

УДК 551.465(262.54)

СЕЗОННАЯ ТЕРМОХАЛИННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОДНЫХ МАСС В ТАГАНРОГСКОМ ЗАЛИВЕ АЗОВСКОГО МОРЯ

© 2007 г. Член-корреспондент РАН Д.Г. Матишов^{1,2}, Г.В. Ильин², Д.В. Моисеев²

На основе материалов двух мезомасштабных гидрологических съемок определены основные закономерности формирования гидрологической структуры и гидродинамики вод Таганрогского залива в летний и осенний сезоны. Сезонные изменения ветрового режима определяют систему циркуляции вод, процессы фронтогенеза и фронтолиза в заливе. Трансфронтальный обмен и смешение вод в эстуарии происходит как в форме ветрового перемещения, так и в форме нормальных к линии фронта осцилляций. Возникающий эффект интрузий приводит к образованию в зоне смешения множества разномасштабных “линз” и локальных короткоживущих гидрофронтов.

Несмотря на относительно хорошую изученность гидрологического режима Азовского моря вопросы формирования мезомасштабной структуры термохалинных полей и циркуляции вод остаются до настоящего времени практически неизученными.

В июне и сентябре 2005 г. Мурманским морским биологическим институтом Кольского научного центра РАН совместно с Южным научным центром РАН в ходе двух гидрологических съемок с судна “Профессор Панов” впервые были проведены исследования мезомасштабной структуры вод Таганрогского залива. Во время каждой из съемок выполнено по 260 гидрологических станций (рис. 1). Дискретность сетки станций в зависимости от ожидаемой гидродинамической активности на участках акватории составляла 2'–3' по широте и 4'–6' по долготе [1]. Измерение гидрологических характеристик выполнялось СТД-зондами CTD90M и SEACAT SBE 19. Координаты станций контролировались с помощью системы геопозиционирования GPS. Все станции сопровождалась метеонаблюдениями. Каждая съемка выполнена в короткий временной промежуток в условиях стабильной метеорологической обстановки.

Сезонная смена ветров в условиях мелкого бесприливного бассейна становится ведущим фактором изменения циркуляции вод и форми-

рования их термохалинной структуры [2, 3]. Над акваторией моря с июня по август преобладают западные, юго-западные и северо-западные ветры. Повторяемость западного и юго-западного направлений составляет в июле 31–34%, а средняя скорость 5–5,5 м/с. Осенью и зимой над бассейном преобладают северо-восточные и восточные ветры. Их суммарная повторяемость составляет около 51%, средняя скорость ветра 5–6,5 м/с [4].

В период обеих съемок несмотря на смену атмосферной циркуляции ветровая деятельность протекала при слабо различающихся барических ситуациях. В июне на фоне мало изменчивого атмосферного давления (759–768 мм рт. ст.) преобладал ветер западных румбов со скоростью до 9 м/с. В сентябре перестройка барических систем не вызвала значимого понижения фона атмосферного давления (755–760 мм рт. ст.), но преобладающими стали северные и восточные ветры. Скорость ветра достигала 12 м/с.

Метеоусловия июня: температура воздуха 18–25 °С, высота волн до 1,25 м – обусловили изменчивость температуры воды в заливе в интервале от 20 до 26 °С. Соленость воды изменялась от 0,9 до 9,9‰.

С помощью *T, S*-анализа в Таганрогском заливе летом выделено два основных типа вод (рис. 2а). Первый тип – это речные воды, отличающиеся низкой соленостью (от 0,9 до 3,2‰) и значительными колебаниями температуры (от 22 до 24,5 °С). Второй тип – воды морского бассейна. Для них характерны широкий диапазон

¹ Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону.

² Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра Российской академии наук, Мурманск.

