

Изменчивость характеристик прибрежного течения у Южного берега Крыма в 2017–2019 годах

А. С. Кузнецов*, В. В. Зима, С. В. Щербаченко

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

**e-mail: kaskasev@mail.ru*

Поступила 25.06.2020 г.; принята к публикации 10.08.2020 г.; опубликована 25.09.2020 г.

Целью работы является уточнение особенностей циркуляции прибрежных вод по данным мониторинга течений, полученным со стационарной океанографической платформы Черноморского гидрофизического подспутникового полигона Морского гидрофизического института РАН у Южного берега Крыма в 2017–2019 гг. Мониторинг выполнен по технологии измерений вертикально-распределенным от приповерхностного до придонного слоя комплексом эйлеровых векторно-осредняющих измерителей горизонтальной компоненты течений. Новые результаты сопоставлены с результатами мониторинга прибрежных течений, полученными за предыдущий период с 2008 по 2016 гг. За весь период наблюдений с 2008 по 2019 гг. среднегодовой узконаправленный поток прибрежных вод сохранял западно-юго-западное направление при стабильности своей вертикальной структуры. В 2017–2019 гг. отмечено достоверное снижение скоростей среднегодового вдольберегового течения в среднем на 10 % по всей глубине до значений 7.8 см/с на глубине 5 м и до 6.4 см/с на глубине 20 м при сохранении соответствующих характеристик бимодального распределения повторяемости направлений в исходных (неосредненных) данных. При этом интенсивность колебаний прибрежного течения с периодами 10–13 сут и менее за 12 лет достоверно осталась неизменной. При анализе вертикальной структуры обобщенных за 2017–2019 гг. спектров кинетической энергии в инерционно-гравитационном диапазоне колебаний достоверно выявлены два отдельных участка регулярных колебаний с суточным (24 ч) и локальным инерционным (около 17 ч) периодами. Полученные новые научные результаты могут быть использованы при выполнении валидационных расчетов для локальных моделей циркуляции прибрежных вод акваторий у Южного берега Крыма, в том числе при планировании мероприятий по обеспечению кризисного мониторинга прибрежного экотона моря в связи с загрязнением прибрежно-шельфовых вод.

Ключевые слова: Черноморский гидрофизический подспутниковый полигон, Южный берег Крыма, мониторинг, структура прибрежных течений, динамика прибрежных течений, спектры кинетической энергии, морские течения.

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0004 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей».

© Кузнецов А. С., Зима В. В., Щербаченко С. В., 2020



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Для цитирования: Кузнецов А. С., Зима В. В., Щербаченко С. В. Изменчивость характеристик прибрежного течения у Южного берега Крыма в 2017–2019 годах // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 3. С. 5–16. doi:10.22449/2413-5577-2020-3-5-16

Variability of Characteristics of the Coastal Current at the Southern Coast of Crimea in 2017–2019

A. S. Kuznetsov*, V. V. Zima, S. V. Shcherbachenko

Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

**e-mail: kaskasev@mail.ru*

Submitted 25.06.2020; revised 10.08.2020; published 25.09.2020

This paper aims at specifying peculiarities of the coastal water circulation according to the current monitoring data obtained at the stationary oceanographic platform of the Black Sea hydrophysical sub-satellite testing area of the MHI RAS near the Southern coast of Crimea in 2017–2019. The monitoring was performed using the technology of continuous measurements with a vertically distributed (from the surface to bottom layer) complex of Euler vector-averaging meters of the horizontal current component. The new results are matched to those of the coastal current monitoring obtained for the previous period from 2008 to 2016. For the entire observation period (2008–2019), the annual focused current of coastal waters kept the west-south-western direction, with its vertical structure remaining stable. In 2017–2019, a verifiable decrease was registered in the annual longshore current velocity, on average by 10 % throughout the depth up to 7.8 cm/s at a depth of 5 m and up to 6.4 cm/s at a depth of 20 m. Also, the relevant characteristics of bimodal distribution of direction repeatability within original (non-averaged) data remained unchanged. Further, for 12 years, the oscillation intensity of the coastal current with periods of 10–13 days or less remained reliably unchanged. While analyzing the vertical structure of averaged for 2017–2019 kinetic energy spectra in the inertial-gravitational fluctuation range, two separate regions are reliably detected of regular oscillations with daily (24 h) and local inertia (about 17 h) periods. The obtained new research results can be used while performing validation calculations of local models of the coastal water circulation in the water area of the Southern coast of Crimea. This includes also planning measures to provide crisis monitoring of the coastal ecotone of the sea due to pollution of the coastal and shelf waters.

