

551.464.5(262.81)

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЖИМА СОЛЕННОСТИ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

Д. Н. Катунин

Несмотря на сравнительно большое количество работ, посвященных режиму солёности Северного Каспия, многие вопросы его формирования из-за сложности явления и непрерывно происходящих изменений или не рассматривались или требуют дополнительных исследований. В данной работе мы рассмотрим некоторые из них.

Изменчивость солёности вод Северного Каспия. В Северном Каспии происходят не только межгодовые изменения солёности, но и сезонные и кратковременные (от нескольких часов до нескольких суток). Рассмотрим величины этих изменений. В качестве показателя изменчивости используем среднее квадратическое отклонение σ , которое определяет степень изменчивости случайной переменной внутри выборки:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n-1}},$$

где $x = x_i - \bar{x}$;
 \bar{x} — выборочная средняя;
 n — число членов ряда.

Наблюдения обрабатывали по сетке станций (Катунин, 1971), охватывающей всю акваторию Северного Каспия за период наблюдений с апреля по октябрь. Полученные результаты позволяют сделать вывод

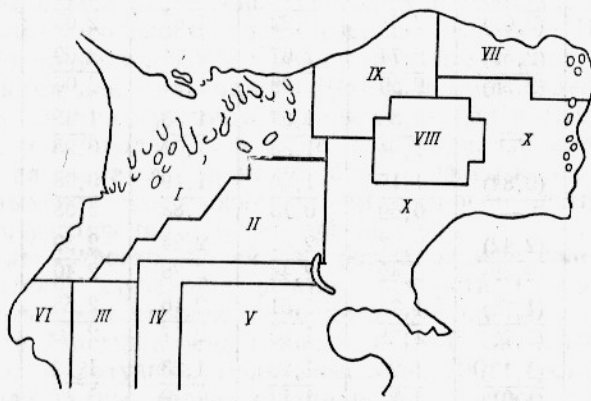


Рис. 1. Районирование акватории Северного Каспия по изменчивости режима солёности.

о том, что по межгодовым, сезонным и кратковременным изменениям солёности Северный Каспий является неоднородным водоемом. На его акватории можно выделить следующие районы (рис. 1): I — предустьевое пространство Волги; II — свал глубин в западной части моря между

2,5 и 10-метровой изобатами; III — свал глубин восточнее островов Тюлений и Чечень; IV — свал глубин севернее банок Большая Жемчужная и Кулалинская; V — центральный приглубый район; VI — юго-западное мелководье; VII — предустьевое пространство р. Урал и прилегающее к нему северо-восточное мелководье; VIII — центральная часть Уральской бороздины; IX — северное побережье восточной части моря; X — восточный и южный районы восточной части моря.

Многолетние сезонные изменения солености (σ) в этих районах представлены в табл. 1, из которой видно, что наиболее устойчивыми по режиму солености в западной части моря являются центральный приглубый район и предустьевое пространство Волги; наиболее лабилен режим солености на свале глубин.

Н. Л. Чугунов (1923) отмечал, что фронтальная зона с максимальной продуктивностью проходила от о-ва Чечень через Большую Жемчужную банку до Ракушечной банки на севере и Кулалинской на востоке. В дальнейшем эту зону, весьма богатую бентосными организмами, выделял и Я. А. Бирштейн (Книпович, 1938). В современных условиях наиболее резкие колебания солености также отмечаются в этой фронтальной зоне. Однако в связи с падением уровня моря и выдвиганием морского края дельты Волги опресненные воды располагаются в современных условиях на 15—30 км южнее, т. е. ширина фронта уменьшилась.

В восточной части моря изменения солености на всей акватории более сглажены, чем в западной, за исключением предустьевого пространства р. Урал.