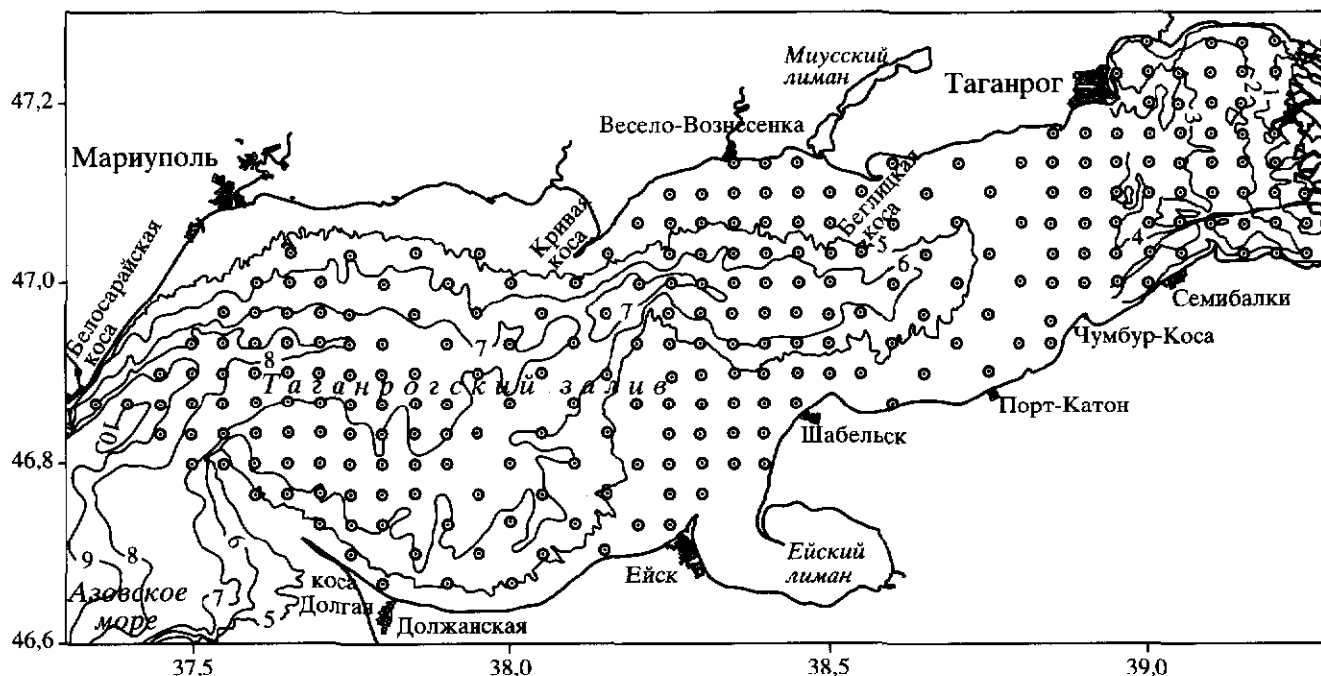


Рис. 1. Сеть гидрологических станций, выполненных в Таганрогском заливе в июне и сентябре 2005 г. Батиметрическая основа приведена по Г.Г. Матищеву [6, 7]

солёности (4,5–9‰) и относительная тепловая инертность (21–22 °C). В ядре водной массы сохранялась высокая солёность (9–10‰), свойственная водам морского бассейна.

На акватории залива было сформировано два гидрофронта в кутовой и устьевой частях залива, оконтуривающих соответственно речную и морскую водные массы.

В отсутствие приливно-отливных течений ветровое волнение препятствовало развитию плотностной стратификации вод, что обусловило вертикальное развитие фронтальных разделов. Диффузное сопротивление галоклина определило обмен через него посредством интрузий. Вследствие этого на акватории залива выделялись многочисленные мезомасштабные гидродинамические образования – линзы с линейными размерами от 3 до 8 км, что делало термохалинную структуру вод очень мозаичной (рис. 3а).

Термическая структура воды в графическом отображении выглядит более сложной, чем халинная структура. Однако истинная термическая структура в мелководном бассейне маскируется значительной суточной изменчивостью температуры и неадекватно отображается при анализе данных натурных измерений. Для выявления термической структуры в таких водоемах необходимы дополнительные суточные наблюдения с последующим приведением измеренной темпе-

ратуры воды в водоеме к одному определенному часу.

Солёность воды мало подвержена суточной изменчивости и более надёжно отображает плотностную и динамическую структуру вод в заливе. Как правило, максимальные различия солёности в линзах и окружающих водах не превышают 0,5‰, что и отображено на рис. 3. В большинстве же такие различия составляют 0,2–0,25‰ и могут восприниматься на картах как интрузивные выступы изохалин (рис. 3а). Соответственно наибольшее развитие мезомасштабных образований и интрузий отмечено в зоне смешения между фронтами.

