

УДК: 551.465, 551.506, 574.5
DOI: 10.7868/S25000640190307

ВЛИЯНИЕ ПОЛОВОДЬЯ ДОНА 2018 г. НА ТЕРМОХАЛИННУЮ СТРУКТУРУ АЗОВСКОГО МОРЯ

© 2019 г. К.С. Григоренко¹, Е.П. Олейников¹, Е.Г. Григоренко²

Аннотация. На основе результатов экспедиций Южного научного центра Российской академии наук в Азовское море исследовано влияние мощного половодья р. Дон в 2018 г. Экспедиции проводились на борту научно-исследовательского судна «Денеб» в мае – июне, на этапе спада половодья, а также в августе, ноябре – декабре 2018 г. и в апреле 2019 г. Во время весенне-летней экспедиции 2018 г. наблюдалось интенсивное фронтообразование в районах взаимодействия морских и речных вод, масштаб которого значительно превышал параметры фронтов по градиентам и протяженности в период более ранних исследований. Поле солёности Азовского моря (без Таганрогского залива) соответствовало характеристикам 2012–2017 гг., когда величины стока Дона были низкими. Во время августовской и ноябрьской съёмок 2018 г., а также апрельской 2019 г. изменчивость поля солёности в большей степени зависела от текущей ветровой обстановки, последствий половодья не наблюдалось. Впервые за современный маловодный период бассейнов Дона и Кубани на основе инструментальных измерений были получены количественные оценки объёмов черноморских вод, поступающих в Азовское море. Результаты измерений показали преобладание переноса в северном направлении – из Черного моря в Азовское. Размеры обратного потока были минимальными, а скорости течений оказались в 10 раз меньше. Расход вод меридиональной составляющей течений с юга на север в ноябре составил 192 м³/с, в апреле 1710 м³/с.

Ключевые слова: Азовское море, осолонение, маловодье Дона, половодье, аридизация климата.

INFLUENCE OF THE DON RIVER SEASONAL FLOOD 2018 ON THE SEA OF AZOV THERMOHALINE STRUCTURE

K.S. Grigorenko¹, E.P. Oleynikov¹, E.G. Grigorenko²

Abstract. Based on the results of expeditions of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences to the Sea of Azov in 2018 and 2019 the influence of the powerful flood of the Don River in 2018 is investigated. The expeditions were carried out on board of the research vessel “Deneb” in May-June, during the phase of flood decreasing, in August, November-December 2018, and also in April 2019. During the spring-summer expedition, intensive frontal formation was observed in the areas of interaction between sea and river water, the scales of which significantly exceeded the parameters of the fronts during earlier observations of gradients and lengths, at the same time, the salinity field of the Azov Sea corresponded to the characteristics of 2012–2017, during which low values of the Don flow were observed. During the August and November expeditions of 2018, and also of April 2019, the variability of the salinity field depended in a greater degree on the current wind conditions, and no flood effects were observed. During the investigations, for the first time in the modern low-water period of the Don and Kuban basins, based on instrumental measurements, quantitative estimates of the volumes of the Black Sea water entering the Azov Sea were obtained. The results of the investigations showed the domination of the water movements to the north – from the Black Sea to the Azov Sea. The scale of the reverse flow was minimal, and the flow rates were 10 times slower. The water discharge of the meridional component of the currents from south to north was 192 m³/s in November and 1710 m³/s in April.

Keywords: Sea of Azov, salinization, Don lack of water, seasonal flood, climate aridization.

¹ Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук (Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: klim_grig@mail.ru

² Донской государственный технический университет (Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

ВВЕДЕНИЕ

Азовское море по сути представляет собой систему сообщающихся сосудов, которая прежде всего регулируется стоком рек Дон и Кубань. При увеличении стока этих рек море распресняется и среди гидробионтов преобладают виды, предпочитающие пресную или слабосоленую воду. В периоды спада речного стока море практически полностью (кроме устьевых зон) может заполняться черноморской водой, которая вытесняет пресноводную фауну.

В отличие от глубокого Черного моря, Азовское не имеет установившихся течений [1]. На элементы локальной термохалинной структуры доминирующее влияние оказывает ветровой перенос вод и перемешивание [2]. Летом при штилевой погоде в центральной части моря могут наблюдаться заморы и сероводородное заражение, но при усилении ветра водная толща перемешивается за считанные минуты, и становится визуально заметно взмучивание донных осадков.

