

Научная статья

УДК 551.46.0+551.468.1+519.688
EDN: UEZOCE

Численное исследование гидродинамического режима вод Таганрогского залива Азовского моря

Б. В. Дивинский

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия
✉ divin@ocean.ru

Поступила в редакцию 13.05.2024; одобрена после рецензирования 20.05.2024;
принята к публикации 17.07.2024.

Аннотация

Цель. Исследованы гидродинамические условия формирования песчаных кос Таганрогского залива Азовского моря с точки зрения морфологических особенностей кос.

Методы и результаты. Анализ проведен на основе результатов численного моделирования гидродинамических параметров всего Азовского моря за 42 года – с 1979 по 2020 г. Сформированный массив данных состоит из ежечасных пространственных полей скоростей и направлений придонных течений, а также значительных высот и направлений распространения ветровых волн. Установлены существенные различия в гидродинамическом режиме в районах песчаных кос северного (Белосарайская, Кривая) и южного (Очаковская, Чумбурская, Сазальникская, Ейская) побережий.

Выводы. В прибрежных водах Белосарайской и Кривой кос преобладает повторяемость течений с востока. Для Беглицкой (северное побережье), Очаковской и Сазальникской (южное побережье) кос характерно доминирование течений западных направлений. В районе Белосарайской и Кривой кос среднегодовое значения скоростей течений восточных потоков незначительно превосходят скорости течений западных направлений. В районе косы северного побережья Беглицкой, а также кос Очаковской, Чумбурской, Сазальникской и Ейской южной части залива заметно доминирование течений с запада, причем как по средним скоростям, так и по максимальным. В прибрежных водах Белосарайской и Кривой кос высоты волн восточных направлений несколько превосходят как по средним, так и по максимальным показателям высоты при волнении западных румбов. Косы Беглицкая, Очаковская, Чумбурская, Сазальникская и Ейская испытывают в среднем доминирование волнения западного направления, но волнение с максимальными высотами волн развивается при восточных штормах.

Ключевые слова: Азовское море, песчаные косы, гидродинамические условия, численное моделирование

Благодарности: работа выполнена в соответствии с темой госзадания ИО РАН (№ FMWE-2024-0027).

Для цитирования: Дивинский Б. В. Численное исследование гидродинамического режима вод Таганрогского залива Азовского моря // Морской гидрофизический журнал. 2024. Т. 40, № 5. С. 738–751. EDN UEZOCE.

Numerical Study of Hydrodynamic Regime of the Taganrog Bay Waters in the Sea of Azov

B. V. Divinsky

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
✉ divin@ocean.ru

Abstract

Purpose. The work is aimed at studying the hydrodynamic conditions of formation of the sand spits in Taganrog Bay of the Azov Sea from the viewpoint of the morphological features of spits.

Methods and Results. The analysis is based on the results of numerical modeling the hydrodynamic parameters of the entire Azov Sea over 42 years, from 1979 to 2020. The generated data array consists of the hourly spatial fields of bottom current velocities and directions, as well as the wind wave significant heights and directions of their propagation. A significant difference between the sand spit hydrodynamic regimes of the northern (Belosarayskaya and Krivaya spits) and southern (Ochakovskaya, Chumburskaya, Sazalnikskaya and Yeyskaya ones) coasts has been established.

Conclusions. In the coastal waters of the Belosarayskaya and Krivaya spits (the northern coast), the frequency of currents from the east prevails. The Beglitskaya (the northern coast), Ochakovskaya and Sazalnikskaya (the southern coast) spits are characterized by the predominance of currents from the west. In the region of the Belosarayskaya and Krivaya spits, the long-term mean velocities of the currents directed to the east are slightly higher than those of the currents directed to the west. In the areas of the Beglitskaya spit (the northern coast), as well as the Ochakovskaya, Chumburskaya, Sazalnikskaya and Yeyskaya spits in the southern part of the bay, the eastward directed currents dominate noticeably, both in terms of mean and maximum speeds. In the coastal waters of the Belosarayskaya and Krivaya spits, both the mean and maximum heights of the waves propagating to the east slightly exceed those of the waves propagating to the west. As for the Beglitskaya, Ochakovskaya, Chumburskaya, Sazalnikskaya and Yeyskaya spits, the dominating westward direction of wave propagation is, on average, a characteristic feature, whereas the waves of maximum heights develop during the eastern storms.

Keywords: Sea of Azov, sand spits, hydrodynamic conditions, numerical modeling

Acknowledgements: The work was carried out in accordance with the theme of state assignment of IO RAS (No. FMWE-2024-0027).