В сентябре диапазон изменчивости температуры воздуха расширился за счёт ночного выхолаживания (14–27 °C). Температура воды мелководного Таганрогского залива быстро реагировала на изменения метеоусловий и понизилась до 16–24 °C. В отличие от июня речные воды характеризовались более низкой (16–19 °C), чем морская вода, температурой.

Смена направления ветра вызвала ветровое противодействие адвекции вод из морского бассейна. Результатом этого стало уменьшение солёности, максимум которой снизился до 8‰. В то же время северные и восточные ветры привели к обострению речного гидрофронта у юго-восточного берега залива. Солёность речных вод в эстуарии уменьшилась и удерживалась в диапазоне

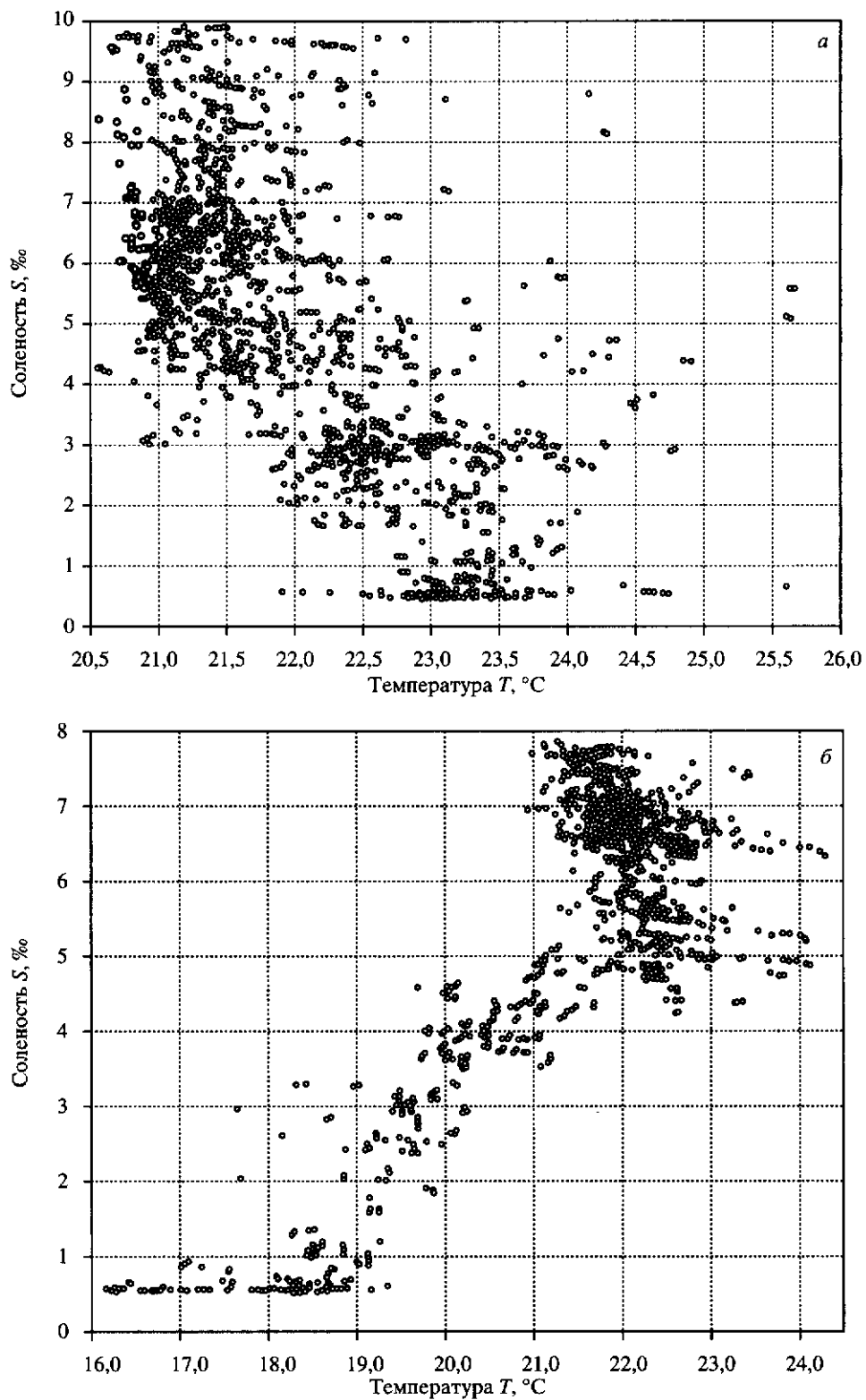


Рис. 2. T,S -диаграммы вод Таганрогского залива 23 июня – 2 июля (а), 15–25 сентября (б) 2005 г.