Таганрогский залив является эстуарием р. Дон согласно определению, предложенному В.Н. Михайловым и др. [3], главным динамическим фактором перемешивания морских и речных вод является ветер зональных направлений, которые параллельны оси залива. При штормовых западных ветрах наблюдаются нагоны высотой до 4 м, в такие периоды соленая морская вода проходит вверх по Дону вплоть до водозаборов Азова, Таганрога и Ростова-на-Дону. Восточные ветры приводят к сгонам величиной более 2 м, при этом поверхностный слой воды в заливе выдувается в акваторию соб-

ственно моря, и в результате действия механизма, сходного с апвеллингом, в глубокие искусственные прорези судоходных каналов могут проникать соленые морские воды. Кроме этого при понижении уровня воды в устьевой области многие протоки и рукава оказываются отрезанными от основного русла Дона и заполняются минерализованным подземным стоком [4]. При слабых ветрах уровень воды стабилизируется и происходит вихреобразное перемешивание морских и речных вод, участки с пониженной соленостью могут встречаться на всем протяжении залива вплоть до Должанской косы.

С середины XX века наблюдалось постепенное снижение стока Дона [5], которое 2010 г. достигло угрожающих отметок, а соленость Азовского моря почти сравнялась с соленостью поверхностных вод Черного моря. Половодье Дона 2018 г. стало аномальным, благодаря ему годовой сток достиг величины 23,5 км³, тогда как в маловодный 2015 г. сток составил только 11,2 км³.

Изучение изменений режима солености как самого моря, так и устьевой области Дона как источника основного объема поступающих пресных вод является одним из наиболее важных прикладных направлений исследования Азовского моря.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для изучения изменчивости режима солености Азовского моря в 2018 г. на борту научно-исследовательского судна «Денеб» было проведено три декадных съемки термохалинной структуры: 29 мая – 4 июня выполнены работы на 40 станциях, 21–30 августа – на 42 станциях и 15 ноября – 2 декабря – на 52 станциях экологического мониторинга (рис. 1, 2а, 3). В апреле 2019 г. была проведена съемка параметров термохалинной структуры на 43 станциях.

Измерения выполнены с использованием CTD-зонда SBE-19, термосалинографа SBE-21 и доплеровского измерителя течений Aanderaa RCM 9LW. Обработка данных произведена с помощью программного обеспечения фирмы-производителя зонда Sea-Bird Electronics и Aanderaa.

АНАЛИЗ ДАННЫХ

Сток Дона в 2018 г. достиг величин 15-летней давности, создав условия для распреснения вод моря, однако съемки показали, что соленость про-

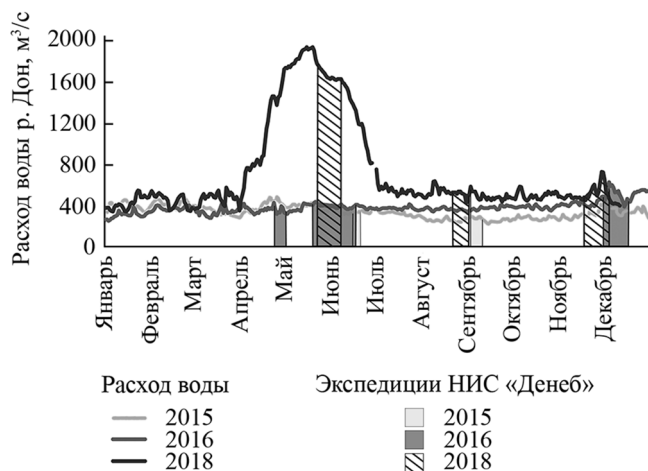


Рис. 1. Изучение влияния стока Дона на режим солености Азовского моря.

Fig 1. The investigation of the Don runoff influence on the salinity of the Sea of Azov.

должает расти [6], и уже в ноябре в центральной части Азовского моря были обнаружены участки со значениями солености, превышающими 15 ‰ (рис. 2), что очень близко к значениям солености на поверхности Черного моря (17–18 ‰). Высокое половодье в мае 2018 г. способствовало формированию интенсивных фронтов в Таганрогском заливе (рис. 2), разделяющих пресные воды р. Дон, смешанные, эстуарные залива и воды собственно Азовского моря.

Речной сток заполнил акваторию залива от устья до Таганрога, создав подпор пресных вод. Первый фронт имел протяженность около 30 км и начинался от траверза Таганрога. На этом участке акватории залива соленость выросла с 1 до 6 ‰ (градиент солености составил 0,2 ‰/км), а температура с 17,5 до 20 °С (градиент температуры составил 0,08 °С/км).