For citation: Divinsky, B.V., 2024. Numerical Study of Hydrodynamic Regime of the Taganrog Bay Waters in the Sea of Azov. *Physical Oceanography*, 31(5), pp. 694-706.

Введение

Таганрогский залив расположен в северо-восточной части Азовского моря. Длина залива составляет 135 км, характерная ширина – 30 км. По отношению к основной акватории Азовского моря Таганрогский залив довольно мелководен; средняя глубина ~ 5 м [1]. Характерными геоморфологическими формами прибрежной зоны залива, как, впрочем, и всего моря, являются песчаные косы (рис. 1).



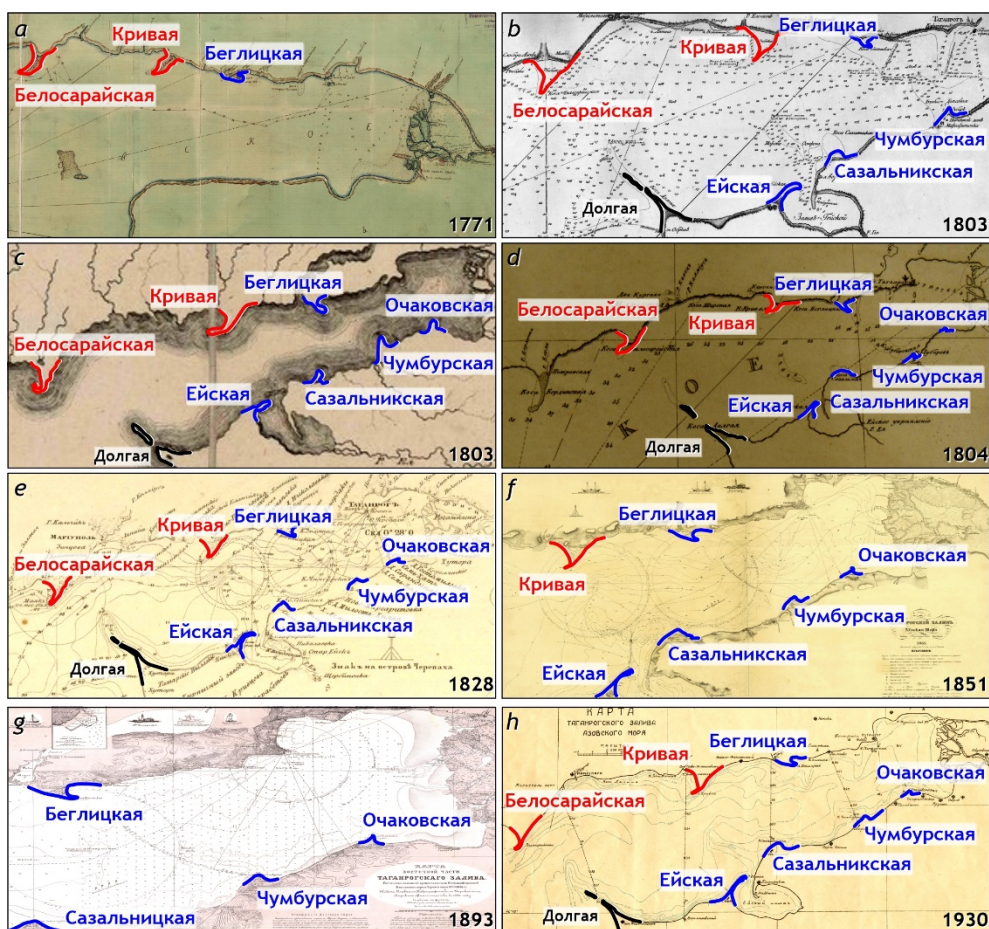
Р и с. 1. Батиметрическая карта и морфометрические особенности Таганрогского залива Азовского моря (*сверху*); примеры кардинальной перестройки кос (*снизу*)

Fig. 1. Bathymetry map and morphometric features of Taganrog Bay in the Sea of Azov (*on the top*); examples of radical reshaping of spits (*on the bottom*)

На северном побережье наиболее развиты, значительно выдвинуты в открытое море косы Белосарайская, Кривая и Беглицкая. При этом генеральное направление Белосарайской и Кривой кос – с востока на запад, Беглицкой – обратное. В южной части залива косы Очаковская, Чумбурская, Сазальникская и Ейская морфометрически направлены с запада на восток, при этом сами оконечности всех кос, кроме Ейской, временами могут простираться и в обратном направлении. Также с востока на запад направлены подводные продолжения этих кос, хорошо прослеживаемые изобатой 2 м на рис. 1. Дистальная часть косы Долгой, непосредственно ограничивающей с южной стороны Таганрогский залив, в зависимости от гидродинамических условий выгибается то в сторону залива, то в сторону открытого моря.