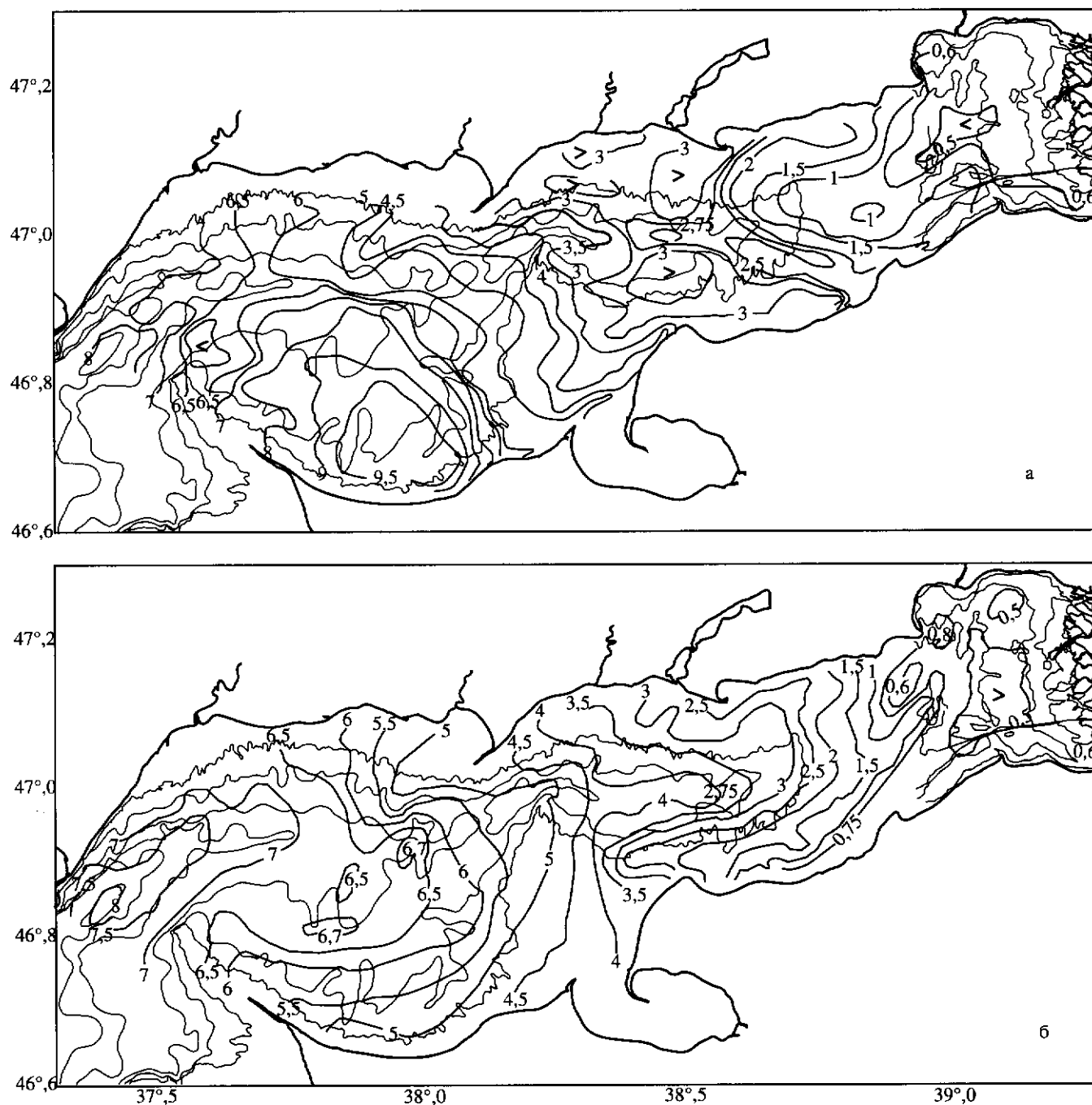


Рис. 3. Соленость придонного слоя вод Таганрогского залива в июне (а) и в сентябре (б) 2005 г.