Таблица 1
Многолетние сезонные значения σ в разных районах Северного Каспия

Районы моря	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Среднее за апрель—октябрь
I	0,97	(1,04)	0,78	0,52	1,03	1,48	1,28	1,01
	<u>1,04</u>	—	<u>0,78</u>	<u>0,60</u>	<u>1,06</u>	<u>1,50</u>	<u>1,17</u>	<u>1,02</u>
II	2,68	(2,75)	2,88	2,39	2,17	2,34	2,59	2,54
	<u>2,96</u>	<u>(2,67)</u>	<u>2,31</u>	<u>2,22</u>	<u>1,87</u>	<u>2,05</u>	<u>2,40</u>	<u>2,35</u>
III	3,20	(2,51)	2,74	2,67	2,74	2,69	2,26	2,72
	<u>2,62</u>	<u>(2,55)</u>	<u>2,59</u>	<u>2,38</u>	<u>1,93</u>	<u>2,06</u>	<u>1,77</u>	<u>2,23</u>
IV	1,79	—	2,60	1,87	1,33	1,45	1,30	1,72
	<u>0,90</u>	—	<u>1,54</u>	<u>1,35</u>	<u>1,04</u>	<u>0,95</u>	<u>0,92</u>	<u>1,72</u>
V	0,45	(0,84)	1,15	1,20	1,49	0,98	0,74	0,98
	<u>0,63</u>	—	<u>0,69</u>	<u>0,73</u>	<u>0,83</u>	<u>0,68</u>	<u>0,63</u>	<u>0,70</u>
VI	2,78	(2,42)	2,37	2,41	2,24	2,39	1,82	2,35
	<u>2,78</u>	<u>(2,42)</u>	<u>2,42</u>	<u>2,44</u>	<u>2,28</u>	<u>2,40</u>	<u>2,14</u>	<u>2,41</u>
VII	2,01	(1,78)	1,74	1,61	2,16	2,55	2,37	2,03
	<u>2,09</u>	<u>(1,78)</u>	<u>1,78</u>	<u>1,55</u>	<u>2,17</u>	<u>2,56</u>	<u>2,35</u>	<u>2,04</u>
VIII	1,13	(1,13)	1,25	1,23	1,33	1,19	1,28	1,22
	<u>1,13</u>	<u>(1,01)</u>	<u>1,21</u>	<u>1,17</u>	<u>1,19</u>	<u>1,17</u>	<u>1,18</u>	<u>1,15</u>
IX	1,33	(1,23)	1,73	1,63	1,90	1,94	1,81	1,65
	<u>1,56</u>	<u>(1,65)</u>	<u>1,71</u>	<u>1,63</u>	<u>1,89</u>	<u>1,94</u>	<u>1,70</u>	<u>1,73</u>
X	1,42	(1,66)	1,58	1,60	1,68	1,86	1,85	1,66
	<u>1,46</u>	—	<u>1,47</u>	<u>1,55</u>	<u>1,66</u>	<u>1,79</u>	<u>1,80</u>	<u>1,62</u>

Примечание. В числителе величина σ для поверхностного слоя моря, в знаменателе — придонного.

Зная количество наблюдений и величину σ по каждому району, можно определить точность средней по известной формуле

$$m_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

При существующих рядах наблюдений (25—30 лет) точность определения средних многолетних величин солености составляет для свала глубин 0,5‰, для большей части акватории восточной части моря — 0,3‰, для наиболее устойчивых зон — 0,2‰. Для оценки репрезентативности наблюдений за режимом солености сопоставляли многолетние колебания солености с кратковременными. Для этой цели использовали многолетние данные солености, полученные на полуторасуточных станциях в квадратах 177, 220, 359, 399/400 в западной части моря и 128, 103, 72 в восточной. Пробы отбирали через каждые 3 ч. Обработали также данные по Астраханскому плавучему маяку (отбор проб 2 раза в сутки), причем для определения максимальной изменчивости выбрали контрастные ситуации. Полученные величины приведены в табл. 2.

Таблица 2
Кратковременная изменчивость солености Северного Каспия

Квадрат	$\bar{\sigma}$	$\sigma_{\text{макс}}$	$\sigma_{\text{мин}}$
399/400	0,61	2,15	0,09
422 (Астраханский плавучий маяк)	1,41	2,53	0,28
177	0,29	0,91	0,03
220	0,48	1,19	0,01
359	0,38	1,80	0,01
72	0,18	0,40	0,01
128	0,20	0,32	0,04
103	0,21	0,36	0,10

Таким образом, кратковременные изменения солености по всему морю в среднем в 4—8 раз меньше многолетних и только в самой динамичной по режиму солености зоне Северного Каспия (III район) это соотношение уменьшается до 2. Средние годовые σ (апрель—октябрь), вычисленные нами для маловодного 1967 г. и многоводного 1966 г. по Астраханскому плаваяку, почти одинаковы — 1,33 и 1,49‰. Наименьшие величины σ наблюдались в июле и октябре. По нашему мнению, уменьшение σ на свале глубин может быть связано или с уменьшением притока пресных вод или с ослаблением ветровой деятельности при одновременном увеличении притока пресных вод.