Работы на станциях в Таганрогском заливе выполнялись во время экспедиции дважды – 30 мая, по пути из пос. Донской в Азовское море, и 4 июня, на обратном пути. Съемка 30 мая проводилась при восточном ветре со скоростью 7–11 м/с (градиент солености достиг 0,3 ‰/км), тогда как 4 июня дул юго-западный ветер силой 3–5 м/с, за счет этого поверхность Таганрогского залива стала достаточно однородной по температуре, наблюдаемые значения колебались в пределах 20–21 °С. Резкий фронт солености с градиентом 0,7 ‰/км и увеличением солености с 9 до 14 ‰ располагался к западу от косы Долгой, температура воды понизилась с 20 до 19 °С. При более слабом ветре и уменьшенном подпоре речных вод 4 июня фронт солености в районе косы Долгой стал менее резким, градиент солености составил 0,1 ‰/км. При этом сформировался фронт с ростом солености с 6 до 10 ‰ в районе Ейского лимана, а градиент солености в районе Таганрога уменьшился до 0,125 ‰/км.

За период с 30 мая по 4 июня воды моря стратифицировались, на глубине 4–5 м сформировался слой скачка температуры с перепадом с 19,8 до 19,2 °С. При отсутствии ветрового перемешивания стали заметными поверхности смешения речных и морских вод в Таганрогском заливе и достаточно далекое проникновение морских вод в направлении р. Дон.

В западной части залива между косами Беглицкая и Долгая наблюдались участки вихреобразного смешения речных и морских вод с колебаниями значений температуры и солености. Соленость собственно Азовского моря достигала значений выше 14 ‰, характерных для последних лет периода ма-

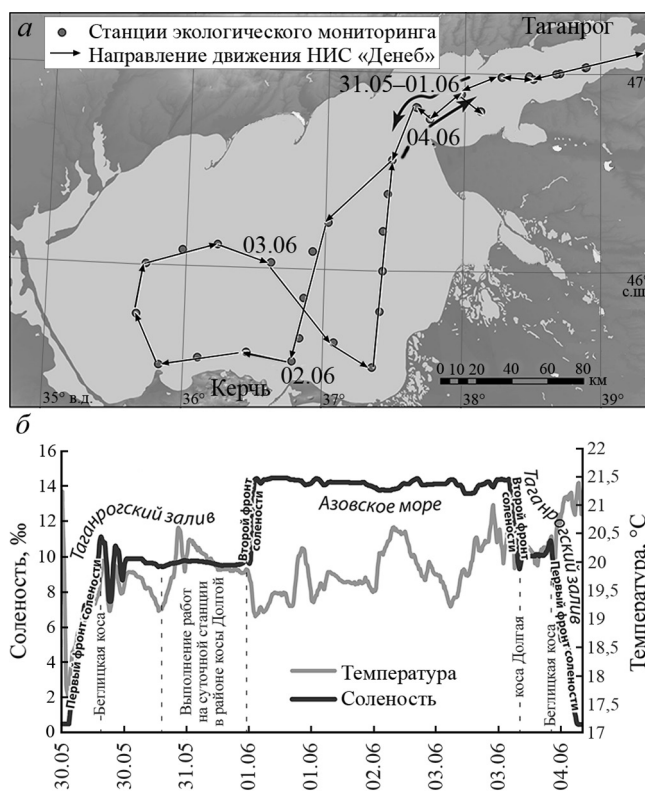


Рис. 2. Карта станций экспедиции и распределение температуры и солёности на поверхности 29 мая – 4 июня 2018 г.

Fig. 2. Map of expedition stations and surface salinity and temperature distribution on May 29 – June 4, 2018.

ловодья Дона, и в течение всех экспедиций 2018 г. распределяющее влияние высокого половодья отмечено не было.

Во время исследований наблюдалась общая тенденция к прогреву поверхностного слоя акватории. 30 мая приустьевое взморье было заполнено холодными (менее 18 °С) водами высоких попусков Цимлянского гидроузла, а 4 июня этот район уже прогрелся до 21–21,5 °С. На фоне фронтальных перепадов заметен очевидный суточные колебания температуры воды со средней амплитудой 1–1,5 °С.

Поле температуры на дне Азовского моря в период конца мая – начала июня 2018 г. является достаточно однородным, резкие фронты отсутствуют даже в Таганрогском заливе. В целом для западной части моря характерны значения температуры выше 20 °С, для восточной – меньше 19 °С. В придонном горизонте морские воды проникают дальше на восток, чем на поверхности, фронты менее резкие, при этом в западной части залива характерно распространение морских вод по северной части залива, а речных – ближе к южному берегу. В акватории собственно Азовского моря районы с соле-