Отметим, что подобная картина наблюдалась и в прошлом (рис. 2). Красным цветом на рис. 2 выделены косы, направленные с востока на запад, синим – с запада на восток. На каждой карте приведен соответствующий год издания.

Рисунок 2 наглядно демонстрирует, что указанные выше особенности морфологического облика Таганрогского залива являются устойчивыми по крайней мере последние 250 лет.



Р и с. 2. Исторические карты Таганрогского залива (источник: интернет-архивы papacoma.narod.ru; www.etomesto.ru)
F i g. 2. Historical maps of Taganrog Bay (source: internet archives papacoma.narod.ru; www.etomesto.ru)

Пространственные положения основных кос Таганрогского залива (исключая косу Долгую) сведены в таблице.

Генеральные направления кос Таганрогского залива General directions of the spits in Taganrog Bay

Побережье / Coast	Коса / Spit	Направление / Direction
Северное / Northern	Белосарайская / Belosarayskaya	В-З / E-W
	Кривая / Krivaya	В-З / E-W
	Беглицкая / Beglitskaya	З-В / W-E
Южное / Southern	Очаковская * / Ochakovskaya *	З-В / W-E
	Чумбурская * / Chumburskaya *	З-В / W-E
	Сазальническая * / Sazalnikskaya *	З-В / W-E

* Направление оконечности В-З, З-В. /

* Direction of extremity E-W, W-E.

Еще раз укажем, что, за исключением косы Беглицкой, песчаные косы **северной** части Таганрогского залива (Белосарайская и Кривая) ориентированы **с востока на запад**. Косы **южного** побережья (Очаковская, Чумбурская, Сазальникская, Ейская), а также Беглицкая коса северного побережья, направлены в обратную сторону – с **запада на восток**. Итак, как следует из рис. 1, 2, в развитии кос северного и южного побережий залива обнаруживаются определенные закономерности, исследования которых и составляют предмет настоящей работы.

Формирование и трансформация песчаных кос происходят под влиянием морфологических (условия залегания коренных пород, гранулометрический состав осадков, наличие/отсутствие подпитки пляжей) и гидродинамических (морские течения, преобладающее ветровое волнение, уровень моря) факторов. Морфо- и литодинамические особенности песчаных кос Таганрогского залива достаточно хорошо изучены. Обобщая результаты многочисленных исследований [2–8], отметим, что косы сложены в основном мелкозернистыми песками и крупными алевритами, которые с глубиной замещаются алевритовыми илами. Подводные основания кос, прослеживаемые до глубин ~ 3–4 м, состоят из песков с примесью ракуши и детрита. В целом, согласно работе [3], абразионные склоны северного и южного побережий залива обладают типологическим сходством.

Наиболее изученными гидродинамическими характеристиками вод Таганрогского залива являются ветровые нагоны, что связано в немалой степени с развитой системой наблюдений за уровнем моря на многочисленных гидрологических постах вдоль всего побережья Азовского моря [9–13]. Основная особенность залива – значительная амплитуда сгонно-нагонных явлений. К примеру, в Таганроге за период с 1882 по 1998 г. размах колебаний уровня моря составляет более 6 м [14].

Режим ветрового волнения Таганрогского залива (как части Азовского моря) подробно исследован в работах [15–17], в которых приведены климатические оценки основных параметров ветровых волн (высот, периодов, длин) на акватории всего Азовского моря. К сожалению, при анализе не учитывался ледовый покров, частично или полностью (что зависит от суровости атмосферных условий) покрывающий акваторию моря примерно с ноября по март. Присутствие льда непосредственно влияет на условия развития и трансформации ветрового волнения.

Параметры морских течений на акватории Таганрогского залива, полученные расчетным путем, проанализированы в нескольких научных пособиях [6, 15]. При этом основной недостаток данных заключается в том, что поля течений соответствуют только заданным направлениям и определенным градиентам скорости ветра, другими словами, о климатических оценках характеристик течений речи не идет.

Итак, в предположении определенного морфологического сходства песчаных кос Таганрогского залива определим задачи настоящей работы:

- детально проанализировать гидродинамический режим вод Таганрогского залива;

– выявить возможные факторы, определяющие генеральную ориентацию кос северного побережья залива с востока на запад и южного – в обратном направлении, с запада на восток;

– предложить ответ на вопрос «Почему коса Беглицкая северного побережья не следует общему правилу и направлена с запада на восток?».