Keywords: Black Sea hydrophysical sub-satellite testing area, Southern coast of Crimea, monitoring, coastal current structure, coastal current dynamics, kinetic energy spectra, sea currents.

Acknowledgements: the research is performed under state order on topic No. 0827-2019-0004 “Complex interdisciplinary research of oceanologic processes, which determine functioning and evolution of the Black and Azov Sea coastal ecosystems”.

For citation: Kuznetsov, A.S., Zima, V.V. and Shcherbachenko, S.V., 2020. Variability of Characteristics of the Coastal Current at the Southern Coast of Crimea in 2017–2019. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (3), pp. 5–16. doi:10.22449/2413-5577-2020-3-5-16 (in Russian).

Введение

Кардинальные различия в динамике вод прибрежно-шельфовой зоны и центральной открытой части Черного моря известны давно. Современные натурные и модельные исследования их особенностей обеспечивают получение новых научных знаний по динамике вод в этих обособленных акваториях, включая контактную зону Основного Черноморского течения (ОЧТ) как условную границу их раздела, и возможность систематизации этих знаний. Современные обобщения результатов таких целенаправленных исследований представлены в ряде работ, например [1].

В последние годы в Морском гидрофизическом институте (МГИ) РАН интенсивно ведутся спутниковые дистанционные исследования пространственно-временной субрегиональной динамики вод прибрежных акваторий у Южного берега Крыма (ЮБК), а также по соответствующим локальным моделям выполняются численные расчеты циркуляции прибрежных вод. Исследования проводятся с целью развития методологии рационального природопользования для научного обоснования возможностей устойчивого развития приморских территорий при современном темпе освоения природных ресурсов прибрежного экотона Крымского п-ова, возросших объемах выпуска сточных вод и загрязнений в море (например, [2]).

Черноморский гидрофизический подспутниковый полигон МГИ (Кацивели) основан и используется для проведения физико-климатических фундаментальных и прикладных исследований, а также для испытаний перспективных информационных технологий и образцов морской техники [3]. После введения в 1980 г. в эксплуатацию стационарной океанографической платформы полигон в Кацивели с 1983 г. технологически активно развивается как подспутниковый [4]. Новая информационная технология мониторинга прибрежных течений вертикально-распределенным комплексом векторно-осредняющих измерителей течений используется на стационарной океанографической платформе на постоянной основе [3]. По результатам обработки части натурных данных, полученных по этой технологии, сформирована и прошла государственную регистрацию база данных мониторинга прибрежных течений у ЮБК за 2008–2015 гг.¹⁾ Цель настоящей работы заключается в уточнении ранее полученных знаний и их обобщении с учетом новых выявленных особенностей динамики прибрежных течений у ЮБК.

Материалы и методы

Прибрежная зона моря (граничная зона на стыке суша – море) обычно отождествляется с понятием прибрежный экотон моря, т. е. с зоной, где природные условия обуславливают возможность появления специфических биоценозов и экосистем и наблюдается концентрирование и усиление разнообразия жизни [5]. У ЮБК прибрежный экотон Черного моря ограничен,

¹⁾ Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2019620377 Российская Федерация. База данных мониторинга динамики прибрежных течений Черного моря у Южного берега Крыма за 2008–2015 гг. по измерениям на стационарной океанографической платформе у мыса Кикинеиз / А. С. Кузнецов, В. В. Зима ; заявитель и правообладатель ФГБУН «Морской гидрофизический институт РАН». № 2019622520225 ; заявл. 12.03.19, Бюл. № 3. 1 с.

