

Сезонные распреснения и осолонения вод Каркинитского залива

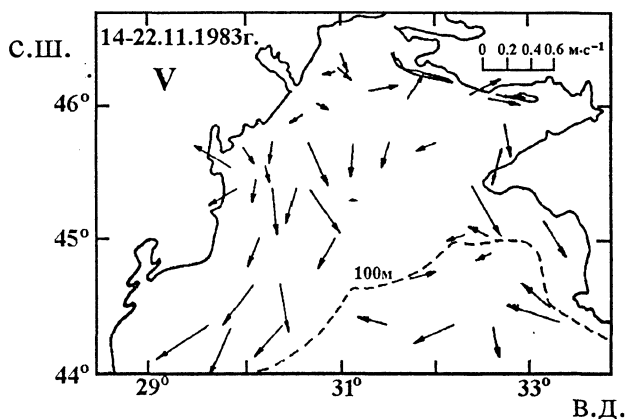
На основе экспериментальных гидрологических материалов банка данных МГИ НАН Украины и метеорологической информации МО УкрНИГМИ исследуются характеристики сезонной изменчивости процессов обновления, распреснения и осолонения вод Каркинитского залива. Анализируются и оцениваются повторяемость поступлений соленых и распресненных морских вод и изменчивость занимаемых ими площадей на акватории залива в зависимости от сезона и ветровых условий.

Для весенне-летнего периода получены оценки времени обновления вод верхнего слоя основной части залива (11 – 14 сут). Для летне-осеннего периода выявлен временной интервал возможного отсутствия существенного водообмена между основной и восточной мелководной частями залива (около 2 мес).

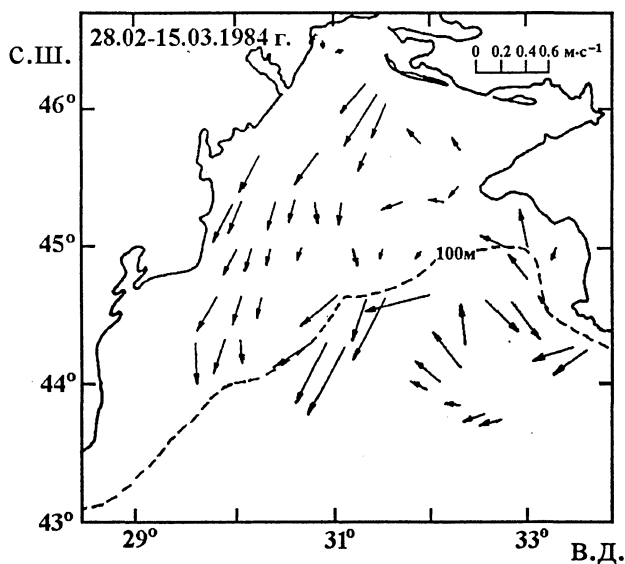
Введение. До 2001 г. изученность Каркинитского залива определялась преимущественно информацией о структуре и динамике вод всей северо-западной части Черного моря (СЗЧМ). Некоторым особенностям термохалинной структуры, динамики и изменчивости вод собственно Каркинитского залива и его районов посвящено небольшое число работ [1 – 4], датированных 1968 – 1988 гг., не позволяющих в достаточной мере составить достоверное представление о процессах, происходящих в заливе. Работы по изучению Каркинитского залива, выполненные в последнее время [5] (2001 – 2005 гг.) в отделе контактных методов исследований МГИ НАН Украины, позволили увеличить объем знаний об этом важном районе СЗЧМ. Народно-хозяйственное значение этого района особенно возросло в последние годы, когда наряду с интенсификацией использования его биоресурсов проводятся работы по поиску и добыче нефти и газа, а на побережье в крайней восточной части располагается свободная экономическая зона «Сиваш». В связи с этим возрастает антропогенная нагрузка на залив, в особенности в восточной мелководной части Каркинитского залива (ВМЧКЗ), куда сбрасываются в больших объемах неочищенные промышленные и сельскохозяйственные воды. В сложившихся условиях возрастающего антропогенного влияния особую важность приобретают знания о способности залива к самоочищению и, в частности, о его водообмене с прилегающими районами моря.

Каркинитский залив занимает значительную площадь на востоке акватории СЗЧМ. Протяженность его с севера на юг, от Тендровской косы до м. Тарханкут, составляет 130 км, а с запада на восток – 140 км, глубина достигает 45 м (рис. 1 – 3). Северные берега Каркинитского залива проходят по Тендровской косе, о. Джарылгач и далее доходят до вершины залива, назы-

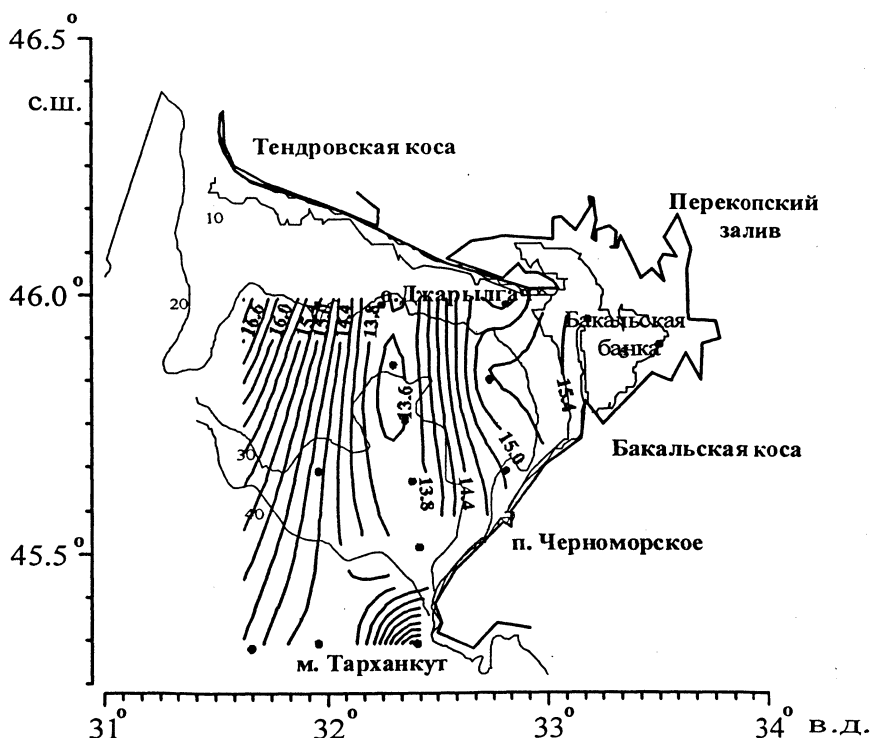
ваемой Перекопским заливом; южные берега занимают северо-западное побережье Крыма восточнее м. Тарханкут. Исходя из геоморфологической структуры, Каркинитский залив можно разделить на две части условной линией, проходящей по о. Джарылгач, мелководной Бакальской банке (глубина до 3 м) и Бакальской косе; западнее этой линии располагается основная часть залива, а восточнее – восточная мелководная (рис. 3). Восточная мелководная часть имеет размеры с севера на юг – 44 км, с запада на восток – 83 км, глубина ее достигает 9 м.