Воздействие ветровых полей на формирование солености. Почти все исследователи, изучавшие режим солености Северного Каспия, справедливо отмечали важную роль ветровых полей в формировании полей солености. Многие из них (Зайцев, 1946; Норина, 1955; Винецкая, 1959; Пахомова и Затучная, 1966; Тимофеев, 1968; Скриптунов, 1971) характеризовали ветры северо-западной и западной четвертей как опресняющие, ветры от южной к восточной четверти как осолоняющие. Однако в оценке необходимости учета повторяемости ветровых полей при подсчете средних величин солености мнения расходятся. Так, Н. И. Винецкая (1959) считает, что «отклонения от обычных закономерностей в внутригодовых колебаниях солености, как правило, вызываются ветрами»; Б. М. Затучная (Пахомова, Затучная, 1966) рекомендует для подсчета средних годовых величин солености ветер не учитывать, так как в течение года повторяемости ветров, вызывающих опрес-

нение или осолонение Северного Каспия, практически равны; Н. А. Скриптунов (1971) делает вывод о том, что летом при продолжительных сильных сгонных ветрах соленость воды в юго-западной части моря может вначале понизиться, а затем за счет компенсационного переноса вод и турбулентного перемешивания даже увеличиться, причем наибольшие изменения солености происходят под действием тех ветров (течений), направление которых совпадает с направлением горизонтальных градиентов.

Оценку влияния ветровых полей на формирование солености в западной и восточной частях моря (раздельно) мы проследили по следующей методике. Для каждого месяца по ст. Кулалы, расположенной на границе западной и восточной частей моря, подсчитывали преобладающее направление ветра по методике, предложенной А. А. Каминским и разработанной Е. С. Рубинштейн (1952). Квадрант наибольшей повторяемости ветра определяли по формулам:

$$\alpha = 1 + \frac{n_3 - n_1}{(n_3 - n_1) + (n_2 - n_4)};$$

$$H = n_2 + n_3 + \frac{(n_3 - n_1) + (n_2 - n_4)}{2} \left(\frac{3}{2} - \alpha \right)^2,$$

где α — середина квадранта с наибольшей повторяемостью;
 H — повторяемость ветра в найденном квадранте, %;
 n_1, n_2, n_3, n_4 — румбы ветра наибольшей повторяемости.

Затем для западной части моря по уравнениям регрессии между стоком Волги и соленостью для разных месяцев были определены величины солености, обусловленные изменениями водности. Так как фактическую (наблюдаемую) соленость в первом приближении можно считать функцией поступления волжских вод в море и режима ветровых полей, то ветрообусловленная часть солености будет равна $\pm \Delta s = s_{\text{факт}} - s_{\text{расч}}$. Несомненно, что в $\pm \Delta s$ входят не учитываемые нами другие составляющие солевого баланса (испарение, осадки и т. д.), а также методические ошибки получения коэффициентов корреляции, обусловленные использованием элементарной выборки вместо генеральной совокупности. Однако испарение имеет малую изменчивость по сравнению с флюктуациями речного стока (Зайцев, 1965), а роль других факторов невелика, так как они имеют сравнительно небольшую абсолютную величину.

Роль ветровых полей возрастает в меженный период и уменьшается в период прохождения волны половодья, о чем свидетельствуют приводимые ниже коэффициенты корреляции:

Июнь	— 0,63 ± 0,12 (n = 25)
Июль	— 0,72 ± 0,12 (n = 15)
Август	— 0,66 ± 0,11 (n = 26)
Октябрь	— 0,43 ± 0,18 (n = 20)

По программе, предложенной А. К. Митропольским (1961), на основании применения критерия Стьюдента коэффициенты корреляции, найденные по коротким рядам наблюдений, могут считаться незначительными при $P > 0,05$, значимыми при $0,05 > P > 0,01$ и очень значимыми при $P < 0,01$. Согласно номограмме все коэффициенты корреляции более 0,50, при числе членов ряда равном 25 оказываются очень значимыми. В нашем случае первые три коэффициента корреляции очень значимы, четвертый значим. Вероятности реальной связи $P_{0,99}$ для этих коэффициентов, вычисленные по формуле

$$P = \sqrt{n-1} |r_{xy}|$$

(где P — вероятность реальности связи в долях единицы), также подтвердили высокую вероятность связи, за исключением четвертого коэф-

коэффициента корреляции: $P_1=2,71$; $P_2=3,30$; $P_3=3,10$, что более $P_{0,99}$ в первом случае и превышает $P_{0,999}$ во втором и третьем. Это еще раз подтверждает наш вывод о том, что в межлетний период значимость ветровых полей в формировании режима значительно возрастает.