0,5–1,2‰ (рис. 2б). Азовоморская вода осенью характеризовалась соленостью 4,5–8,0‰ и по-прежнему стабильной температурой (21–23 °С).

В целом ветровая деятельность и ветровое волнение (0,2–1,0 м) обеспечивали хорошее вертикальное перемешивание вод и относительную однородность термохалинных характеристик от поверхности до дна.

Изменение направления преобладающих ветров привело также к перераспределению водных

масс на акватории залива. Ядро морских вод было оттеснено от косы Долгой к северо-западной периферии залива, в область жёлоба. В заливе был сформирован эстуарный фронт типа солевого клина (рис. 4) [5]. В отличие от приливных морей причиной формирования фронта стала ветровая деятельность [6, 7]. На границе солевого клина генерировались мезомасштабные термохалинные структуры с такими же линейными размерами, что и в летний период.

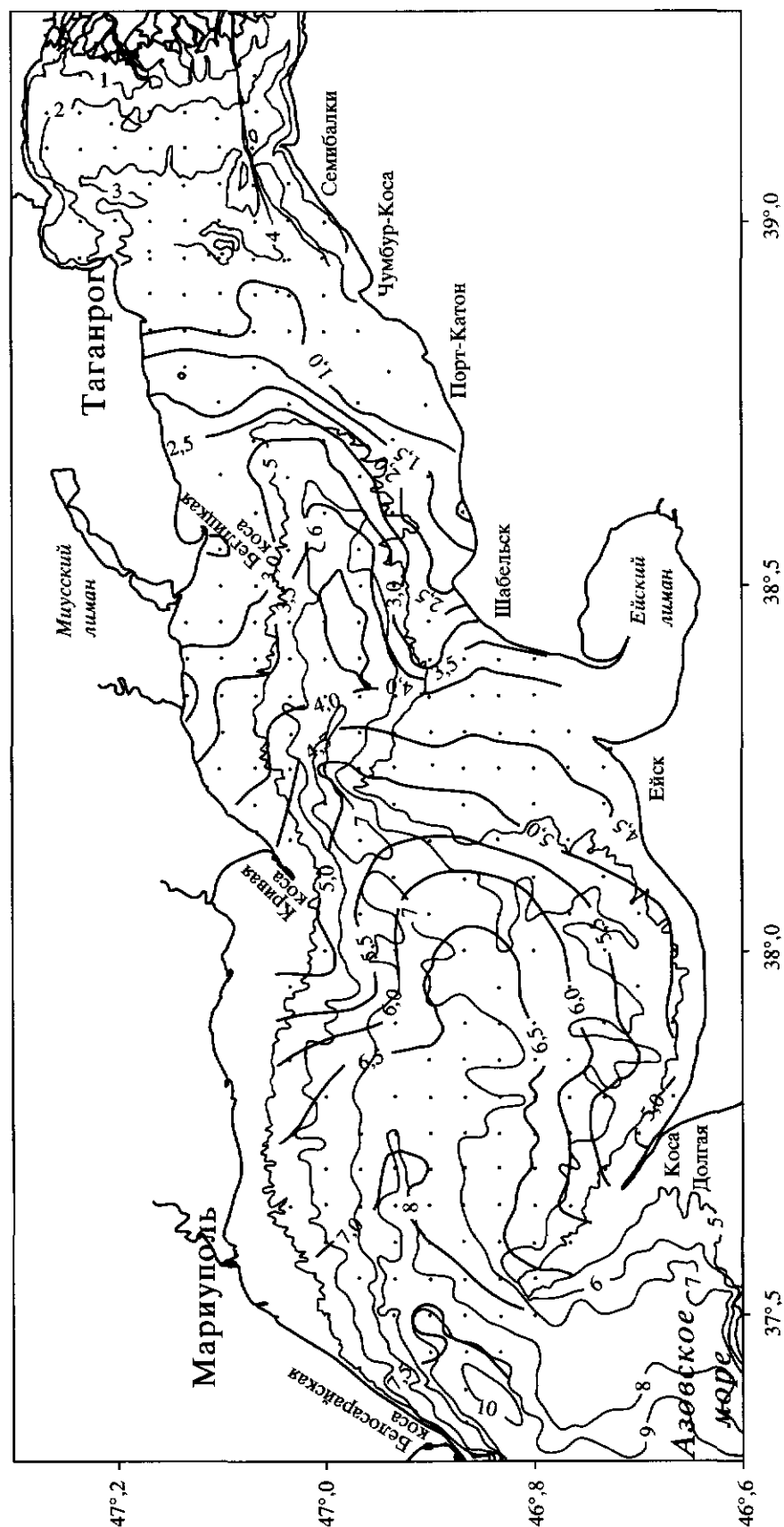


Рис. 4. Эстуарный фронт в поле средневзвешенной солености. Таганрогский залив, сентябрь 2005 г.