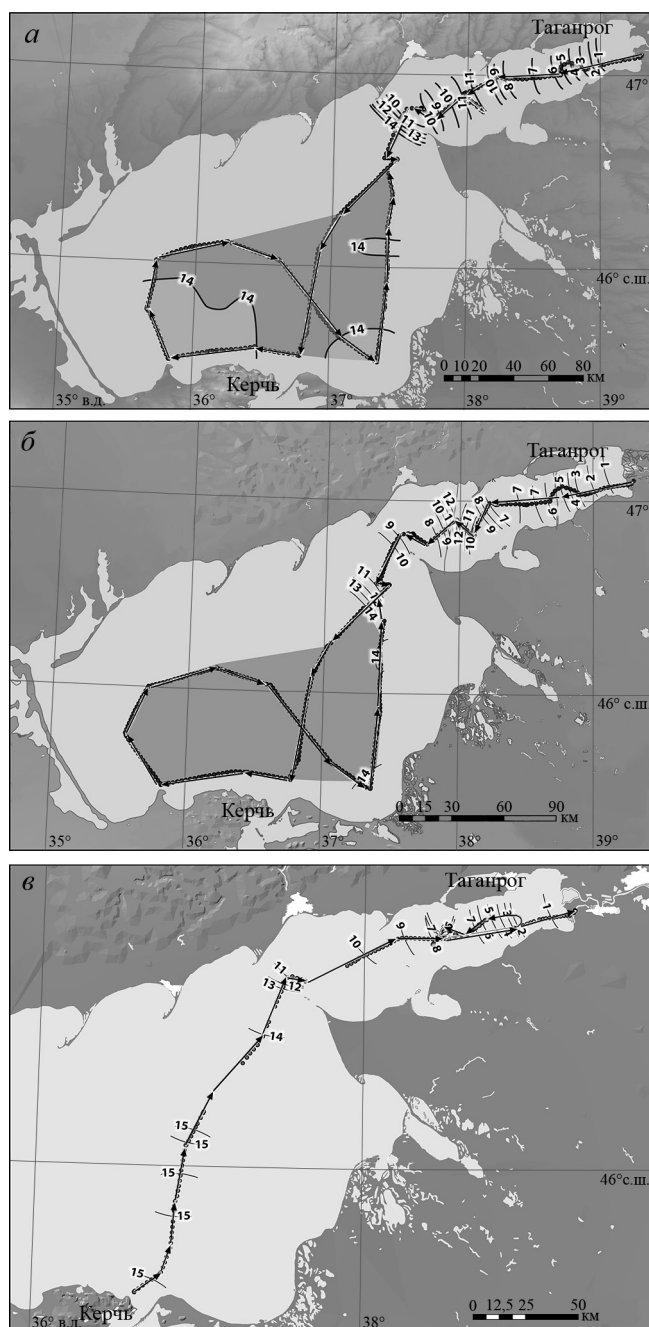


Рис. 3. Маршруты экспедиций и соленость поверхностных вод Азовского моря (‰) 29 мая – 4 июня (а), 21–30 августа (б), и 15 ноября – 2 декабря (в) 2018 г.

Fig. 3. Expedition routes and the surface salinity of the Sea of Azov (‰) on May 29 – June 4 (a), August 21–30 (b), and November 15 – December 2 (v) 2018.

ностью менее 14 ‰ расположены в юго-западной части и Темрюкском заливе.

Результаты августовской и ноябрьской съемок показывают (рис. 3), что после окончания половодья поле солености моря вернулось к своему положению, характерному для маловодного периода.

В мае, августе и ноябре изолиния 1 ‰ на поверхности расположена у Павло-Очаковской косы, 5 ‰ – между Таганрогом и Беглицкой косой, что характерно для периода 2012–2017 гг. В ноябре сильный восточный ветер способствовал формированию фронта солености 2–7 ‰ на участке Таганрог – Беглицкая коса, а изолиния 11 ‰ наблюдалась только в районе косы Долгой, на фронтальном участке от 11 до 13 ‰.

Во время ноябрьской съемки с помощью профилометра течений Aanderaa RCM 9LW были измерены скорости течений из Азовского моря в Черное, а также из Черного в Азовское (рис. 4). Измеритель течений устанавливали на двух горизонтах – на 0,5–1 м ниже корпуса судна, чтобы исключить завихрения, и на 0,5–1 м выше дна. Построенная диаграмма распределения меридиональной и зональной составляющих скорости показывает наличие достаточно интенсивной струи, направленной вдоль южного побережья Азовского моря, в западном направлении. Меридиональная составляющая по сравнению с зональной сравнительно невелика и достигает всего 3 см/с, но движение водного потока через Керченский пролив на север зафиксировано на всех станциях, кроме двух крайних (рис. 4). Важно отметить, что на станции с максимальными скоростями северной составляющей скорость восточной компоненты также максимальна, и она достигает 16 см/с. Полученные данные позволяют оценить объемы воды,двигающиеся в северном направлении: с учетом того, что в верхней трети толщи вод измерения не проводились, расходы меридиональной составляющей течений на север составили 192 м³/с. До момента измерений в продолжение недели дул сильный восточный ветер со скоростью более 10 м/с, за трое суток до измерений ветер стих до 4–5 м/с, направление изменилось на северное. Непосредственно во время измерений наблюдался ветер западной составляющей со скоростью до 5 м/с.