Коэффициенты детерминации свидетельствуют о том, что в июне — августе около 40—50% изменений солёности связано с колебаниями

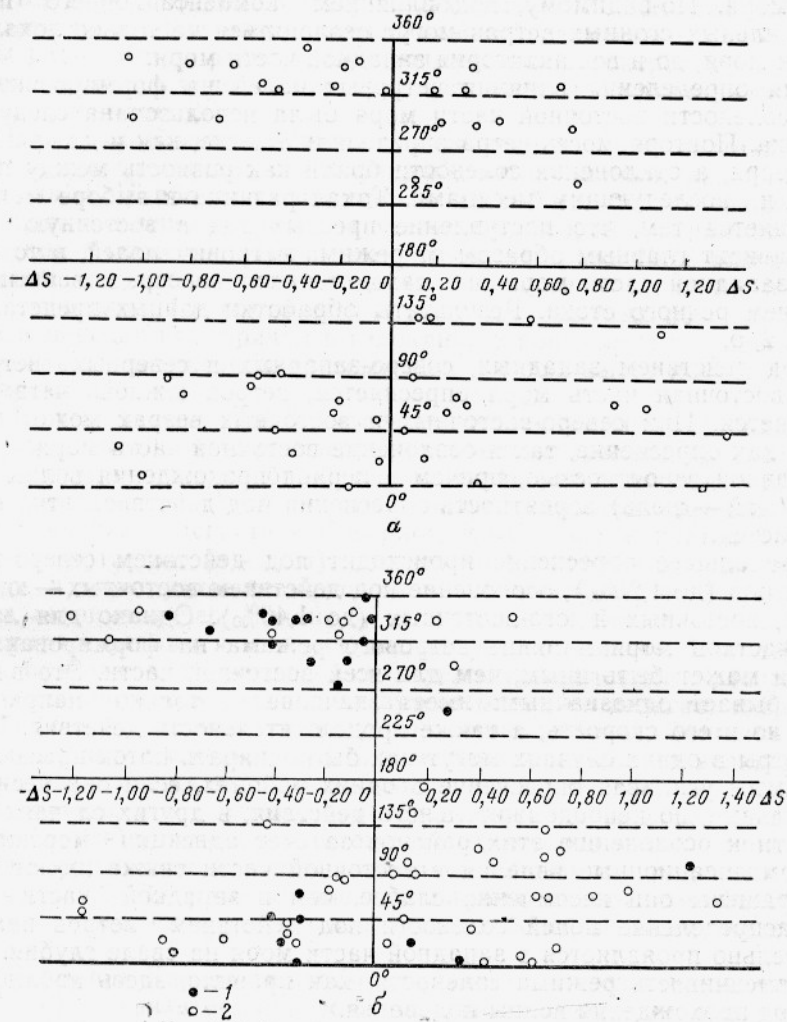


Рис. 2. Изменение солёности Северного Каспия под действием ветровых полей:

а — в западной части; б — в восточной части;
1 — период прохождения волны половодья (июнь — август); 2 — межень.

водности Волги, в то время как осенью только 18%, что безусловно объясняется уменьшением водности Волги и в связи с этим возрастанием роли ветровых полей.

В результате такой обработки материала влияние ветровых полей можно оценить следующим образом. С большой вероятностью можно считать, что осолонение западной части моря происходит под действием ветров южной четверти, опреснение обуславливается воздействием западных, северо-западных, северных, северо-восточных и восточных полей ветра (рис. 2, а).

Однако не всегда при сгонных ветрах наблюдается опреснение. Так, если при северных, северо-западных и северо-восточных полях ветра вероятность опреснения большая (около 70%), то в квадранте запад-северо-запад и восток-северо-восток вероятность опреснения уменьшается до 50%. Это можно объяснить компенсационным потоком вод, на что указывает Н. А. Скриптунов (1971) для юго-западной части моря. По-видимому, под влиянием компенсационного потока после сильных сгонных ветров могут осолоняться не только локальные участки моря, но и вся акватория западной части моря.

Для определения влияния ветровых полей на формирование режима солености восточной части моря была использована следующая методика. Повторяемость ветра определяли так же, как и для западной части моря, а отклонения солености брали как разность между предыдущим и последующим месяцами. Такая разница в выборе методики определяется тем, что поступление пресных вод в восточную часть моря зависит главным образом от режима ветровых полей, в то время как в западной части моря оно находится под непосредственным воздействием речного стока. Результаты обработки данных представлены на рис. 2, б.

Под действием западных, северо-западных и северных ветровых полей восточная часть моря опресняется, ветров южной четверти — осолоняется. При северо-восточных и восточных ветрах может происходить как опреснение, так и осолонение восточной части моря примерно с равной вероятностью, причем в период прохождения волны половодья (май — июль) вероятность опреснения под действием этих ветров повышается.

Наибольшее опреснение происходит под действием северо-западных ветров (до 1,20‰), осолонение под действием восточных — юго-восточных, восточных и юго-восточных (до 1,40‰). Однако для локальных участков моря влияние ветрового режима на формирование солености может быть иным, чем для всей восточной части. Это влияние редко бывает однозначным: имеет значение не только направление ветра, но и его скорость, а также продолжительность действия. Нагонные ветры в одних случаях могут как бы подпирать поток пресных вод, тем самым усиливая опреснение в одних районах, если они несильные или сильные, но непродолжительного действия, в других случаях могут привести к осолонению этих районов за счет адвекции морских вод.