Р и с. 1. Схема поверхностных течений СЗЧМ в ноябре 1983 г. по данным работы [9]



Р и с. 2. Схема поверхностных течений СЗЧМ в марте 1984 г. по данным работы [9]



Р и с. 3. Горизонтальное распределение солености (‰) морской воды в слое 0 – 5 м при масштабном распреснении акватории вод Каркинитского залива по данным летней гидрологической съемки 15 – 20.07.1983 г. (жирные линии – изохалины, ‰; тонкие – изобаты, м)

Предлагаемая работа посвящена исследованию сезонных особенностей поступлений из прилегающих районов моря распресненных и соленых вод в Каркинитский залив.

Использованные материалы и методика исследований. Исследования выполнялись на основе материалов экспериментальных гидрологических измерений, собранных в банке данных МГИ по Каркинитскому заливу за 1923 – 1995 гг., и метеорологических данных МО УкрНИГМИ, полученных с морских гидрометеостанций «Черноморское» (1900 – 1995 гг.), «Хорлы», «Скадовск» (1939 – 1987 гг.). Использовались также опубликованные статистические данные о ветровом режиме данного региона [6]. В анализе учитывались сведения 1890 гидрологических станций за 56 лет. Информативными считались гидрологические съемки, которые покрывали достаточно большие площади залива с линейными масштабами не менее 50 км (иногда с прилегающими районами СЗЧМ), а число станций в них составляло не менее 6 – 10, в зависимости от сезона года и пространственного расположения станций. Количество выполненных гидрологических съемок на акватории залива по сезонам распределено неравномерно.

Для зимнего сезона имеется 34 съемки, из них 10 – с числом станций от 6 до 16.

Для весеннего сезона имеется 55 съемок, из них 48 – с числом станций в съемке от 6 до 55. Наблюдения выполнялись преимущественно в мае – июле, однако в некоторые годы съемки проводились в марте и апреле.

Для летнего сезона есть 50 съемок, из них 37 – с числом станций в съемке от 6 до 125. Наиболее подробной является съемка 1939 г. из 125 станций, охватившая наблюдениями в четыре этапа весь залив на протяжении месяца с 5.07 по 4.08.1939 г.

В осенний сезон выполнено 57 съемок, из них 26 – с числом станций в съемке от 6 до 32. Наблюдения, пригодные для анализа пространственной изменчивости, выполнялись в сентябре – ноябре.

Число съемок, охватывающих всю или большую часть основной акватории Каркинитского залива (без его восточной мелководной части), составляло: для зимы – 5 наблюдений, для весны – 19, для лета – 18 и для осени – 15.

Гидрологические измерения выполнялись с дискретностью 5 – 20 км (70% измерений) в центральной части залива и 0,5 – 5 км (30% измерений) – в мелководных районах. Гидрологическая съемка на одной станции с переходом к следующей точке занимала от 1 до 2 – 4 ч в зависимости от числа измерений на горизонтах и горизонтальных масштабов съемки. Время проведения съемок составляло от нескольких часов до 15 сут. До 1968 г. температура воды измерялась глубинными термометрами, а соленость – с помощью батометрического отбора проб воды. Наряду с такими измерениями, после 1968 г. съемки выполнялись измерителями ИСТОК-3. Обычно измерения проводились на стандартных горизонтах, однако в зависимости от специфики работ дискретность измерений по глубине могла уменьшаться до 1 м, особенно при использовании приборов ИСТОК-3.

Сезонная изменчивость поступлений в Каркинитский залив вод прилегающих областей моря. Известно, что изменчивость солености вод в СЗЧМ обусловлена сезонными и межгодовыми колебаниями динамики вод и величин материкового стока, осадков, испарения [1, 3, 6, 7]. Условия поступления в Каркинитский залив распресненных вод северо-западного шельфа и соленых вод открытой части моря в существенной мере определяет динамика вод зоны залива, сопряженной с прилегающей областью открытой части моря. Динамика вод, в свою очередь, зависит от изменчивости поля ветра, положения и размеров антициклонических круговоротов в северо-западной части моря, влияющих на гидрологический режим днепровских и дунайских вод [1, 4, 5, 7, 8]. Известно, что чем крупнее, интенсивнее антициклонические круговороты и чем дальше они расположены от западного берега СЗЧМ, тем дальше на восток распространяется влияние распресненных материковых вод. В большинстве случаев они почти полностью охватывали акваторию СЗЧМ и лишь в редкие годы (май 1954 г., май – июнь 1956 и 1957 гг.) не достигали Каркинитского залива [4].

Характеризовать водообмен Каркинитского залива можно, исследуя пути, объемы и временные характеристики поступлений в залив распресненных и соленых морских вод.

Полагалось, что морские воды являются существенно распресненными, если их соленость S меньше 17 ‰, слабо распресненными при $17 < S < 18$ ‰ и солеными (нераспресненными) при $S > 18$ ‰. Масштабными или полными

распреснениями морских вод залива называем такие, что охватывают не менее $2/3$ площади основной части залива, локальными или частичными – более $1/3$ площади, в виде пятен – области, имеющие размеры от одного до 40 км. Рассматривались распреснения морских вод залива для двух случаев: при солености вод менее 17 ‰; при солености вод менее 18 ‰.