Через год после половодья, 15 апреля 2019 г., было проведено повторное исследование структуры течений через Керченский пролив со стороны Азовского моря. Измеритель течений устанавливали на горизонтах через 2–3 м на каждой станции, благодаря чему была получена более детальная схема движения вод (рис. 5). Практически на всей плоскости разреза зафиксирован перенос вод в северном направлении, с максимумом более 30 см/с на восточной стороне разреза, со стороны Таманского полуострова. Только на крайней западной станции, на горизонтах от 4 м и до дна, наблюдалось сла-

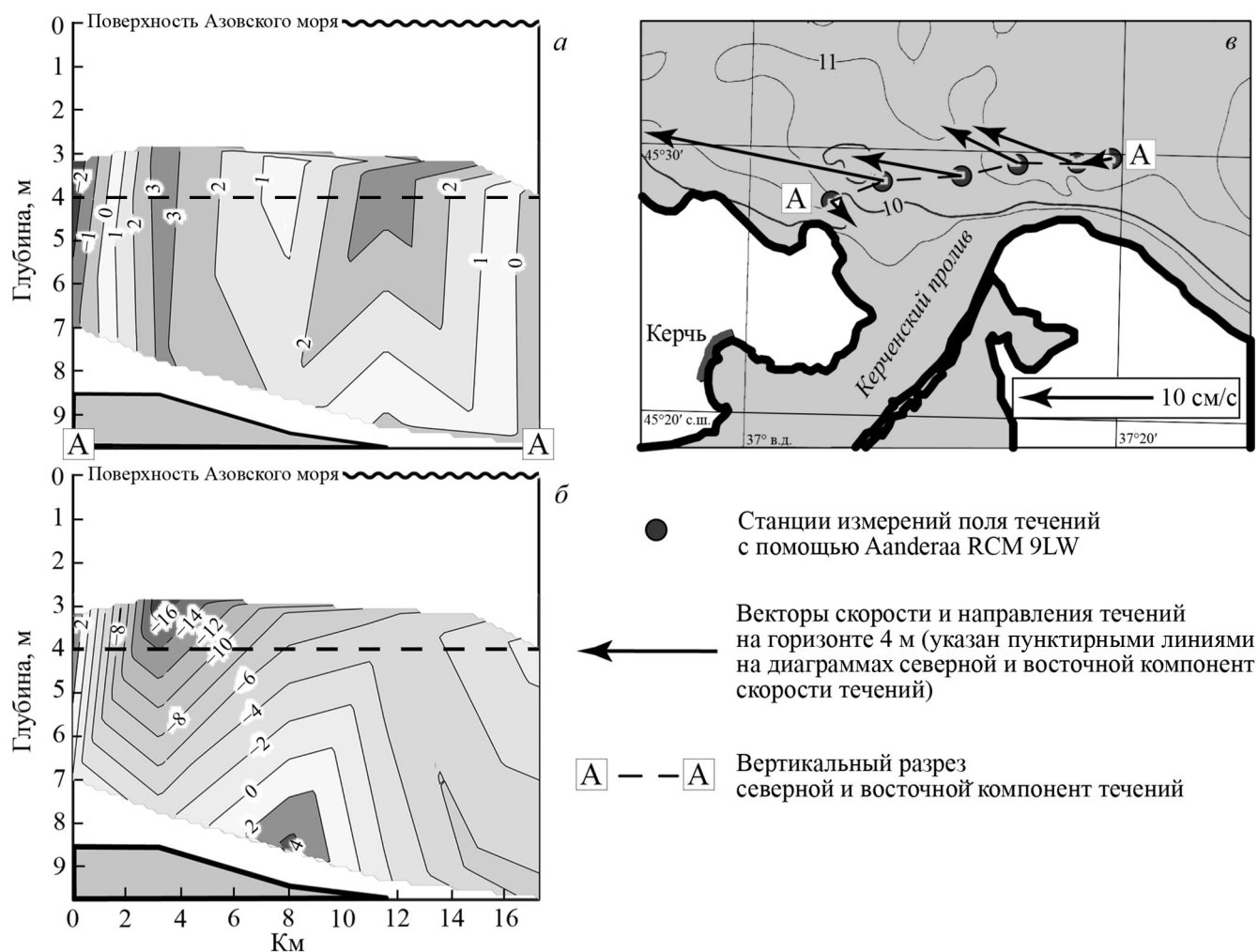


Рис. 4. Структура течений в районе Керченского пролива 25–26 ноября 2018 г.: а – северная компонента течений (см/с); б – восточная компонента течений (см/с); в – векторы течений на горизонте 4 м.