Компенсационные явления в восточной части также имеют место, но выражены они несомненно слабее, чем в западной части моря. Перераспределение полей солености под действием ветров наиболее значительно проявляется в западной части моря на свале глубин. Большая изменчивость режима солености, как правило, здесь наблюдается в период прохождения волны половодья.

Вертикальная структура солености. Слой галоклина. Как известно, формирование резко выраженной вертикальной стратификации происходит в результате взаимодействия разнородных водных масс. Для Северного Каспия это в первую очередь взаимодействие пресных вод с морскими. Ведущую роль в создании стратифицированных зон в Северном Каспии имеет волжский сток. Увеличение притока волжской воды в море в период половодья ведет к расширению контактной зоны река — море и усилению вертикальной расслоенности вод, главным образом в западной части моря. При устойчивом расслоении вод и наличии илистых грунтов, как отмечала Н. И. Винецкая (1959), часто наблюдается дефицит кислорода. На существование подобных застойных зон указывали К. И. Иванов (1948), Я. А. Бирштейн и Н. Н. Спасский (1953), Н. А. Скриптунов (1958). В застойных зонах происходит массовая гибель бентосных организмов. Особенно ярко это проявляется после зимы, в зоне прохождения западной волжской струи,

а также восточнее о-ва Тюленьего вплоть до Кизлярского и Аграханского заливов.

Н. А. Скриптунов (1958) отмечал, что вертикальная стратификация на взморье образуется под влиянием притока пресных волжских вод и ветра, вызывающего волнение и дрейфовое течение. Н. Н. Винецкая, кроме того, отмечала влияние глубины. По нашему мнению, необходимо учитывать рельеф дна: в тех районах моря, где наблюдается желобообразное схождение изобат, вертикальные градиенты солёности выражены резче. Когда разнородные водные массы контрастны не только по солёности, но и по температуре, устойчивость вертикальной стратификации повышается.

В Северном Каспии наблюдается несколько типов вертикального распределения солёности: гомохалинный, катахалинный, анахалинный, мезохалинный. Наиболее распространен первый тип вертикального распределения, наименее — третий и четвертый, второй — занимает промежуточное положение. При формировании второго типа распределения может наблюдаться слой скачка солёности (галоклин) и даже двойной галоклин. Он образуется в устьевых участках при схождении речных и морских вод, причем в галоклине у поверхности раздела течение совпадает с движением пресных вод, а у дна имеет противоположное направление.

А. В. Серебряков (1967) отмечает, что существование галоклина возможно только при определенных скоростях течения пресных вод, при этом чем меньше глубина, тем неустойчивей галоклин, так как в этом случае он разрушается при меньших скоростях течения.

Слой скачка солёности в Северном Каспии формируется в основном на свале глубин (8—15 м), достаточно устойчив и хорошо прослеживается в зоне прохождения западной волжской струи. Глубина залегания галоклина непостоянна и изменяется в зависимости от величины притока речных и морских вод, ветрового режима. В более приглубых районах при прочих равных условиях галоклин расположен ниже. В районе Астраханского плавучего маяка он залегает в среднем на глубине 4—6 м (при глубине станции около 10 м). Толщина галоклина в период половодья 2—3 м, в межень 1 м. Иногда верхняя граница его поднимается до 2 м, нижняя опускается почти до дна — 9 м. Можно считать, что в период половодья галоклин залегает выше, чем в межень, хотя в общем расположение этого слоя очень динамично. В период прохождения волны половодья плотность придонных слоев воды (σ_t) в 1,5—2,5 раза больше, чем на поверхности, что объясняется не только растеканием речных вод, но и их более высоким теплосодержанием.

В Северном Каспии галоклин совпадает с термоклином, что свидетельствует о связи его образования с взаимодействием разнородных по химическим и физическим свойствам водных масс. Осенью (сентябрь — октябрь) происходит конвективное перемешивание, устанавливается гомотермия и в связи с этим появление и устойчивость галоклина понижаются.