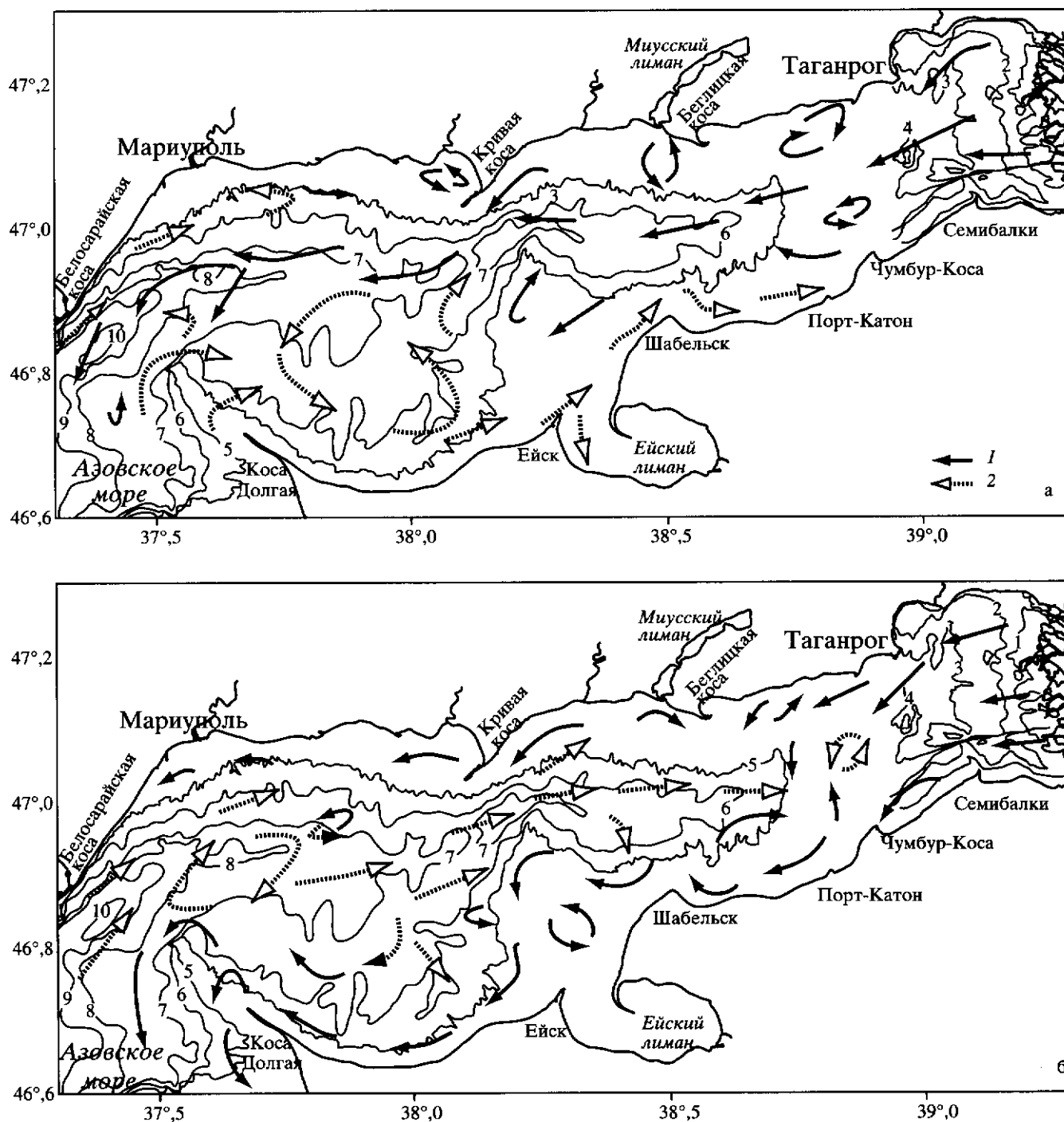


Рис. 5. Схема течений в Таганрогском заливе в летний (а) и в осенний период (б) 2005 г. 1 – поток речных вод из залива, 2 – поток азовоморских вод в залив

Общее понижение солёности вод залива вызвало уменьшение контрастности вод в зоне смешения, и в отличие от летнего периода трансфронтальный обмен в поле солёности проявлялся главным образом как мезомасштабные осцилляции изохалин (рис. 3а).

Характерный для летнего периода процесс обособления солевых линз был, по-видимому,

трансформирован в генерацию мелкомасштабных структур с относительно размытыми границами (различия 0,1‰ и менее), которые не выявлялись при мезомасштабных съёмках.

В формировании термической структуры воды в сентябре по-прежнему большую роль играла суточная изменчивость, однако понижение температуры речных вод вызвало заметные ус-

тойчивые различия между распресненными и морскими водами. Именно температурная контрастность вод обусловила мозаичность термической структуры вод в заливе. Большая часть термически неоднородных мезомасштабных образований генерировалась на фронтальном разделе вдоль северного берега Таганрогского залива.

Под влиянием ветрового поля в заливе формировалась специфическая система циркуляции (рис. 5). При малых глубинах и большой суточной вариации температуры основным консервативным фактором, позволяющим судить о направлении течений, является соленость вод. Потоки стокового и компенсационного течений в заливе ориентированы вдоль градиента солёности воды. Хорошая вертикальная перемешанность вод дает возможность использовать для анализа этих градиентов и соответственно течений карты средневзвешенной солёности.