Распресненные воды поступают с северо-запада или запада. При поступлении с северо-запада воды перемещаются вдоль северных берегов на восток и достигают северо-западного побережья Крыма, где меняют свое направление на юго-западное. Достигая окрестностей м. Тарханкут, эти воды, в зависимости от гидрометеорологических условий, могут полностью или частично захватываться Основным Черноморским течением (ОЧТ) и уноситься на запад или, если в это время существует в заливе антициклоническая циркуляция, могут возвращаться снова в залив. Проникновение распресненных морских вод южнее м. Тарханкут происходит в определенные сезоны и месяцы. Примеры отмеченных перемещений вод можно видеть на рис. 1, 2, где по данным [9] представлены схемы поверхностных течений осенью и зимой.

Осенью после ветров со скоростями 8 – 12 м/с северо-западного (СЗ) и западного (З) направлений (здесь и далее географические направления ветра обозначены их первыми буквами) в Каркинитском заливе по данным электромагнитного измерителя скорости течений (рис. 1) поверхностное течение имело выраженное антициклоническое направление. Поэтому с северо-западного направления вдоль Тендровской косы воды распространились до южного побережья залива. Этому мог способствовать антициклонический вихрь в заливе, часто наблюдаемый там при ветрах различных направлений, и в особенности при северо-западных [4]. В это же время (рис. 1) наблюдалось поступление вод южнее м. Тарханкут в Каламитский залив. Зимой 1984 г. при характерных для этого времени года метеоусловиях (умеренные северо-восточные и восточные ветры) такого проникновения вод южнее м. Тарханкут не отмечалось (рис. 2). В это время в Каркинитском заливе скорее всего существует антициклоническая циркуляция [4, 5, 9], что косвенно подтверждается направлением векторов течений, полученных вблизи его западной границы. Из рис. 1, 2 [9] следует, что зимой в Каркинитском заливе наблюдается небольшое уменьшение значений скорости течений по сравнению с осенью.

По многолетним данным исследовалась сезонная и внутрисезонная изменчивость поступлений распресненных и соленых морских вод в Каркинитский залив. Для более детального исследования условий и особенностей поступления, распространения и перемешивания распресненных и соленых морских вод в акватории Каркинитского залива выполнялся дифференцированный анализ по материалам гидрологических съемок залива, содержащим данные об особенностях гидрологических процессов во все сезоны. В большинстве съемок учитывались также ветровые условия.

Путем построения соответствующих карт и анализа случаев проникновения распресненных морских вод в акваторию залива, а также сопоставления их с направлением преобладающего ветра получен ряд результатов. Анализ экспериментальных материалов показал, что распреснения морских вод различных масштабов наиболее часто наблюдаются при ветрах разной интен-

сивности западных направлений от ССЗ до ЮЮЗ. Однако имеются случаи распреснения морских вод при слабых ветрах С, СВ и ВСВ направлений. Обобщенные по многолетним данным сведения о сезонных поступлениях распресненных и соленых морских вод в Каркинитский залив представлены в табл. 1. Следует отметить, что здесь приводятся данные о повторяемости регистрации распресненных, соленых вод и вод промежуточной солености. Во время одной съемки в акватории могли присутствовать и регистрироваться все названные воды. Поэтому в N съемках суммарное число регистраций указанных вод может быть больше N , тогда и суммарная повторяемость регистрации всех вод будет больше 100 %.

Т а б л и ц а 1

Сезонные поступления распресненных и соленых морских вод
в верхний слой (0 – 5 м) Каркинитского залива

Морские воды	S , ‰	Повторяемость поступлений, %			
		весна	лето	осень	зима
распресненные	<17	47	82	31,6	14,7
распресненные	<18	72,7	96	87,7	50
высокосолёные	>18	78	38	56	88
промежуточной солености	$17 < S < 18$	25,5	16	54	38,2
промежуточной солености и высокосолёные	$17 < S < 18$ >18	18,2	12	42,1	23,5
только высокосолёные	>18	23,6	4	8,8	47

Весной начинает возрастать поступление распресненных морских вод в залив. Так, распреснение морских вод с $S < 18$ ‰ наблюдалось в 40 съемках (или в 72 % случаев) из 55, а с $S < 17$ ‰ – в 26 (или в 47 % случаев) (табл.1). При этом в 25 съемках наблюдались распреснения морских вод при ветрах З направлений и только в 4 съемках – при слабых восточных ветрах (СВ, ВСВ), в 11 – сведения о ветре отсутствовали. При анализе ветровых ситуаций в периоды проникновения распресненных вод в залив в весенний сезон отмечено, что направление перемещения этих вод не всегда совпадало с преобладающим направлением ветра.

Распределения в заливе распресненных морских вод верхнего слоя 0 – 5 м в различные сезоны по занимаемым ими площадям представлены в табл. 2 при солености вод меньше 17 ‰ и меньше 18 ‰. Из таблицы следует, что весной для вод как с $S < 17$ ‰, так и с $S < 18$ ‰ чаще всего обнаруживаются пятна распресненной морской воды (в 27,3 и 51 % случаев соответственно). Они имеют размеры от нескольких километров до 40 км. Причем особенно интенсивно в виде пятен проявляют себя воды с $S < 18$ ‰, составляющие 51 % случаев регистрации. И, как следует из табл.1,2, в это время повторяемость в виде пятен регистрируется примерно одинаково как для существенно распресненных морских вод с $S < 17$ ‰ (27,3 %, табл. 2), так и для вод промежуточной солености с $17 ‰ < S < 18 ‰$ (25,5 %, табл. 1).

**Сезонные распределения распресненных морских вод
верхнего слоя (0 – 5 м) по занимаемым ими площадям
на акватории Каркинитского залива**

Распреснение морских вод	S, ‰	Количество распреснений (и ‰)			
		весна	лето	осень	зима
масштабное	<17	7 (12,7)	9 (18)	4 (7)	1 (3)
(полное)	<18	8 (14,5)	11 (22)	6(10,5)	5 (14,7)
локальное	<17	4 (7,3)	8 (16)	7(12,3)	2 (5,9)
(частичное)	<18	4 (7,3)	10 (20)	17(29,8)	5 (14,7)
в виде пятен	<17	15(27,3)	24 (48)	7(12,3)	2 (5,9)
	<18	28(51)	28 (56)	27(47,4)	7 (20,6)

Весной наблюдается значительное число (20 %) локальных и масштабных распреснений акватории залива. Локальные распреснения и пятна распресненных вод обычно наблюдались в северо-западной части залива, у западного входа или у северных берегов залива. Из 7 масштабных распреснений залива 3 случая приходится на июль, 2 – на июнь и по одному – на апрель и май. Локальные распреснения происходили в июне – июле. Пятна распреснения наблюдались с апреля по июль, но больше случаев отмечено в мае.