В районе свала глубин, расположенного в центральной части, галоклин залегает ниже, толщина его меньше, чем в зоне прохождения западной волжской струи. Слой скачка солёности за свалом глубин наблюдается в период прохождения волны половодья (июнь — август) и залегает на глубине 10—16 м. Устойчивость его в этот период велика, за исключением маловодных лет, когда галоклин может разрушаться за несколько суток под действием сильных ветров (скоростью 10 м/с и более), причем галоклин увеличивается при ветрах западной и северной четвертей. В межень формирование слоя галоклина связано в первую очередь с западными, северо-западными сгонными ветрами силой 4—5 баллов, но может сформироваться и при устойчивых сильных вет-

рах юго-восточной четверти. Осенью нагонные ветры южной четверти приводят к кратковременному образованию галоклина, однако при ветрах более 7 м/с он разрушается и устанавливается гомохалинность и почти полная гомотермия. В этом случае течения в поверхностном и придонном горизонтах направлены на север, а на глубине 5 м на юго-восток. В это время года наибольшее опреснение в районе Астраханского плавучего маяка происходит под действием сильных западных и северо-западных ветров. Сильные сгонно-нагонные ветры (>12 м/с) могут вначале привести к формированию слоя скачка солености, а затем разрушить его. Здесь в период половодья при смене ветров западной и северной четвертей на южную наблюдается ярко выраженный слой галоклина, т. е. происходит как бы подпор (торможение) западной волжской струи.

Можно считать закономерным, что в зонах с резко выраженной устойчивой вертикальной стратификацией солености (III район) формирование галоклина приводит к дефициту кислорода в придонных слоях, поскольку устойчивость такой структуры большая, особенно зимой подо льдом.

Н. А. Скриптунов (1962) в западной части Северного Каспия по особенностям вертикального распределения солености выделяет три района: от морского края дельты до изобаты 2 м с однородным распределением солености; от изобаты 2 м до свала глубин со слабо выраженной стратификацией; свал глубин с существенными вертикальными градиентами солености.

А. С. Пахомова и Б. М. Затучная (1966) по материалам наблюдений 1960—1962 гг. отмечали существование стратификации вод на свале глубин в мае—июле, отсутствие в апреле и малое переслоение вод южнее свала глубин.

Наши многолетние наблюдения показывают, что значительное переслоение вод в Северном Каспии может происходить почти на всей акватории моря. Однако устойчивость и вероятность появления вертикальной стратификации неодинаковы в разных частях моря.

На мелководье (глубина меньше 3,5 м) большие вертикальные градиенты солености наблюдаются редко вследствие интенсивного перемешивания. Непосредственно у выходных участков банков переслоение вод возможно только при действии сильных (8—9 баллов) устойчивых нагонных ветров, причем в меженный период, особенно зимой. Весной и осенью вертикальные градиенты солености могут достигать 0,56—0,77‰, зимой (по наблюдениям АГМО) — 1,26‰. Однако устойчивость стратификации очень невелика, иногда продолжительность существования градиентов не превышает нескольких часов. В период прохождения волны половодья в этом районе наблюдается гомохалинность.

В зоне свала глубин (3,5—10 м) вероятность появления вертикальных градиентов солености возрастает, причем наибольшее переслоение вод наблюдается, в отличие от предыдущего района, в период прохождения волны половодья, а начиная с сентября оно резко уменьшается.

За свалом глубин вертикальная стратификация вод может формироваться как в межень, так и в период прохождения волны половодья, причем в период половодья градиенты возрастают и могут достигать около 1‰, а разность между соленостью в поверхностном и придонном слоях около 10‰, т. е. не менее чем на свале глубин. Таким образом, на свале и за свалом глубин вероятность появления стратификации и величина вертикальных градиентов в сильной степени зависят от режима половодья Волги.

Н. И. Винецкая (1959), Н. А. Скриптунов (1962) и др. отмечают, что наибольшие вертикальные градиенты солености наблюдаются в многоводные годы. В целом это справедливо, однако под действием ветровых полей стратификация может быть выражена не менее резко

даже в маловодные годы (например, 1950, 1959, 1961, 1964, 1965 гг.). Однако в отличие от многоводных лет устойчивость вертикальной стратификации в маловодные годы невелика и составляет в среднем около 3 суток. Сезонные максимальные вертикальные градиенты солености приведены в табл. 3. Как видно из данных табл. 3, максимальные градиенты солености по вертикали наблюдаются в период прохождения волны половодья на глубинах 3—5 м. Однако устойчивость их невелика.

Рассмотрим формирование и распределение устойчивой вертикальной стратификации солености в Северном Каспии. Сравнительно небольшие глубины на большей части водоема и интенсивное перемешивание вод ограничивают формирование зон с устойчивым переслоением вод по вертикали. Образование таких зон определяется глубиной места, а также постоянной адвекцией пресных вод в эти зоны, которые таким образом являются индикаторами струй пресных (опресненных) вод. Весной и летом устойчивость вертикальной стратификации повышается, так как температура пресных вод, поступающих из авандельты, выше чем морских. Осенью под действием конвективного перемешивания площадь зон с вертикальными градиентами солености сильно сокращается. В западной части моря почти постоянно эти градиенты формируются в зоне прохождения волжской струи (III район), а также в период прохождения волны половодья на свале глубин (IV район) и южнее свала (V район). При этом в центральной части свала глубин расслоение вод происходит в апреле—августе, в восточной части — только в июне, южнее свала глубин — в июне—сентябре.