Летом западные ветры вызывали повышение уровня в восточной периферии морского бассейна. Отсюда морские воды как компенсационное течение проникали в залив вдоль его южного берега. Сформировав обширную линзу осолоненных вод с замкнутой циркуляцией у косы Долгой, компенсационное течение распространялось далее узкой полосой (5–7 км) вдоль южного побережья залива.

Стоковое течение было ориентировано по тальвегу в донном рельефе. В морской бассейн речные воды выходили по жёлобу близ косы Белосарайская, вероятно, являющемуся фрагментом древнего русла реки Дон (рис. 5а). Осенью перераспределение материкового стока под воздействием восточных и северо-восточных ветров вызвало ориентацию основного потока стокового течения вдоль южного берега залива (рис. 5б). Компенсационное течение было ориентировано вдоль северного берега и входило в залив по жёлобу вдоль косы Белосарайская. Распространяясь по тальвегу вглубь залива, компенсационное течение образовало фронт типа солевого клина. Материковый сток северного побережья залива формировал местную локальную ветвь стокового течения, проходящую в узкой вдольбереговой полосе.

Таким образом, сезонные изменения ветрового режима определяют процессы фронтогенеза и фронтолиза в эстуарии и систему циркуляции вод.

Трансфронтальный обмен вод в заливе происходил главным образом в форме нормальных к

фронту осцилляций. Это определило образование мезомасштабных интрузий и линз, локальных короткоживущих гидрофронтов, хорошо выраженных на профилях и картах распределения температуры и солёности воды. Летом основным фактором мезомасштабной неоднородности вод в заливе является солёность, а осенью – температура воды.