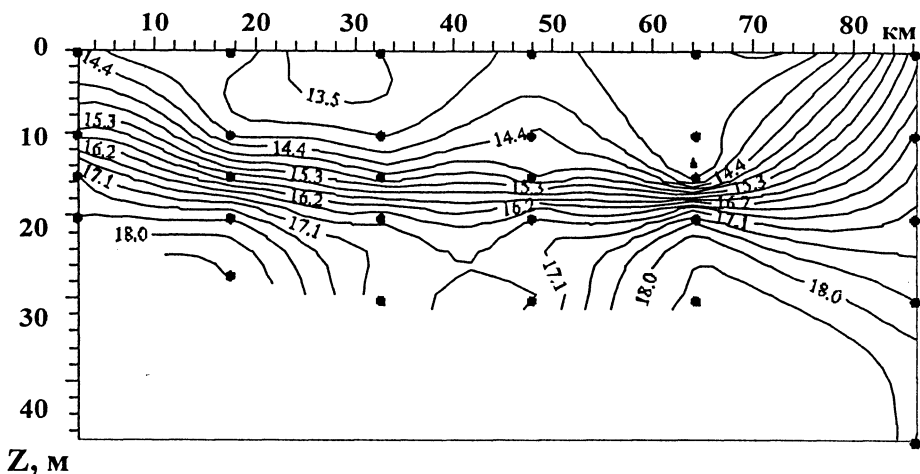
Очень интенсивно весной поступают в залив и воды высокой солености с $S > 18$ ‰, повторяемость регистрации которых составляет 78 %, что намного превышает повторяемость поступлений существенно распресненных вод с $S < 17$ ‰ (47 %, табл. 1). Несмотря на это, присутствие в заливе только высокосолёных вод (23,6 %) наблюдается в два раза реже, чем существенно распресненных (47 %), и в три раза реже, чем с $S < 18$ ‰ (72,7 %). По-видимому, это связано с их взаимным перемешиванием и образованием вод промежуточной солености, составляющих 25,5 %. Это свидетельствует также о том, что в весенний период происходят очень интенсивные процессы перемешивания вод, значительно отличающихся по солености (при этом существенен также фактор различия их температур).

По сравнению с весенним периодом в летний сезон поступление распресненных вод в залив продолжает увеличиваться, а солёных – уменьшаться. Количество случаев регистрации распресненных вод достигает максимальной величины, составляя при $S < 17$ ‰ 82 % случаев, а при $S < 18$ ‰ – 96 % (табл. 1). Повторяемость регистраций поступлений вод высокой солености уменьшается по сравнению с весной вдвое: с 78 до 38 %. Возрастает с 20 до 34 % при $S < 17$ ‰ и с 21,8 до 42 % при $S < 18$ ‰ количество масштабных и локальных распреснений морских вод, занимающих значительные площади акватории залива. А количество распреснений вод в виде пятен составляет 48 % для $S < 17$ ‰ и 56 % для $S < 18$ ‰. Поэтому можно считать, что в летний период распреснение вод Каркинитского залива явление более частое, чем отсутствие такового.

О масштабах существенных распреснений вод летом можно судить по данным табл. 2. В этой таблице на основе 37 информативных съемок выделено 17 случаев (34 %) масштабных и локальных распреснений вод верхнего слоя залива, при этом масштабное распреснение вод (более 2/3 площади залива) отмечалось в 9 случаях (18 %), а в 8 случаях (16 %) – локальное, чаще всего в северо-западной части залива или у его северных берегов. Масштабные и локальные распреснения вод залива с $S < 18 ‰$ наблюдались не только при ветрах 3 направлений (в 13 съемках из 37), но и при ветрах С, СВ направлений (в 8 съемках из 37). В остальных 16 съемках данные по ветру отсутствуют. Анализ характеристик ветра по данным морских гидрометеостанций Каркинитского залива показал, что направление перемещения распресненных вод в сторону залива (и далее в восточную его часть) и направление преобладающего ветра совпадали в 42% случаев и не совпадали в 58% случаях. При масштабных распреснениях вод залива несовпадение направления ветра с направлением перемещения вод наблюдалось в 57% случаев.

Для летнего периода были проанализированы основные особенности распространения вод, поступающих в Каркинитский залив с юга и юго-запада, и их влияние на формирование термохалинной структуры и вентиляции вод залива. В ряде съемок, где зарегистрировано значительное распреснение вод залива, наблюдалось и локальное поступление вод повышенной солености в придонный слой в юго-западной части залива, что резко усиливало стратификацию вод и фронтогенез в его западном и юго-западном районах (19 съемок из 37). Такая характерная для летнего сезона структура солености в заливе регистрировалась в период съемки 15 – 20.07.1983 г. и иллюстрируется рис. 3, 4. На рис. 3 приводится горизонтальное распределение солености на акватории залива, а на рис. 4 – вертикальное на разрезе (по меридиану $32^{\circ}25' \text{ в.д.}$) от северных берегов залива до окрестностей м. Тарханкут. На этих рисунках и следующих далее точками обозначено расположение гидрологических станций. Съемка 15 – 20.07.1983 г. выявила масштабное распреснение всей акватории Каркинитского залива как по горизонтали, так и по вертикали. В первой половине этой съемки наблюдалось уменьшение солености в центральной (до 13,6 ‰) и восточной мелководной (до 15,7 ‰) частях залива по всей их глубине. Во второй ее половине соленость поступающих с запада морских вод возросла до 16,6 ‰. В период этой съемки ветер имел преобладающее ЮЗ направление и среднюю скорость 1,75 м/с. На рис. 4 можно видеть локальное поступление с юга вод повышенной солености в придонный слой. Распресненные воды с $S < 17 ‰$ проникли на глубину до 20 м, а с $S < 18 ‰$ – до 24 м. В формировании вертикальной структуры температуры и солености вод летом можно отметить существенную роль течения, которое иногда считают ответвлением ОЧТ. Этот поток распространяется преимущественно в слое от глубин 15 – 20 м до дна, иногда поднимаясь до 10 м (1987 г.), и характеризуется придонной соленостью 18,0 – 18,6 ‰, которая в отдельные годы может возрастать (до 19,4 ‰, 1964 г.) или уменьшаться (до 17,2 ‰, 1964 г.). На глубинах 15 – 20 м соленость обычно составляет 17 – 18 ‰, иногда повышаясь (до 18,4 ‰ в 1964, 1972 гг.) или уменьшаясь (до 16 ‰ в 1983 г.). Температура этих вод у дна равна 8 – 9°C, на глуби-

нах 15 – 20 м — 13 – 18°C, повышаясь в отдельные годы до 18 – 20°C (1972 г.) или понижаясь до 12,5 – 15,5°C (1987 г.).