Кстати, в свое время еще известный советский исследователь В. П. Зенкович¹ отмечал, что косы Кривая и Беглицкая повернуты друг относительно друга «ровно на 90°» (реально несколько больше), но не задавался вопросом о причинах этого.

Основной метод исследований – математическое моделирование.

Материалы и методы

Ключевыми факторами, определяющими гидродинамический режим акватории Таганрогского залива, являются морские течения, ветровое волнение, а также изменения уровня моря, вызванные штормовыми нагонами и сейшевыми колебаниями. В условиях мелководья эти факторы сильно взаимосвязаны. Повышение уровня трансформирует поля течений и волнения. Обрушение штормовых волн посредством радиационных напряжений корректирует величину и направление течений и, кроме того, увеличивает высоту нагонов. Картину усложняет возможное присутствие льда на акватории. С точки зрения моделирования протекающих гидродинамических процессов это означает, что раздельный расчет параметров течений, волнения и уровня является не совсем правильным. Более корректным является анализ всех процессов в рамках объединенной модели. Подобный метод реализован в более ранней работе автора [18] по исследованию гидродинамического режима всего Азовского моря с использованием следующих подходов:

1. Морские течения рассчитываются с помощью 5-слойной σ -координатной трехмерной модели ADCIRC, основанной на решении уравнений мелкой воды. Различные модификации модели хорошо себя зарекомендовали при исследованиях, в частности, экстремальных штормовых нагонов в Азовском море (например, в работе [9]).

2. Параметры ветрового волнения рассчитываются с использованием спектральной волновой модели *MIKE 21 SW* Датского гидравлического института, успешно применяемой для условий Азовского и Черного морей [19].

3. Необходимые для моделирования поля атмосферного давления, компонентов приземного ветра и концентрации льда выбираются из базы данных глобального атмосферного реанализа *ERA5*. Шаг по времени – 3 ч для полей атмосферного давления и ветра, одни сутки – для полей концентрации льда.

4. Расчетная сетка сформирована на основе современной батиметрической карты Азовского моря [6].

5. Объединение моделей, учитывающее взаимодействие течений и волнения, осуществляется следующим образом: определяемые в гидродинамической модели возвышение уровня и параметры течений используются в спек-

¹ Зенкович В. П. Берега Черного и Азовского морей. М. : Географгиз, 1958. С. 164.
МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ том 40 № 5 2024

тральной волновой модели при расчетах параметров ветрового волнения; радиационные напряжения, генерируемые процессами обрушения волн и рассчитываемые волновой моделью, корректируют параметры течений.

Объединенная модель верифицирована с привлечением доступных экспериментальных данных по параметрам морских течений, ветрового волнения и уровня моря. Данные включают в себя результаты измерений, выполненные с помощью специализированных приборов (мареографов, *RDI ADCP*, зонда «Вектор-2»), а также спутниковые наблюдения.

В результате проведенных расчетов сформирована база данных ежечасных пространственных полей параметров течений и ветрового волнения, покрывающих всю акваторию Азовского моря, включая Таганрогский залив. Расчетный период – 42 года, с января 1979 по декабрь 2020 г.

Результаты и обсуждение

Вначале приведем несколько замечаний, уточняющих особенности используемого подхода к анализу гидродинамического воздействия на прибрежную зону:

1. Используются данные о характеристиках морских течений и ветрового волнения. Колебания уровня моря, точнее, штормовые нагоны, отдельно не рассматриваются, поскольку в процессе нагонов трансформируются как поля течений, так и волнения, уже непосредственно влияющие на деформации морского дна и береговой линии.

2. Применение трехмерной гидродинамической модели дает возможность анализировать именно придонные течения, ответственные за первоначальное взвешивание и перераспределение донного материала в прибрежной зоне моря.



Р и с. 3. Розы придонных течений (%) за 1979–2020 гг.

F i g. 3. Roses of bottom currents (%) in 1979–2020

На рис. 3 и 4 приведены соответственно розы придонных течений и ветрового волнения (в терминах значительных высот волн) в нескольких точках ак-

ватории Таганрогского залива. Поскольку в климатическом выражении преобладают относительно слабые течения и волнение, в данных, использованных для построения рис. 3, 4, не учитывались скорости течений меньше 0,1 м/с и высоты волн меньше 0,1 м. Повторяемости по скоростям течений или высотам волн и направлениям представлены для трех кос северного побережья (Белосарайской, Кривой, Беглицкой) и пяти – южного (Очаковской, Чумбурской, Сазальникской, Ейской, Долгой).