В летний период с преобладанием ветров западного и юго-западного направлений устанавливается циркуляция вод с ориентацией стокового течения по тальвегу вдоль северного берега залива и образованием обширного ринга морских вод в районе косы Долгой. Для осеннего периода с преобладанием ветров северо-восточного и северного направлений характерна циркуляция с формированием ринга морских вод в жёлобе древнего русла Дона. Стоковое течение образует две ветви, разделенные солевым клином. Основная ветвь стокового течения ориентируется вдоль южного берега залива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин Г.В., Моисеев Д.В. Особенности фронтогенеза в Азовском море // Экосистемные исследования Азовского моря и побережья. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. С. 90–100.
2. Гаргона Ю.М. Изменение стока рек бассейна Азовского моря и океанографические условия формирования его биоресурсов под влиянием климатических и антропогенных факторов // Закономерности океанографических и биологических процессов в Азовском море. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2000. С. 10–82.
3. Гаргона Ю.М. Гидрометеорологические условия формирования режима биогенных веществ в Азовском море // Экосистемные исследования Азовского моря и побережья. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. С. 167–192.
4. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. V. Азовское море. СПб: Гидрометеиздат, 1991. 237 с.
5. Федоров К.Н. Физическая природа и структура океанических фронтов. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 296 с.
6. Матишов Г.Г. Рельеф дна и его влияние на морскую среду обитания // Современное развитие эстуарных экосистем на примере Азовского моря. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1999. С. 19–31.
7. Матишов Г.Г. Батиметрия и закономерности формирования рельефа дна Азовского моря // Экосистемные исследования Азовского, Черного, Каспийского морей. Т. VIII. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2006. С. 31–42.

**SEASONAL THERMOHALINE VARIABILITY OF WATER MASS
IN THE TAGANROG BAY OF THE AZOV SEA**

**Corresponding Member of RAS D.G. Matishov, G.V. Ilyin,
D.V. Moiseev**

Basic principles of forming of hydrologic structure and hydrodynamics of summer and autumn waters in the Taganrog bay are defined on the basis of 2 mesoscale hydrologic shooting data. Seasonal changes of wind behavior determine the system of water circulation, frontogenesis and frontolysis in the bay. Transfrontal exchange and mixing of waters in estuary is performed in the form of wind mixing as well as in the form of normal to frontline oscillations. The resulting effect of intrusions leads to forming of numerous different-sized "lenses", local and short-life hydrofronts in the mixing zone.

REFERENCES

1. Ilyin G.V., Moiseev D.V. 2002. [Peculiarities of frontogenesis in the Sea of Azov]. In: *Ekosistemnye issledovaniya Azovskogo morya i poberezh'ya*. [Ecosystem investigations of Azov Sea and coast]. Vol. 4. Apatity, Kola Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences Publishers: 90–100. (In Russian).
2. Gargopa Yu.M. 2000. [Changes of the river run-off of the Sea of Azov basin and oceanographic condition of formation of its biological resources under the climatic and anthropogenic factors impact]. In: *Zakonomernosti okeanograficheskikh i biologicheskikh processov v Azovskom more*. [Regularities of oceanographic and biological processes in the Sea of Asov]. Apatity, Kola Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences Publishers: 10–82. (In Russian).
3. Gargopa Yu.M. 2002. [Hydrometeorological conditions of the biogene substances regime formation in the Sea of Azov]. In: *Ekosistemnye issledovaniya Azovskogo morya i poberezh'ya*. [Ecosystem investigations of Azov Sea and coast]. Vol. IV. Apatity, Kola Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences Publishers: 167–192. (In Russian).
4. *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morey SSSR. T. 5. Azovskoe more*. [Hydrometeorology and Hydrochemistry of Seas of USSR. Vol. 5. Sea of Azov]. 1991. St. Petersburg, "Gidrometeoizdat": 237 p. (In Russian).
5. Fedorov K.N. 1983. *Fizicheskaya priroda i struktura okeanicheskikh frontov*. [The physical nature and structure of oceanic fronts]. Leningrad, "Gidrometeoizdat": 296 p. (In Russian).
6. Matishov G.G. 1999. [Bottom relief and its influence on the marine environment]. In: *Sovremennoe razvitie estuarnykh ekosistem na primere Azovskogo moray*. [Contemporary development of estuarine ecosystems on example of the Azov Sea]. Apatity, Kola Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences Publishers: 19–31. (In Russian).
7. Matishov G.G. 2006. [Bathymetry and formation and peculiarities of the Azov Sea bottom relief]. In: *Ekosistemnye issledovaniya Azovskogo, Chernogo i Kaspiyskogo morey*. [Ecosystem research of the Azov, the Black and the Kaspian Seas]. Vol. 8. Apatity, Kola Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences Publishers: 31–42. (In Russian).