Р и с. 4. Вертикальное распределение солёности (‰) морской воды на разрезе (по меридиану 32°25' в.д.) от северных берегов залива до окрестностей м. Тарханкут по данным летней гидрологической съёмки 15 – 20.07.1983 г.

В летний сезон в связи с уменьшением поступлений вод высокой солёности сокращается повторяемость регистраций вод промежуточной солёности с 25,5 % весной до 16 % летом. Летом регистрируется минимальное число случаев (всего 4 %, 2 случая), когда в заливе присутствуют только солёные воды, и 12 % случаев одновременного присутствия вод высокосолёных и промежуточной солёности.

В осенний гидрологический сезон распределение вод наблюдается реже, чем в летний. Выявлено постепенное уменьшение масштабов распределений вод на акватории залива и повышение интенсивности поступлений в залив вод повышенной солёности, особенно к окончанию осеннего сезона. Так, осенью распределение вод с $S < 17$ ‰ наблюдалось в 18 съёмках из 57 (31,6%), а с $S < 18$ ‰ – в 50 (87,7%).

Из 57 съёмок существенные распределения вод до 15,4 – 15,9 ‰, охватывавшие более половины площади залива, отмечались четыре раза (в 7,3 % случаев) – в 1934, 1970, 1983, 1987 гг., на 7 съёмках регистрировались локальные распределения вод залива и на 7 съёмках (12,3 %) наблюдались небольшие пятна распределения вод (до 16,1 – 16,8 ‰) на северо-западе у входа в залив. В одном из случаев распределение вод охватывало основную часть залива практически полностью – до Бакальской косы, а в трех других – более половины его площади. При этом распределение вод залива наблюдалось не только при ветрах З, СЗ, ЮЗ, ЮЮЗ, Ю направлений, но и при ветрах слабых и умеренных С, СВ, ВСВ, В, ЮВ направлений.

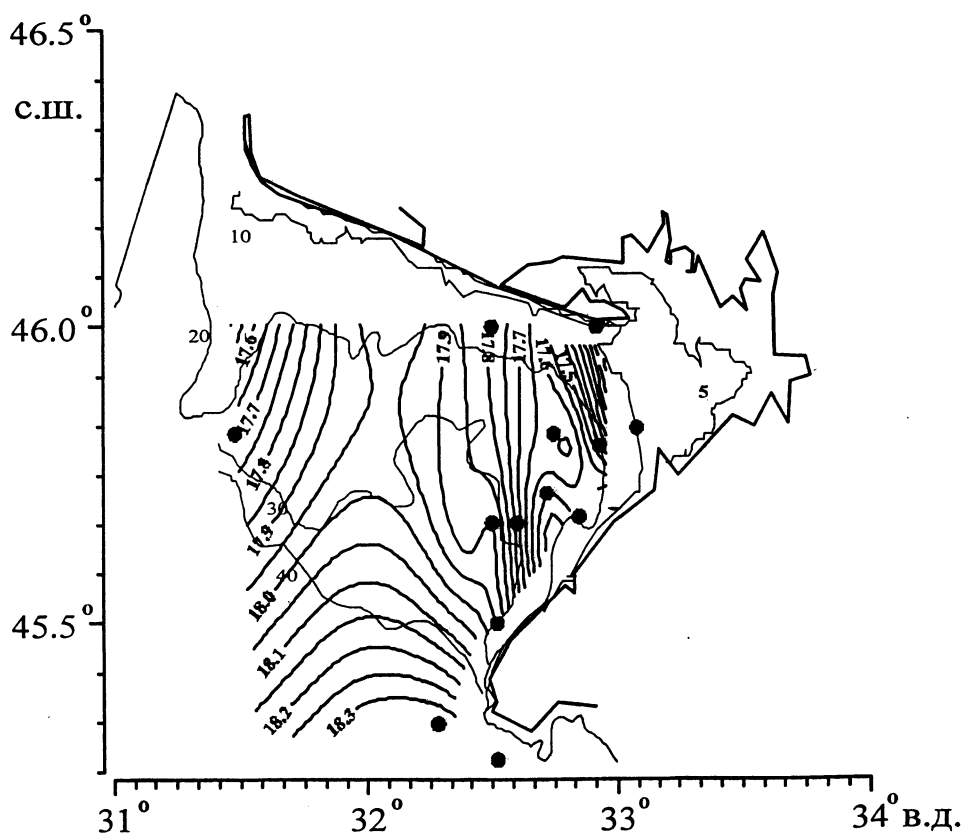
Все случаи масштабных распределений вод приходились на сентябрь, а локальные и пятна распределённых вод отмечались в сентябре – ноябре. В на-

чале осени в сентябре могут наблюдаться значительные вторжения распресненных и теплых вод, которые, перемещаясь по заливу, распространяются в слое до 10 м, поддерживая воды залива стратифицированными по температуре и солености. Примером этого является масштабное распреснение вод залива, наблюдавшееся в сентябре 1987 г., когда соленость вод в поверхностном слое понизилась до 15,9 – 16,6 ‰, что привело к распреснению вод до глубины 10 м. Глубже сохранялась соленость 17,6 – 18,2 ‰. Преобладавший в этот период слабый ветер С и СВ направлений со скоростью 2,0 – 4,7 м/с не способствовал интенсификации ветро-волнового перемешивания. Однако уже в ноябре влияние распресненных вод на залив существенно уменьшилось, возросла интенсивность ветровой деятельности и перемешивания вод, ослабившая стратификацию температуры и солености вод на всей акватории. В декабре относительно слабые распреснения (до 16,8 – 16,9 ‰) проявлялись в виде небольших локальных понижений солености в западной и северо-западной частях района, чаще в те годы, когда в сентябре происходили масштабные распреснения вод. Для случаев масштабных и локальных распреснений вод залива преобладающие ветры имели С и ССЗ направления. При регистрации пятен распресненной воды на северо-западе у входа в залив имелись наблюдения, когда ветер имел также и ЮВ направление.