Р и с. 4. Розы ветрового волнения (%) за 1979–2020 гг.
F i g. 4. Roses of wind waves (%) in 1979–2020

Как показывают данные рис. 3, в прибрежных водах Белосарайской и Кривой кос повторяемость северо-восточных придонных течений в полтора раза превышает повторяемость юго-западных. Для Беглицкой косы характерно абсолютное доминирование (почти 80 %) западных течений. В районе Очаковской косы течения (напомним: со скоростями, превышающими 0,1 м/с) почти всегда направлены с запада на восток. В водах, омывающих Чумбурскую косу, повторяемость восточных течений несколько выше, чем юго-западных (55 и 38 % соответственно), но сильные течения со скоростями больше 0,2 м/с наблюдаются именно при течениях юго-западного сектора. Аналогичная картина характерна и для Ейской косы (60 % – восточные течения, 40 % – западные). К тому же на Ейской косе довольно высока повторяемость крайне сильных (более 0,25 м/с) западных течений, составляющая почти 5 %. В районе Сазальникской косы в 50 % случаев наблюдаются западные течения, в 30 % – восточные. Для косы Долгой характерно преобладание восточных течений (58 %); сильные течения могут формироваться как со стороны открытого моря, так и со стороны залива.

Степень развития ветрового волнения зависит от множества факторов: силы, устойчивости по направлению и времени действия ветрового потока, длины разгона, батиметрических особенностей. В нашем случае наиболее сильное ветровое волнение проявляется на входе в Таганрогский залив, а также в районе косы Беглицкой (рис. 4).

Волновой режим Белосарайской косы определяет волнение восточных (33 %), юго-западных (23 %) и южных (21 %) направлений. Для косы Кривой характерно доминирование волнения восточных (45 %) и юго-западных (31 %) румбов. В отличие от Белосарайской и Кривой, третья коса северного побережья, Беглицкая, испытывает преобладающее влияние штормов юго-западного направления. Очаковская коса, в силу своего положения и мелководности прибрежной зоны, наиболее защищена от сильного волнения; волны северо-восточного направления вносят наибольший вклад в формирование волнового режима. Для трех следующих кос южного побережья залива (Чумбурской, Сазальникской и Ейской) преобладает влияние северо-восточного волнения, но при этом наиболее сильные штормы приходят, как правило, с запада. В районе косы Долгой интенсивное волнение возможно практически со всех направлений, исключая, очевидно, южные и юго-восточные секторы.

Дополним картину некоторыми статистическими характеристиками значительных высот волн и скоростей придонных течений. На рис. 5, 6 приведены «ящики с усами» распределений соответственно высот волн и скоростей течений, включающие минимальные, максимальные и средние значения параметров, а также 5- и 95-процентные квантили распределений. Распределения построены отдельно для вдольбереговых течений, направленных условно с запада на восток (синие «ящики»), и обратных течений с востока на запад (красные). Для высот волн данные статистики аналогичны с тем лишь отличием, что сектор волнения («запад» или «восток») определяется по отношению к нормали к береговой линии.

Ветровое волнение наиболее развито в проливе и на северо-западном побережье залива (рис. 5).



Рис. 5. Статистические характеристики распределений значительных высот волн (м) за 1979–2020 гг.

Fig. 5. Statistical characteristics of the distributions of significant wave heights (m) in 1979–2020

В прибрежных водах Белосарайской и Кривой кос высоты волн восточных направлений несколько превосходят как по средним, так и по максимальным показателям высоты волн при волнении западных румбов. Косы Беглицкая,

Очаковская, Чумбурская, Сазальникская и Ейская подвержены сравнительно более слабому волнению. Для этих кос наблюдается в среднем доминирование волнения западного направления, но волнение с максимальными высотами волн развивается при восточных штормах. У косы Долгой складывается обратная ситуация: средняя высота волн у волнения восточных направлений превосходит среднюю высоту, характерную для западного волнения, но максимальные волны развиваются в штормах, приходящих с запада, со стороны открытого моря.

Наиболее сильные придонные течения с максимальными скоростями $\sim 0,8$ м/с образуются в западной части залива (рис. 6).



Р и с. 6. Статистические характеристики распределений скоростей придонных течений (м/с) за 1979–2020 гг.