Fig. 4. The structure of currents in the Kerch Strait area on November 25–26, 2018: а – northern component of currents (cm/s); б – eastern component of currents (cm/s); в – velocity vectors on the horizon 4 m.

бое, менее 2 см/с, течение в южном направлении – в сторону Черного моря. Распределение скоростей восточной составляющей более сложное: при глубине пролива всего в 10–11 м зафиксирована трех-слойная структура течений. Скорость восточной компоненты течений от поверхности до глубины 4 м достигает максимума в 28 см/с, от горизонта 4 м и практически до дна зональная составляющая имеет максимальную скорость более 26 см/с, и, наконец, у дна, на двух станциях с восточной стороны обнаружен слабый перенос компоненты запад со скоростью 2–4 см/с. Рассчитанные на основе проведенных измерений расходы меридиональной компоненты течений на север достигли 1710 м³/с. Во время измерений господствовал сильный юго-юго-западный ветер со скоростью 10–14 м/с.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдения показывают, что одного высокого половодья недостаточно для вытеснения соленых вод и распреснения Азовского моря. В эстуарном Таганрогском заливе наблюдаются мощные фронты температуры и солёности, которые меняют свое местоположение в значительно более широких пределах, чем в маловодные периоды, когда пресные воды прижаты практически к устью Дона. Во время майской экспедиции 2018 г. зоны смешения пресных речных, более мутных, и морских, более прозрачных вод наблюдались визуально в районе Беглицкой косы, что по сравнению с предыдущими 15 годами исследований достаточно далеко от устья Дона.