Средняя величина градиентов составляет в среднем в июне 0,22, в августе 0,06, в октябре 0,09‰. После зарегулирования волжского стока произошло внутригодовое перераспределение величин градиентов в сторону увеличения их в межень и уменьшения в период прохождения волны половодья (май—август). При этом если в июне уменьшение составило 15—20%, то в августе 60—70%, т. е. более чем в 3 раза, а в октябре, наоборот, произошло увеличение на 20—30%. Сильное уменьшение вертикальных градиентов солености в июле—августе несомненно должно способствовать улучшению газового режима в зонах с дефицитом кислорода, а зимой вертикальное расслоение вод увеличи-

Таблица 3
Вертикальные градиенты солености в Северном Каспии

Месяцы	Квадраты	Глубина, м	$\Delta S = S_{\text{дно}} - S_{\text{пов}}$ ‰	$\frac{\Delta S}{H}$	Год
Западная часть моря					
Апрель	339	4,6	11,92	2,59	1953
Июнь	429/423 328/216	10,0 6,0 3,8	9,23 9,23 11,80	0,92 1,54 3,10	1966 1947 1948
Июль	423/441	14,8	9,85	0,67	1955
Август	181	3,1	9,75	3,14	1953
Сентябрь	324/325	5,5	5,79	1,05	1950
Октябрь	460	10,0	8,43	0,84	1957
Июль	372	6,0	6,43	1,07	1963
Восточная часть моря					
Апрель	69	5,8	6,20	1,07	1964
Июнь	152	4,2	5,61	1,34	1958
Июль	152	4,0	1,71	0,43	1958
Июль	74	3,5	1,45	0,41	1957
Август	42/43	3,5	1,33	0,38	1958
Сентябрь	92	4,2	2,79	0,66	1958
Октябрь	91	4,2	3,91	0,81	1956
Октябрь	45	4,0	1,93	0,48	1957

вается, особенно в зоне прохождения западной волжской струи, поэтому ухудшение кислородного режима должно усиливаться.

В восточной части моря вертикальное распределение солености характеризуется, как правило, гомохалинностью. Однородность вод по вертикали определяется тем, что вода в эту часть моря поступает большей частью в трансформированном виде, причем опресненные струи распространяются по мелководью, огибая Уральскую бороздину. Вертикальная стратификация солености формируется на акваториях, прилегающих к предустьевым пространствам Волги и Урала. По сравнению с западной частью моря вертикальные градиенты солености более сглажены, наименьшие их величины наблюдаются на Уральской бороздине. Зимой, вблизи устья р. Урал, вертикальные градиенты солености составляют 0,30—0,50‰, однако могут возрастать до 1,52‰ или убывать почти до минимума (0,04‰). Сезонные максимальные многолетние величины вертикальных градиентов солености в этой части моря приведены в табл. 3. Устойчивое расслоение вод в восточной части моря по материалам многолетних наблюдений формируется только в период прохождения волны половодья и только в отдельных квадратах.

Выводы

1. По режиму изменчивости солености Северный Каспий является неоднородным водоемом (нами выделено 10 районов). Режим солености в западной части моря наиболее лабилен на свале глубин, в восточной — в предустьевом пространстве р. Урал. Самый устойчивый режим солености наблюдается в центральной приглубой зоне, предустьевом пространстве р. Волги и на Уральской бороздине.

2. При существующих рядах наблюдений точность определения средних многолетних величин составляет для свала глубин 0,5‰, для большей части акватории восточной части моря — 0,3‰, для наиболее устойчивых зон — 0,2‰.

3. Кратковременные изменения солености по всему морю в среднем в 4—8 раз меньше многолетних и только в самой динамичной зоне (III район) это соотношение уменьшается до 2.

4. Воздействие ветровых полей на формирование солености Северного Каспия, как правило, не бывает однозначным. Ветры южной четверти способствуют осолонению Северного Каспия. При северных, северо-западных и северо-восточных ветрах вероятность опреснения западной части моря составляет около 70%, в квадрате запад — северо-запад и восток — северо-восток уменьшается до 50%.

В восточной части моря опреснение происходит под действием ветров западной и северной четвертей, осолонение — южной. При северо-восточных и восточных ветрах вероятность опреснения и осолонения примерно одинаковая, причем в период прохождения волны половодья (май — июль) вероятность опреснения под действием этих ветров повышается.

5. Слой скачка солености формируется в основном на свале глубин (8—15 м) в западной части моря. Толщина галоклина в период половодья увеличивается, в межень — уменьшается. Галоклин образуется при взаимодействии речных и морских вод, причем ветровые поля могут его или усиливать, или разрушать.