F i g. 6. Statistical characteristics of the distributions of bottom current velocities (m/s) in 1979–2020

В прибрежных водах Белосарайской и Кривой кос западные и восточные потоки вод практически сопоставимы по скоростям, при этом среднемноголетние значения скоростей течений восточных потоков незначительно превосходят скорости течений западных направлений. В районе косы северного побережья Беглицкой, а также кос Очаковской, Чумбурской, Сазальникской и Ейской южной части залива заметно доминирование течений с запада, причем как по средним скоростям, так и по максимальным. При этом крайне небольшое исключение составляет режим вод у Сазальникской косы, где наибольшие скорости развиваются при восточных течениях. У косы Долгой климатические средние скорости восточных и западных течений равны, но максимальные скорости потоков характерны для течений из основной акватории моря в Таганрогский залив, превышая скорости течений обратных направлений почти в полтора раза.

Заметим, что пространственное положение Таганрогского залива, а именно вытянутость по линии ЗЮЗ – ВСВ, соответствует направлениям преобладающих ветров над акваторией залива, что способствует развитию сгонно-нагонных явлений, во многом определяющих циркуляцию вод. На рис. 7 в качестве примера представлены схематические карты, отображающие магнитуду

и направление придонных течений во время прохождения сильного ЮЗ шторма (*a*); ослабления ЮЗ шторма (*b*); развития СВ ветра (*c*); ослабления СВ ветра (*d*).

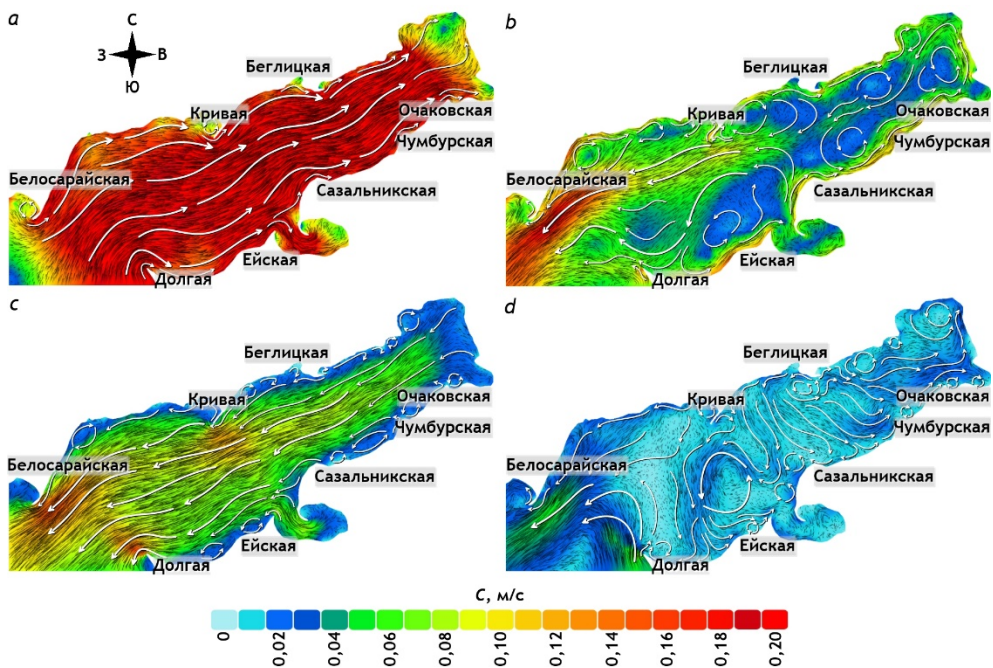


Рис. 7. Поля скоростей (м/с) придонных течений Таганрогского залива в условиях: *a* – сильного ЮЗ ветра; *b* – ослабления ЮЗ ветра; *c* – сильного СВ ветра; *d* – ослабления СВ ветра

Fig. 7. Velocity fields (m/s) of bottom currents in Taganrog Bay under conditions of: *a* – strong SW wind; *b* – weakening of SW wind; *c* – strong NE wind; *d* – weakening of NE wind

Как следует из рис. 7, *a*, во время прохождения ЮЗ шторма на всей акватории залива устанавливается однородное по направлению придонное течение с ЮЗ на СВ, вызванное ветровым нагоном. В заливах между основными телами Белосарайской, а также Кривой косы и материком образуются небольшие циклонические завихрения, вызывающие движение вод обратного направления. С ослаблением ЮЗ ветра (рис. 7, *b*) ветровой нагон уступает место сгону, при этом циркуляция в заливе существенно перестраивается. Районы Белосарайской, Кривой и Долгой кос находятся под влиянием течений, направленных с СВ на ЮЗ, Беглицкой, Очаковской, Чумбурской, Сазальникской и Ейской – обратных, с ЮЗ на СВ. Развитие СВ ветра (рис. 7, *c*) у Белосарайской, Кривой, Сазальникской, Ейской и Долгой кос формирует вдольбереговой поток, направленный в сторону открытого моря. В этой же ситуации у Беглицкой косы образуется локальная циркуляция вод: у западной части косы поток направлен на ЮЗ, у восточной – на СВ. В прибрежной зоне Очаковской и Чумбурской кос вдольбереговой поток ориентирован на СВ. Затухание СВ ветра (рис. 7, *d*) приводит к ослаблению течений почти на всей акватории залива, за исключением вод пролива, где развиваются заметные потоки только у Белосарайской (направленных на ЮЗ) и Долгой (на С, СВ) кос. В прибрежных водах

