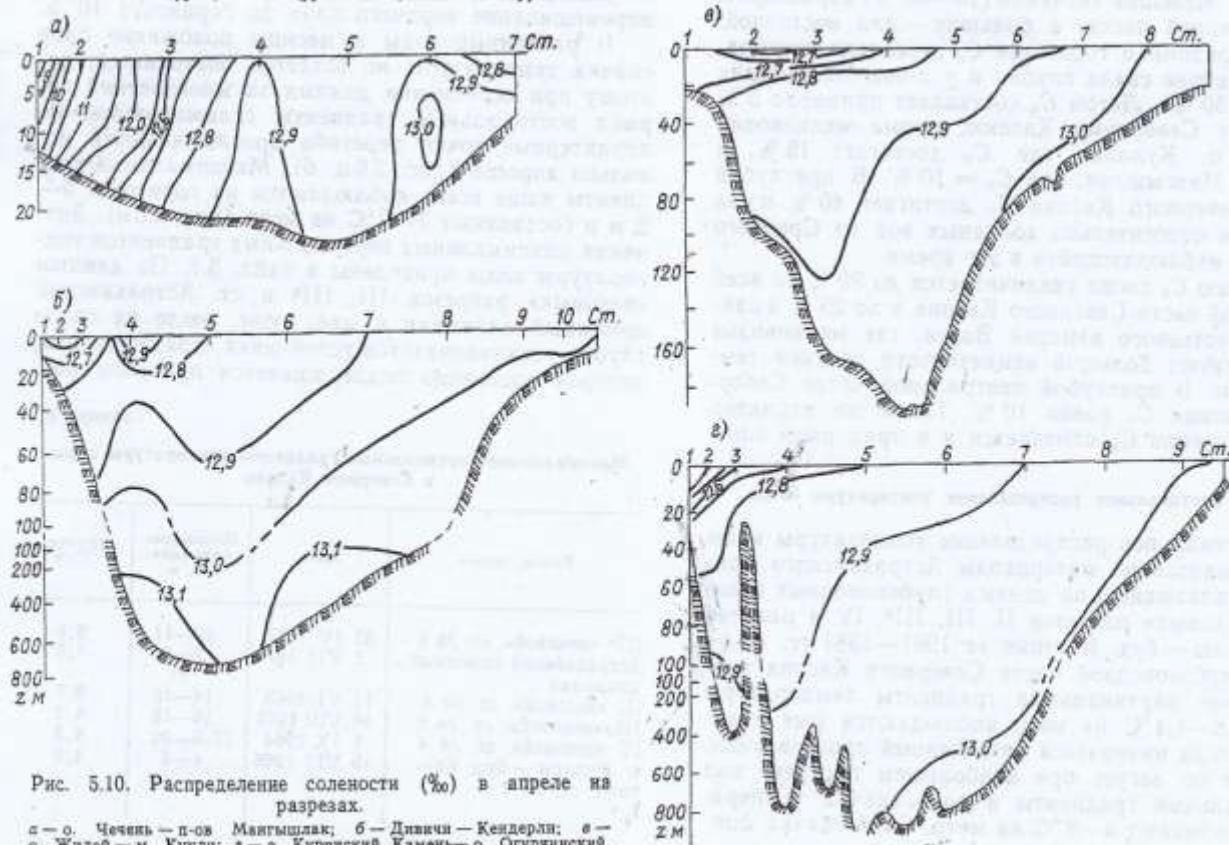
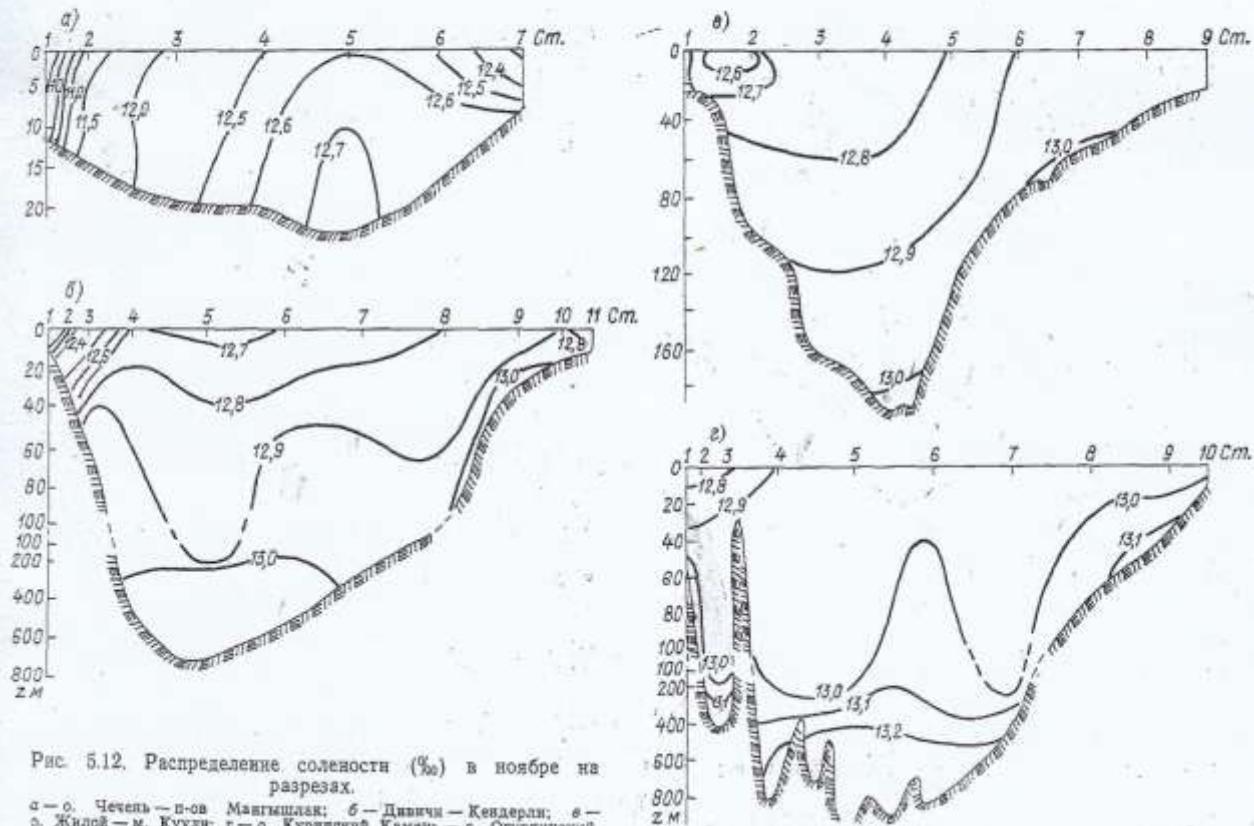
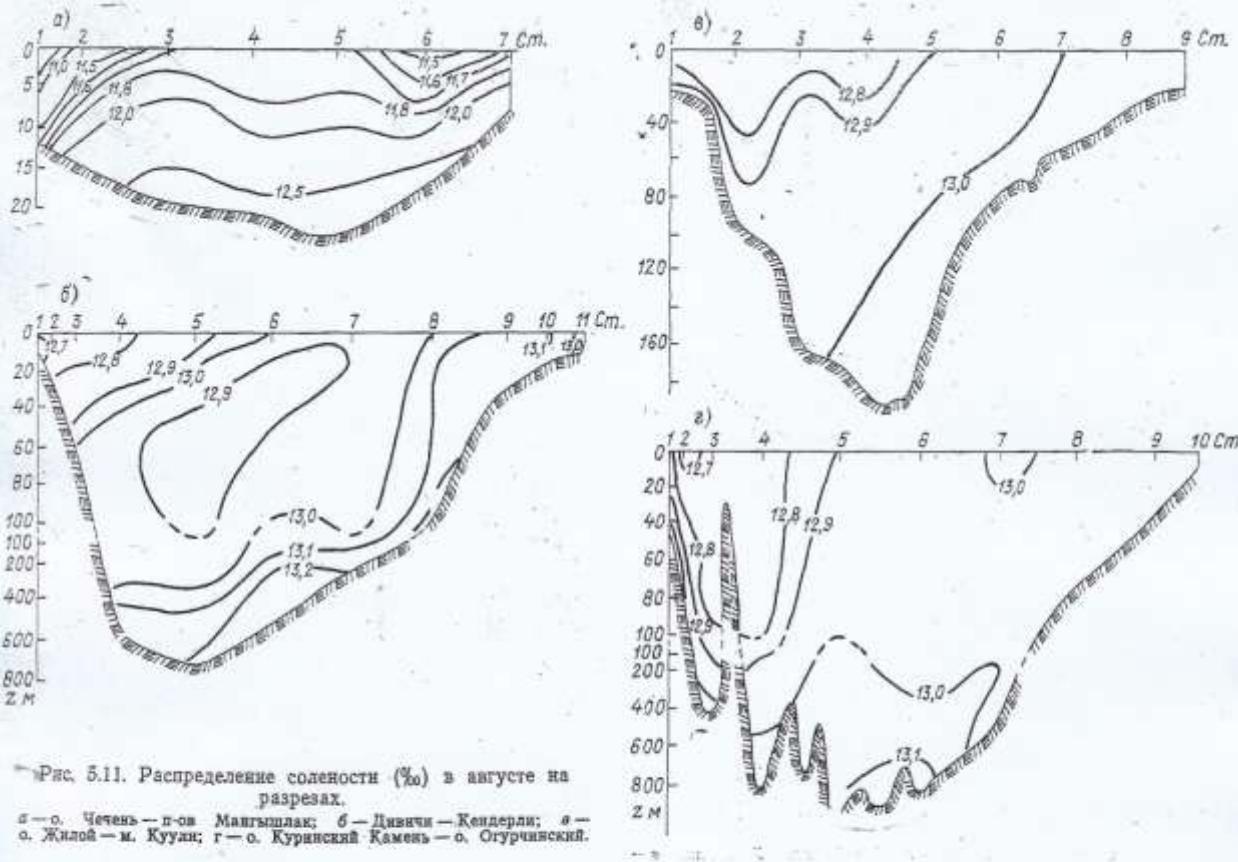


Рис. 5.10. Распределение солености (%) в апреле на разрезах.

а — о. Чечень — п-ов Мангышлак; б — Джиличи — Кендерли; в — о. Жалой — м. Куули; г — о. Курийский Камень — о. Огурчинский.



востоке. На поверхности выделяется область пониженной солености вдоль западного побережья Среднего и Южного Каспия. Сужается полоса повышенной солености (13‰) вдоль восточного побережья. На остальной акватории ее распределение довольно однородное, преобладает соленость 12,7‰.

В Южном Каспии увеличивается толщина слоя с соленостью до 13‰, верхняя граница которого

у восточного побережья поднимается к поверхности (см. рис. 5.12).

Таким образом, основные закономерности горизонтального и вертикального распределения солености моря, полученные по материалам 1956—1985 гг., в общих чертах схожи с теми, которые выявлены по исследованиям в предыдущие годы.