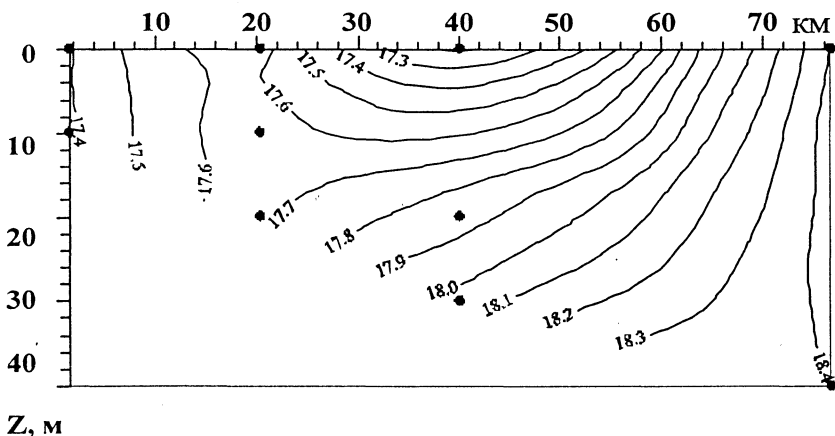
В осенний период происходит перестройка ветровой ситуации, затрудняющая поступление распресненных вод с северо-запада, запада и способствующая поступлению соленых вод с юга и юго-запада. Под влиянием этих процессов проникновение в залив существенно распресненных вод с $S < 17$ ‰ уменьшилось по сравнению с летом более чем в два раза (до 31,6 %). В то же время повторяемость регистраций вод с $S < 18$ ‰ изменилась сравнительно мало с 96 % летом до 87,7 % осенью. Связано это со значительным увеличением объемов вод промежуточной солености (с 16 % летом до 54 % осенью) в результате более интенсивного перемешивания соленых вод, поступление которых возросло, и распресненных вод, поступление которых, наоборот, сократилось. Увеличение поступлений соленых вод сопровождается ростом числа регистраций присутствия в заливе только соленых вод, составляющих 8,8 %, что более чем в два раза выше, чем летом. Масштабный охват залива солеными водами наблюдается с середины октября по декабрь. Как следует из табл. 2, осенью при $S < 17$ ‰ и $S < 18$ ‰ наблюдается значительное, более чем в два раза (с 18 до 7 % и с 22 до 10,5 % соответственно), сокращение числа масштабных распреснений вод по сравнению с летним сезоном. Число локальных распреснений вод с $S < 17$ ‰ меняется незначительно (с 16 до 12,3 %), а с $S < 18$ ‰ заметно возрастает (с 20 до 29,8 %). В четыре раза становится меньше повторяемость пятен с $S < 17$ ‰ (с 48 до 12,3 %), однако повторяемость пятен с $S < 18$ ‰ изменяется мало (с 56 до 47,4 %). Таким образом, осенью в общем уменьшается повторяемость поступлений распресненных вод с $S < 17$ ‰ и $S < 18$ ‰ разных масштабов, при этом преобладающими являются в начале сезона распреснения локальные, а к концу – в виде пятен.

Поступление распресненных вод в залив в зимний сезон наблюдалось реже, чем в другие сезоны, при ветрах как северных, так и западных направлений (С, СВ, З и ЮЗ). Распресненные воды с $S < 17$ ‰ регистрирова-

лись в 5 съемках (14,7 %), а с $S < 18 ‰$ – в 17 (50%) из 34. Однако в зимний сезон обнаруживалось частое поступление в залив морских соленых вод ($S > 18 ‰$). Из 34 гидрологических съемок залива в зимний сезон поступление морских соленых вод отмечалось в 30 съемках (88 %) при ветрах Ю, ЮЮЗ, ССЗ, СВ, ВСВ, В направлений. Эти воды осуществляют адвекцию тепла в западную, юго-западную и центральную части залива и поддерживают стратификацию температуры и солености вод в зимний период практически в большей части акватории залива. Примеры проникновения морских соленых вод ($S > 18 ‰$) зимой с юга при наличии в заливе слабо распресненных вод с $18,0 ‰ > S \geq 17,2 ‰$ приводятся на рис. 5, 6. В съемке 18 – 21.01.1971 г. (рис. 5) отмечается поступление в залив соленых вод в верхнем слое 0 – 5 м с юга. В этой же съемке на разрезе от окрестностей м. Тарханкут до о. Джарылгач (рис. 6) хорошо видно проникновение соленых вод в придонный слой глубже 20 м.



Р и с. 5. Горизонтальное распределение солености (‰) морской воды в слое 0 – 5 м в акватории Каркинитского залива по данным зимней гидрологической съемки 18 – 21. 01.1971 г. (жирные линии – изохалины, ‰; тонкие – изобаты, м)



Р и с. 6. Вертикальное распределение солености (‰) морской воды на разрезе (по меридиану $32^{\circ}25'$ в.д.) от северных берегов залива до окрестностей м. Тарханкут по данным зимней гидрологической съемки 18 – 21.01.1971 г.

В зимний сезон повторяемость регистраций распресненных вод с $S < 17\text{‰}$ и $S < 18\text{‰}$ на разных масштабах по сравнению с осенью уменьшилась вдвое. А повторяемость регистраций только соленых вод с осени до зимы выросла более чем в 5 раз (с 8,8 до 47 %). За счет уменьшения зимой поступлений распресненных вод до 14,7 % и увеличения поступлений соленых до 88 % в заливе уменьшилась повторяемость регистраций вод промежуточной солености в сравнении с осенью в 1,4 раза (с 54 до 38,2 %).

Поступление вод в восточную мелководную часть Каркинитского залива. Проникновение вод из основной части залива в ВМЧКЗ затруднено вследствие ее относительной закрытости. Воды в ВМЧКЗ могут поступать из основной части залива в узком интервале направлений ветров от З до ЮЗ и преимущественно через Бакальский пролив. Ограниченность числа экспериментальных данных для этой части залива не позволяет рассчитать повторяемость регистраций распресненных и соленых вод, чтобы сравнить с соответствующими данными для основной части залива. Однако имеющиеся сведения позволяют сказать, что во все сезоны в этой части залива присутствуют соленые (с $S > 18\text{‰}$) и слабо распресненные (с $17\text{‰} < S < 18\text{‰}$) воды. Высокосоленые морские воды с $S = 19,0 - 21,6\text{‰}$ наблюдаются в период с июня по октябрь, и столь значительное их осолонение обусловлено преимущественно интенсивным испарением.