остальных кос складываются местные системы течений, состоящие, как правило, из встречных слабых потоков.

Заметим, что схемы, приведенные на рис. 7, служат лишь некими графическими иллюстрациями конкретных гидродинамических ситуаций и не отображают все разнообразие возможных структур течений на акватории залива. Вместе с тем рис. 7 дает представление о важной особенности придонной циркуляции вод: непосредственно в прибрежной зоне, точнее в небольших заливах между косами, могут формироваться противотечения по отношению к генеральному потоку вод в основном русле Таганрогского залива.

Выводы

Объекты нашего исследования – песчаные косы Таганрогского залива Азовского моря, вернее, особенности их пространственного положения. Генеральное направление Белосарайской и Кривой кос северного побережья – с востока на запад, Беглицкой – обратное, с запада на восток. Также с запада на восток вытянуты косы южной части залива: Очаковская, Чумбурская, Сазальникская и Ейская. Исходя из этого, возникают закономерные вопросы:

1) Какие факторы способствуют ориентации кос северного побережья залива с востока на запад и южного – в обратном направлении, с запада на восток?

2) Почему коса Беглицкая северного побережья не следует общему правилу и направлена с запада на восток?

Мы предлагаем ответы на эти вопросы с гидродинамической точки зрения, т. е. нами исследованы климатические характеристики морских течений и ветрового волнения, непосредственно влияющие на формирование и трансформацию береговой линии. Не учитываются различия кос в литодинамическом отношении, а также вполне возможное техногенное воздействие на прибрежную зону (изъятие песка, возведение защитных сооружений).

Анализ проведен на основе результатов численного моделирования гидродинамических параметров всего Азовского моря за 42 года – с 1979 по 2020 г. Сформированный массив данных состоит из ежечасных пространственных полей скоростей и направлений придонных течений, а также значительных высот и направлений распространения ветровых волн.

В результате проведенной работы установлено, что:

1. В прибрежных водах Белосарайской и Кривой кос (северное побережье) преобладает повторяемость течений с востока. Для Беглицкой (северное побережье), Очаковской и Сазальникской (южное побережье) кос характерно доминирование течений с запада. В водах, омывающих Чумбурскую и Ейскую косы (южное побережье), повторяемость восточных течений несколько выше, чем юго-западных, но сильные течения со скоростями более 0,2 м/с наблюдаются именно при течениях с запада.

2. В прибрежных водах Белосарайской и Кривой кос (северное побережье) среднемноголетние значения скоростей течений восточных потоков незначительно превосходят скорости течений западных направлений. В районе косы северного побережья Беглицкой, а также кос Очаковской, Чумбурской, Сазальникской и Ейской южной части залива заметно доминирование течений с запада, причем как по средним скоростям, так и по максимальным. При этом

небольшое исключение составляет режим вод у Сазальникской косы, где наибольшие скорости развиваются при восточных течениях.

3. В прибрежных водах Белосарайской и Кривой кос (северное побережье) высоты волн восточных направлений несколько превосходят как по средним, так и по максимальным показателям высоты при волнении западных румбов. Косы Беглицкая (северное побережье), Очаковская, Чумбурская, Сазальникская и Ейская (южное побережье) испытывают в среднем доминирование волнения западного направления, но волнение с максимальными высотами волн развивается при восточных штормах.