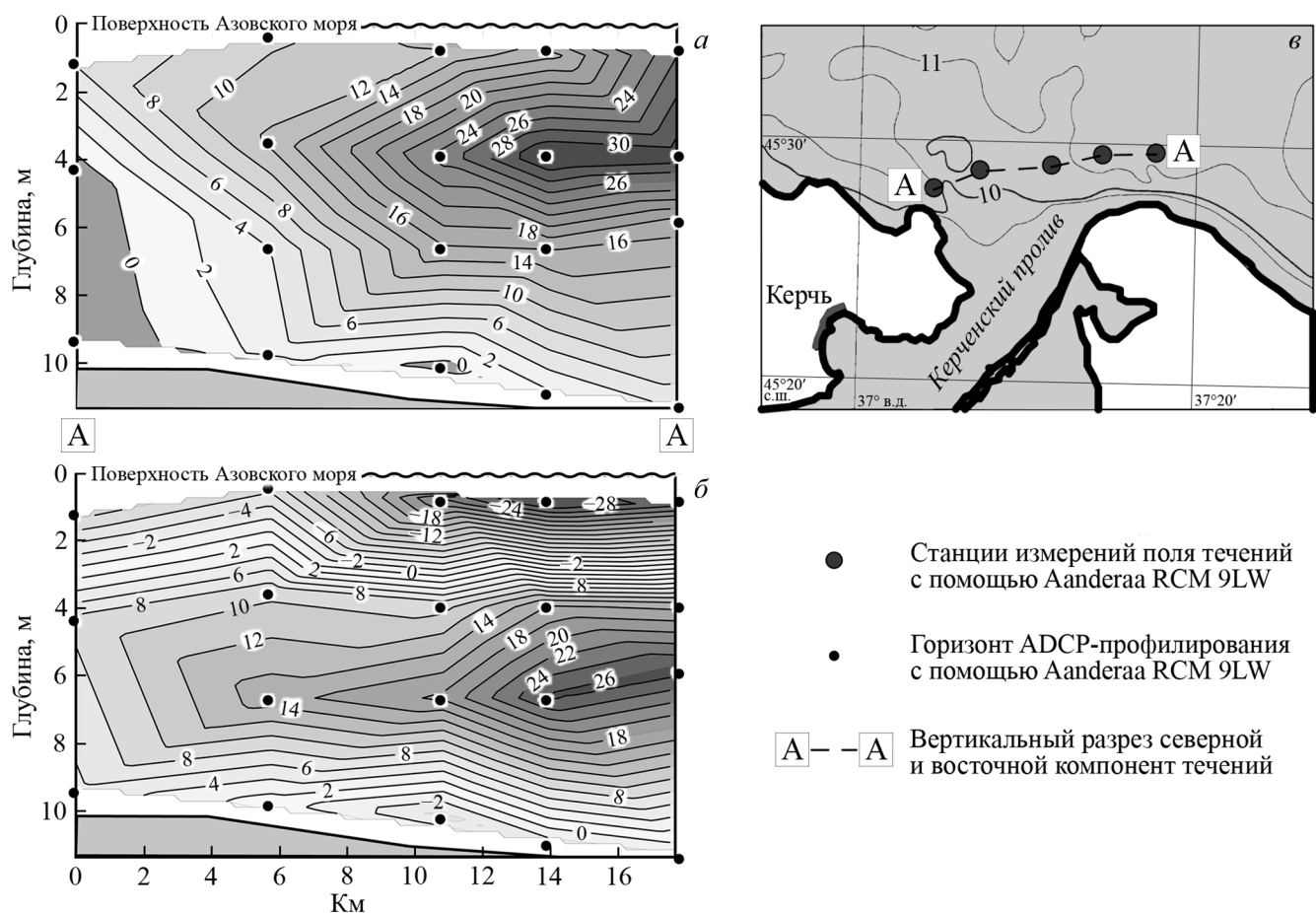


Рис. 5. Структура течений в районе Керченского пролива 15 апреля 2019 г.: *а* – северная компонента течений (см/с); *б* – восточная компонента течений (см/с); *в* – схема расположения разреза измерения течений.

Fig. 5. The structure of currents in the Kerch Strait area on April 15, 2019: *a* – northern component of currents (cm/s); *б* – eastern component of currents (cm/s); *в* – stream measurement cross-section.

С точки зрения водного баланса Дона 2018 г. был аномальным, в 2019 г. половодье практически не наблюдалось и продолжилась тенденция к падению максимальных расходов воды в течение года и росту меженных, также сохраняется низкий годовой сток, поэтому на сегодняшний день рано говорить об окончании маловодного периода.

В сложившихся климатических условиях логично ожидать продолжения перестроения динамики вод Таганрогского залива, поскольку соленые воды будут оттеснять пресные речные, фронты солёности будут формироваться ближе к речному устью, а мезомасштабные вихри распресненных вод между косами Ейской и Должанской должны неминуемо уменьшаться в размерах и градиентах температуры и солёности.

По причине интенсивного судоходства проводить океанографические исследования в Керченском проливе затруднительно. Район возможных

исследований ограничен якорными стоянками судов с южной и северной сторон пролива, в пределах которых невозможно выполнить измерение течений в створе пролива, в отличие от исследований, приведенных в работе [7], что затрудняет сравнение результатов. При этом даже в таких условиях были проведены инструментальные измерения и получены данные о скоростях и масштабах течения из Черного моря, которые демонстрируют, что в северной части Керченского пролива на глубинах более 1–2 м практически полностью доминирует перенос вод в Азовское море, восполняющий понижение стока Дона в 2007–2019 гг. Полученные расходы вод, перемещающиеся через Керченский пролив в Азовское море, позволяют оценить размеры годового притока черноморских вод. Средний от измеренного во время двух экспедиций расход составляет 951 м³/с, что при пересчете равно годовому заток в 29,99 км³, и это значение хорошо

соответствует оценке, приведенной в работе [8]. Большой разброс значений расходов, полученных по результатам двух экспедиций (почти в 10 раз), связан с первостепенной зависимостью динамики течений Керченского пролива и Азовского моря от направления и силы ветра: в ноябре наблюдалась тихая погода, поле течений перестраивалось после перемены восточного ветра на слабый западный, тогда как через полгода, в апреле, работы проводились во время действия мощного подпора черноморских вод, вызванных сильным южным ветром. Кроме этого, станции наблюдений распо-

ложены вне Керченского пролива – на южной границе Азовского моря, примыкающей к проливу, и не охватывают потоки, которые могут перемещаться вдоль берегов Керченского и Таманского полуостровов.

Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания 0256-2019-0028 № гр. АААА-А18-118122790121-5 «Морские биогеосистемы юга России и их водосборы в условиях аридного климата, хозяйственного освоения и современных геополитических вызовов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том V. Азовское море. 1991. СПб., Гидрометеоздат: 236 с.
2. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г. 2009. Новые представления циркуляции вод Азовского моря. В кн.: *Труды Южного научного центра Российской академии наук. Том 4: Моделирование и анализ гидрологических процессов в Азовском море*. Ростов н/Д, изд-во ЮНЦ РАН: 196–203.
3. Михайлов В.Н., Горин С.Л., Михайлова М.В. 2009. Новый подход к определению и типизации эстуариев. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 5: 3–11.
4. Матишов Г.Г., Григоренко К.С. 2017. Причины осолонения Таганрогского залива. *Доклады Академии наук*. 477(1): 92–96. doi: 10.7868/S086956521731019X
5. Матишов Г.Г. 2016. *Климат, водные ресурсы и реконструкция гидротехнических сооружений с учетом интересов населения, рыболовства и сельского хозяйства, судоходства и энергетики*. Ростов н/Д, изд-во ЮНЦ РАН: 64 с.
6. Дашкевич Л.В., Бердников С.В., Кулыгин В.В. 2017. Многолетнее изменение средней солености Азовского моря. *Водные ресурсы*. 44(5): 563–572. doi: 10.7868/S0321059617040046
7. Лемешко Е.М., Морозов А.Н., Федоров С.В. 2016. Исследования течений в Керченском проливе по данным акустического доплеровского профилометра течений (ADCP). В кн.: *Экология. Экономика. Информатика. Азовское море, Керченский пролив и предпроливные зоны в Черном море: проблемы управления прибрежными территориями для обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования. Сборник материалов III Всероссийской конференции (пос. Дюрсо Краснодарского края, 11–17 сентября 2016 г.)*. Ростов н/Д, изд-во Южного федерального университета: 213–228 с.
8. Матишов Г.Г., Григоренко К.С., Московец А.Ю. 2017. Механизмы осолонения Таганрогского залива в условиях экстремально низкого стока Дона. *Наука Юга России*. 13(1): 35–43. doi: 10.23885/2500-0640-2017-13-1-35-43

REFERENCES

1. *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morey SSSR. Tom V. Azovskoe more*. [Hydrometeorology and Hydrochemistry of the Seas of the USSR. Volume V. Azov Sea]. St Petersburg, Gidrometeoizdat: 236 p. (In Russian).

2. Matishov G.G., Matishov D.G. 2009. [New principles of idea of the Sea of Azov water's circulation]. In: *Trudy Yuzhnogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. Tom 4: Modelirovanie i analiz gidrologicheskikh protsessov v Azovskom more*. [Studies of the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences. Issue IV: Modelling and analysis of hydrological processes in the Sea of Azov]. Rostov-on-Don, Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences Publ.: 196–203. (In Russian).
3. Mikhailov V.N., Gorin S.L., Mikhailova M.V. 2009. [New approach to the definition of estuaries and their typology]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 5: 3–11. (In Russian).
4. Matishov G.G., Grigorenko K.S. 2017. Causes of salinization of the Gulf of Taganrog. *Doklady Earth Sciences*. 477(1): 1313–1315. doi: 10.1134/S1028334X17110034
5. Matishov G.G. 2016. *Klimat, vodnye resursy i rekonstruktsiya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy s uchetom interesov naseleniya, rybolovstva i sel'skogo khozyaystva, sudokhodstva i energetiki*. [Climate, water resources and reconstruction of hydraulic structures, taking into account interests of the population, fisheries and agriculture, shipping and energy]. Rostov-on-Don, Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences Publ.: 64 p. (In Russian).
6. Dashkevich L.V., Berdnikov S.V., Kulygin V.V. 2017. Many-year variations of the average salinity of the Sea of Azov. *Water Resources*. 44(5): 749–757. doi: 10.1134/S0097807817040042
7. Lemeshko E.M., Morozov A.N., Fedorov S.V. 2016. [Investigation of the currents in the Kerch Strait on acoustic Doppler profiler (ADCP)]. In: *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Azovskoe more, Kerchenskiy proliv i predprolivnye zony v Chernom more: problemy upravleniya pribrezhnymi territoriyami dlya obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti i ratsional'nogo prirodopol'zovaniya. Sbornik materialov III Vserossiyskoy konferentsii*. [Ecology. Economy. Informatics. The Sea of Azov, the Kerch Strait and near-strait zones in the Black Sea: the problems of management of coastal territories to ensure ecological safety and sustainable nature exploitation. Collection of materials of the III All-Russian Conference (Dyurso vill., Krasnodar Region, Russia, 11–17 September 2016)]. Rostov-on-Don, Southern Federal University: 213–228. (In Russian).
8. Matishov G.G., Grigorenko K.S., Moskovets A.Yu. 2017. [The salinization mechanisms in the Taganrog Bay under the conditions of the Don River extremely low runoff]. *Nauka Yuga Rossii*. 13(1): 35–43. (In Russian). doi: 10.23885/2500-0640-2017-13-1-35-43

Поступила 28.06.2019