Существенно распресненные воды в ВМЧКЗ наблюдаются начиная с апреля и обусловлены как поступлениями из основной части залива, так и осадками и береговым стоком, что может приводить к понижению солености вод до 16,0 ‰. Еще более низкие значения солености вод до 15,4 ‰ наблюдаются в июле, когда регистрируется пик интенсивности поступлений распресненных вод в основную часть залива и отмечается благоприятная для проникновения вод ветровая ситуация. В августе, когда в районе происходит перестройка ветровой обстановки, проникновение вод в ВМЧКЗ затрудняется, при этом минимальное значение солености вод повышается до 17,1 ‰, а бо-

лее интенсивное проникновение возобновляется с возвратом ветровых условий в сентябре, когда могут наблюдаться воды соленостью до 15,8 ‰.

Для относительно замкнутой ВМЧКЗ важной характеристикой является время отсутствия существенного водообмена. Возможность оценить время отсутствия существенного водообмена между основной и восточной мелководной частями Каркинитского залива имела благодаря съемкам 15 – 20.07.1983 г. и 23 – 27.09.1983 г.

В период съемки 15 – 20.07.1983 г. наблюдался случай распреснения вод залива с очень низкими значениями солености 13,5 – 16,6 ‰ и плотности 7,4 – 9,4 ед. усл. пл., охватившего весь залив, включая и его мелководную восточную часть. В период съемки наиболее распресненные воды присутствовали в центральной части залива (13,5 – 13,6 ‰), наиболее соленые – в западной у его входа (16,6 ‰). В южной части у м. Тарханкут, где чаще всего обнаруживаются потоки соленых вод, в верхнем слое 0 – 5 м присутствовали воды с $S = 13,7 - 15,7$ ‰ (рис. 3).

В восточной мелководной части, от Бакальской банки до Перекопского залива, где в это время года наблюдаются значения солености вод более 18 ‰, соленость от поверхности до дна составляла 15,7 – 16,3 ‰ при плотности 8,6 ед. усл. пл. По вертикали распресненные воды (до 17 ‰) проникли до 17 – 18 м на севере основной части залива и по всей глубине в восточной мелководной. В основной части залива глубже всего распресненные воды проникли в ее центре до 22 – 26 м.

Процессам распреснения вод залива способствовала ветровая ситуация, когда преобладающее направление ветра было западным и длительным. Температура в рассматриваемый период соответствовала летним значениям: в верхнем слое 0 – 5 м по горизонтали от 21 до 26,5°C, по вертикали от поверхности до дна от 26 до 7°C. Во всем заливе, кроме восточной мелководной части, наблюдалась вертикальная стратификация.

В следующей съемке 23 – 27.09.1983 г. значения солености вод основной части залива отмечались выше (15,8 – 17,3 ‰), чем 15 – 20.07.1983 г. Однако в ВМЧКЗ в это время наблюдалась соленость вод ниже, чем в основной части. Она была близка к той, что регистрировалась в съемке 15 – 20.07.1983 г., ее изменения за период около двух месяцев составили 0,1 – 0,2 ‰, что фактически свидетельствует о слабом за этот период водообмене с основной частью залива. Еще одним подтверждением слабого водообмена в этот период между ВМЧКЗ и основной частью залива является то, что в это время сезонный температурный режим вод во всех частях залива не был нарушен.

Временная характеристика водообмена Каркинитского залива. Хорошим примером, позволяющим описать динамику вод в заливе на протяжении месяца и также оценить время их обновления, является съемка в июле – августе 1939 г. Из ее анализа следует, что на поверхности залива (от меридиана 31°25' в.д. до Бакальской косы) до 13.07.1939 г. присутствовали воды соленостью от 17 до 19 ‰. Появление последних было вызвано осолонением за счет испарения при интенсивном прогреве на мелководье, а также апвеллинга в районе Бакальской косы под действием преобладающего северо-восточного ветра.

Поднявшиеся с глубины воды имели температуру $21,2^{\circ}\text{C}$ и соленость 19 ‰, в то время как в остальной части района поверхностная температура находилась в пределах $22 - 23^{\circ}\text{C}$, а соленость – $17 - 18$ ‰. Подъем вод у берегов хорошо прослеживался на вертикальных разрезах их солености вдоль Бакальской банки и от оконечности о. Джарылгач до пос. Черноморское. Глубины, с которых поднимались воды, в этой части залива составили от 8 до 16 м.

Северо-восточный ветер вызвал также сгон вод в восточной мелководной части залива за Бакальской банкой, но ввиду обособленности и мелководности этой восточной части залива, а также прогрева всей толщи воды до температуры $22,5 - 28,5^{\circ}\text{C}$ и ее осолонения до $18,4 - 20,8$ ‰ за счет интенсивного испарения существенных вертикальных различий по солености и температуре воды здесь не отмечено. Северо-восточный и сменявший его северо-западный ветер лишь способствовали более интенсивному вертикальному перемешиванию этих вод.

В средней части залива изменение направления ветра на 3, ССЗ вызвало перемещение на восток распресненных вод, находившихся 14.07.1939 г. к западу от меридиана $31^{\circ}30'$ в.д. Ветры западных направлений сохранялись с 13.07 по 4.08.1939 г. и способствовали перемещению распресненных вод на восток Каркинитского залива.

При указанных ветровых условиях имелась возможность определить время перемещения распресненных вод по движению изохалины 17 ‰, западнее которой отмечалась более низкая соленость. С 14.07 по 27.07 произошло перемещение этой изохалины на юго-восток до меридиана $32^{\circ}30'$ в.д. Расчет показал, что распреснение охватило 70 % площади залива, а обновление вод верхнего слоя (8 – 16 м) произошло меньше чем за 13 сут. В течение следующих 7 сут (до окончания наблюдений 4.08.1939 г.) поле солености сохранялось без заметных изменений.