Таким образом, установлено существенное различие в гидродинамическом режиме песчаных кос северного (Белосарайской, Кривой) и южного (Очаковской, Чумбурской, Сазальникской, Ейской) побережий. Климатические характеристики волнения (уточним: по отношению к нормали к берегу) и течений косы Беглицкой на севере залива близки к гидродинамическому режиму кос южного берега, что и определяет, вполне вероятно, ее вытянутость с востока на запад.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таганрогский залив Азовского моря: современное состояние и проблемы природопользования / А. Е. Косолапов [и др.]. Ростов-на-Дону : Издательство Южного федерального университета, 2012. 554 с.
2. Climatic Atlas of the Sea of Azov 2006 / Eds. G. Matishov, S. Levitus. U.S. Washington, D. C. : Government Printing Office, 2006. 103 p. (NOAA Atlas NESDIS ; 59).
3. Беспалова Л. А., Беспалов А. А. Подводные ландшафты Азовского моря и их экодиагностика // Экологический вестник научных центров ЧЭС. 2006. Т. 3, № 3. С. 23–30. EDN KUAQVH.
4. Ивлиева О. В. Особенности осадконакопления в Азовском море во второй половине XX века. Ростов-на-Дону : Изд-во ЮФУ, 2009. 320 с.
5. Маев Е. Г., Мысливец В. И., Зверев А. С. Строение верхнего слоя осадков и рельеф дна Таганрогского залива Азовского моря // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2009. № 5. С. 78–82. EDN KZAPPT.
6. Экологический атлас Азовского моря / гл. ред. акад. Г. Г. Матишов. Ростов-на-Дону : Изд-во ЮНЦ РАН, 2011. 325 с.
7. Литология и биостратиграфия голоценовых отложений Азовского моря: итоги 15-летних исследований / Г. Г. Матишов [и др.] // Наука Юга России. 2019. Т. 15, № 3. С. 24–34. EDN FVZSPU. <https://doi.org/10.7868/S25000640190303>
8. Матишов Г. Г., Польшин В. В. Новые результаты по истории Азовского моря в голоцене // Доклады Академии наук. 2019. Т. 489, № 2. С. 190–194. EDN FCORGJ. <https://doi.org/10.31857/S0869-56524892190-194>
9. Фомин В. В., Полозок А. А. Технология моделирования штормовых нагонов и ветрового волнения в Азовском море на неструктурированных сетках // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, 2013. Вып. 27. С. 139–145.
10. Матишов Г. Г., Бердников С. В. Экстремальное затопление дельты Дона весной 2013 г. // Известия РАН. Серия географическая. 2015. № 1. С. 111–118. EDN TNXQHV.
11. Попов С. К., Лобов А. Л. Моделирование изменений уровня Азовского моря в 2015–2016 годах // Труды Гидрометцентра России. 2017. Вып. 364. С. 131–143. EDN YRYHWZ.

12. *Попов С. К., Лобов А. Л.* Краткосрочные прогнозы колебаний уровня Азовского моря в безледный период 2017 года // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. № 3 (369). С. 104–118. EDN VMYBYW.
13. Штормовые нагоны в Азовском море и их влияние на абразионные процессы / Л. А. Беспалова [и др.] // Труды Южного научного центра Российской академии наук. Ростов-на-Дону : ФГБУН ФИЦ ЮНЦ РАН, 2020. Т. 8. С. 111–121. EDN ENPQEV. <https://doi.org/10.23885/1993-6621-2020-8-111-121>
14. *Дьяков Н. Н., Фомин В. В.* Синоптические условия возникновения аномальных колебаний уровня Азовского моря // Научные труды УкрНИГМИ. 2002. Вып. 250. С. 332–342.
15. Атлас волнения, течений и уровня Азовского моря / под редакцией В. В. Фомина. Киев, 2012. 238 с.
16. Ветро-волновые условия прибрежной зоны Азово-Черноморского региона / В. П. Евстигнеев [и др.]. Севастополь : ИПТС, 2017. 320 с. <https://doi.org/10.33075/978-5-6040795-0-8>
17. *Yaitskaya N.* The Wave Climate of the Sea of Azov // Water. 2022. Vol. 14, iss. 4. 555. <https://doi.org/10.3390/w14040555>
18. *Дивинский Б. В., Косьян Р. Д., Фомин В. В.* Климатические поля морских течений и ветрового волнения Азовского моря // Доклады Российской Академии наук. Науки о земле. 2021. Т. 501, № 1. С. 94–107. EDN ANVNAF. <https://doi.org/10.31857/S2686739721090085>
19. *Divinsky B., Kosyan R.* Parameters of wind seas and swell in the Black Sea based on numerical modeling // Oceanologia. 2018. Vol. 60, iss. 3. P. 277–287. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2017.11.006>

Об авторе:

Дивинский Борис Васильевич, ведущий научный сотрудник, лаборатория геологии и литодинамики, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (117997, Россия, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 36), кандидат географических наук, **ORCID ID: 0000-0002-2452-1922**, **ResearcherID: C-7262-2014**, **SPIN-код: 2027-8359**, divin@ocean.ru