6. Вертикальная стратификация солености может наблюдаться почти на всей акватории Северного Каспия. Устойчива она в зоне прохождения западной волжской струи, на свале глубин и южнее свала. Средняя величина вертикальных градиентов солености составляет в среднем 0,22 (июнь), 0,06 (август), 0,09‰ (октябрь).

7. После зарегулирования волжского стока произошло внутригодовое перераспределение величин вертикальных градиентов солености, уменьшение их в период половодья и увеличение в межень.

8. Происшедшие изменения в вертикальной структуре вод должны способствовать улучшению газового режима в летний период и ухудшению в зимний.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Бирштейн Я. А., Спасский Н. Н. Донная фауна Каспийского моря до и после вселения *Nereis succinea*. — В кн.: Сборник работ об акклиматизации *Nereis succinea* в Каспийском море. Новая серия. Отдел зоологический. М., 1952, вып. 33, с. 36—114.

Винецкая Н. И. Соленость вод Северного Каспия — «Труды ВНИРО», 1959, т. 38, с. 26—51.

Езекиэл М., Фокс К. А. Методы анализа корреляций и регрессий. М., «Статистика», 1966.

Зайцев Г. Н. Колебания солености Северного Каспия в 1935—1943 гг. и причины их возникновения. — «Метеорология и гидрология», 1946, № 4, с. 71—77.

Зайцев Г. Н. Некоторые закономерности многолетних изменений уровня и солености северной части Каспийского моря. — «Океанология», 1965, вып. 2, с. 276—286.

Иванов К. И. Основные черты гидрохимического режима предустьевого пространства Волги и северной части Каспийского моря. — «Труды ГОИН», 1948, вып. 4 (16), с. 70—129.

Катунин Д. Н. Многолетнее распределение солености в северной части Каспийского моря. — «Труды КаспНИРХ», 1971, т. 26, с. 54—66.

Книпович Н. М. Гидрология морей и солоноватых вод. М. — Л., Пищепромиздат, 1938. 510 с.

Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. М., Физматгиз, 1961. 479 с.

Норина А. М. О солености вод северной части Каспийского моря за период с 1935 по 1951 г. — «Труды ГОИН», 1955, вып. 21, с. 29—39.

Пахомова А. С., Затучная Б. М. Гидрохимия Каспийского моря. Л., Гидрометеиздат, 1966. 343 с.

Рубинштейн Е. С., Алисов Б. П., Дроздов О. А. Курс климатологии. Л., Гидрометеиздат, 1952.

Серебряков А. В. Основные закономерности приливо-отливных явлений в устьях рек. — «Труды ГОИН», 1967, вып. 89, с. 16—38.

Скриптунов Н. А. Гидрология предустьевого взморья Волги. Л., Гидрометеиздат, 1958. 143 с.

Скриптунов Н. А. Изменения солености в юго-западной части Северного Каспия. — «Труды ГОИН», 1962, вып. 66, с. 80—95.

Скриптунов Н. А. Изменение солености воды в юго-западной части взморья Волги после зарегулирования стока реки. — «Труды ГОИН», 1971, вып. 104, с. 96—108.

Тимофеев Н. Л. Об основных факторах, определяющих изменение солености восточной части Северного Каспия и возможность ее прогнозирования. Сб. научно-техн. информации ВНИРО, вып. 11, М., 1968.

Федосов М. В., Барсукова Л. А. Газовый режим водных масс Северного Каспия. — «Труды ВНИРО», 1959, т. 38, с. 78—87.

Чугунов Н. Л. Опыт количественного использования продуктивности донной фауны в Северном Каспии и типичных водоемах дельты Волги. — «Труды Астраханской ихтиологической лаборатории», 1923, т. 5, вып. 1.

Some peculiarities of the salinity regime in the North Caspian Sea

D. N. Katunin

SUMMARY

The values of long-term seasonal and short-term variability of salinity in the North Caspian Sea as mean quadratic deviations have been estimated. The North Caspian Sea area is differentiated into 10 regions. It has been shown that the mean long-term annual fluctuations in salinity on the most part of the area are 4—8 times as much as short-term alterations. The mean long-term values of salinity are estimated accurately within 0.2—0.5‰.

The influence of wind fields on the saline regime in the North Caspian Sea is discussed. The analysis of the vertical structure of salinity of the North Caspian Sea, formation of the halocline are shown. Mean values of the vertical salinity gradients are estimated. It is found that after the regulation of the Volga flow the vertical salinity gradients become lower in the period when high water waves reach the sea and rise at the time of low water, which contributes to the gas regime in summer and affects it adversely in winter.