Таким же образом по данным гидрологических съемок, выполненных в июне – июле 1929 г., определено время обновления верхнего слоя (10 – 16 м) вод залива при наблюдавшемся в этот период его масштабном распреснении. Это время оценивается в 11 – 14 сут.

Отмеченное явление обновления верхнего слоя вод и определение его продолжительности имеют большое значение для оценок естественной вентиляции и самоочищения Каркинитского залива.

Таким образом, выделенные на основе многолетних данных структуры вод и их характеристики определяют меру обновления вод в Каркинитском заливе в различные сезоны, о чем свидетельствуют полученные значения повторяемости распреснений, осолонений и времени обновления поверхностных вод залива. Обновление вод в заливе происходит в основном за счет следующих явлений: распространения соленых вод с юга и юго-запада, а также в верхнем слое благодаря апвеллингам при ветровом сгоне вод; адвекции распресненных вод с северо-запада и запада из открытых районов северо-западного шельфа.

Подводя итог, кратко сформулируем основные особенности сезонной изменчивости поступлений соленых и распресненных вод в Каркинитский залив.

Для залива характерно поступление распресненных шельфовых вод с северо-запада и запада, а соленых — с юга и юго-запада в течение всего года неравномерно, с разной интенсивностью в зависимости от сезона и ветровых условий.

Воды в зависимости от продолжительности и интенсивности их поступлений могут создавать в заливе области различных масштабов с пониженной или повышенной соленостью. Наиболее распространенными их структурами являются: пятна, локальные и масштабные образования.

Интенсификация поступлений распресненных вод в залив начинается с ранней весны (март — апрель) в виде пятен, в мае объемы поступающих вод увеличиваются, и наблюдаются еще и локальные образования. Наиболее интенсивно распресненные воды поступают в залив летом, причем это явление наблюдается чаще, чем отсутствие такового (82 %). Для конца весны и всего лета характерно наиболее интенсивное поступление распресненных вод всех структур, в этот период больше, чем в другие сезоны, отмечается число масштабных распреснений вод залива.

В начале осени (в сентябре) еще могут наблюдаться масштабные распреснения вод залива, число которых по сравнению с летом уменьшается более чем вдвое. Распреснения вод в виде пятен и локальных образований резко сокращаются к концу осени (ноябрь — декабрь).

Зимой поступления распресненных вод совсем не исчезают, но значительно сокращаются. Повторяемость их регистрации в этот сезон наименьшая и составляет 14,7 %. Обычно зимой наблюдаются пятна и локальные образования, однако в отдельные годы повышенного стока рек могут иметь место масштабные распреснения вод залива.

Соленые воды с осени до весны регистрируются в заливе чаще (56 — 88 %), чем распресненные (14,7 — 47 %). Экстремальные значения повторяемости масштабных осолонений вод залива ($S > 18 ‰$) достигаются зимой (максимальная повторяемость 47 %) и летом (минимальная повторяемость 4 %).

Промежуточные воды ($17 ‰ < S < 18 ‰$) наиболее интенсивно образуются в осенний период, составляя 54 %, а наименее интенсивно летом — 16 %.

Краткие выводы. В Каркинитском заливе наблюдается выраженная сезонная изменчивость поступлений распресненных шельфовых вод и соленых вод открытой части моря. Проникновение в залив распресненных вод преобладает в конце весны и летом, а соленых — с осени до весны и особенно зимой.

Оценка времени обновления верхнего слоя (8 — 16 м) вод основной части залива в весенне-летний период составила 11 — 14 сут. Отмеченное явление обновления вод и определение его продолжительности важно для расчетов естественной вентиляции и самоочищения Каркинитского залива.

Относительно замкнутая восточная мелководная часть Каркинитского залива в летне-осенний период до 2 мес может оставаться без существенного водообмена с основной частью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большаков В.С.* Трансформация речных вод в Черном море. – Киев: Наук. думка, 1970. – 328 с.
2. *Демидов А.Н.* Особенности сезонной изменчивости температуры поверхностного слоя прибрежных вод северо-западной части Черного моря // Тр. ГОИН. – 1988. – Вып. 189. – С. 78 – 85.
3. *Блатов А.С., Булгаков Н.П., Иванов В.А. и др.* Изменчивость гидрофизических полей Черного моря. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 231 с.
4. *Новицкий В.П.* Влияние динамики вод на характер распределения океанографических показателей биологической продуктивности и морских организмов в северо-западной части Черного моря // Океанографические исследования в Черном море // Тр. АЗЧерНИРО. – 1968. – Вып. 27. – С. 3 – 17.
5. *Пухтяр Л.Д., Ильин Ю.П., Белокопытов В.Н.* Сезонная и пространственная изменчивость термохалинной структуры вод Каркинитского залива // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2003. – Вып. 8. – С. 48 – 63.
6. *Типовые поля ветра и волнения Черного моря* / Под ред. Э.Н. Альтмана и Г.В. Матушевского. – Севастополь: СО ГОИН, 1987. – 116 с.
7. *Альтман Э.Н., Гертман И.Ф., Голубева З.А.* Климатические поля солености и температуры воды Черного моря. – Севастополь: СО ГОИН, 1987. – 110 с.
8. *Гертман И.Ф., Голубева З.А.* Моделирование реакции термохалинной структуры вод Черного моря на альтернативные тенденции стока рек // Тр. ГОИН. – 1988. – Вып. 189. – С. 26 – 38.
9. *Агафонов Е.А., Каминский С.Т., Кукушкин А.С. и др.* Пространственная структура и изменчивость полей течений, показателя ослабления света и температуры в поверхностном слое северо-западной части Черного моря // Морской гидрофизический журнал. – 1998. – № 4. – С. 57 – 69.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,
Севастополь

Материал поступил
в редакцию 18.10.05
После доработки 10.02.06

ABSTRACT Based on the experimental hydrological materials of MHI NAS of Ukraine data bank and MD of Ukr.SRHMI information studied are the characteristics of seasonal variability of the processes of renewal, desalination and salting of the Kirkinits Bay waters. Repetition of salt and fresh water inflows and variability of their areas on the bay water area depending on a season and wind conditions are analyzed and estimated. For the spring-summer period the time of renewal of the upper layer waters of the main part of the bay is estimated (11 – 14 days). For the summer-autumn period the time interval of possible absence of substantial water exchange between the main and the eastern shallow parts of the bay is revealed (about two months).