как правило, глубинами менее 50–70 м на удалении около 1 км от берега. Внешней границей шельфа для Черного моря считается положение изобаты 200 м. Шельф у ЮБК меняет свою ширину в пределах от 13 км у м. Фиолент до 28 км на траверзе м. Сарыч. Прибрежно-шельфовая зона (материковая отмель) является ландшафтной структурой, где постоянно происходит захват, концентрация и интенсивная трансформация энергии, аккумулированной водами от различных природных источников и в первую очередь от ОЧТ. Совокупность океанологических, гидрометеорологических, ортографических и других природных факторов создает в прибрежно-шельфовой зоне условия для образования гидрологических фронтов, разделов и барьерных зон. При этом формируются специфические совокупности интенсивных разномасштабных гидродинамических возмущений морской среды, вергентных и турбулентных образований. В таких условиях из-за возрастания методических и динамических погрешностей измерений существенно снижается точность и статистическая достоверность всех традиционных методов измерений течений. Использование в шельфовой зоне современных океанологических аппаратурных комплексов и соответствующих методов измерений позволяет устранять вклад таких погрешностей при проведении комплексных натурных экспериментов по исследованиям мезо- и мелко-масштабных вихревых образований и внутреннего волнения в инерционно-гравитационном диапазоне изменчивости (например, [6, 7]). Из-за малости глубин прибрежных зон существенный вклад в искажения вертикальной структуры течений вносят гидродинамические процессы и явления, возникающие в поверхностном и придонном пограничных слоях при трехмерной сдвиговой циркуляции вод по всей глубине. В качестве технического средства контроля динамики локальных прибрежных течений использован кластер эйлеровых векторно-осредняющих измерителей течений. Кластер установлен со свайного основания стационарной океанографической платформы МГИ в прибрежной зоне Голубого залива у ЮБК на удалении 500 м от берега при глубине места 28 м [8] и при ширине шельфа на траверзе м. Кикинеиз, равной 20 км. В технологии мониторинга вертикальной структуры прибрежного течения используются данные локальной сети вертикально-распределенного набора из 4–7 измерителей горизонтальной компоненты течений МГИ-1308, которые устанавливаются в слое от 3 до 27 м.

Одной из актуальных проблем при исследованиях средних течений является оценка вклада интенсивных ветровых поверхностных волн с периодами от единиц до десятка секунд, а также сгонно-нагонных изменений уровня моря и анемобарических волн, приводящих к возникновению разномасштабных сейш. Оценка вклада ветрового волнения проводится регулярно по данным измерителей, установленных на гидрологических горизонтах 5, 10, 15 и 20 м с базовым временным интервалом векторного осреднения 5 мин. Одновременно в тестовом слое 10–15 м с минимальным (до 6° [8]) вертикальным сдвигом горизонтальной компоненты течения дополнительно размещался измеритель с временным интервалом осреднения, равным 1 мин. Измерения проекций вектора течений в этом режиме осуществляются ежесекундно, а по ним вычисляется и регистрируется векторно-осредненный одноминутный вектор, в котором вклад поверхностного волнения отфиль-

трован. При интервале осреднения 5 мин в процессоре измерителя каждые 15 с вычисляется средний за 3 с вектор, а по сумме этих векторов вычисляется и регистрируется вектор, средний за 5 мин. При сопоставлении данных этой тестовой триады измерителей экспериментально установлен факт существенного уменьшения вклада поверхностного волнения в показания измерителей с интервалом осреднения 5 мин. Для контроля качества измерений в диапазоне гравитационных внутренних волн вычислялись спектры колебаний кинетической энергии течений для периодов от 2 мин до 5.3 ч. Для зимнего гидрологического сезона, т. е. в условиях самых интенсивных штормов, изменчивость спектральных уровней таких колебаний на всех горизонтах однотипна, а различия в спектрах первых разностей не превышают предел интервала доверительной вероятности 95 %.

Совокупность исходных векторно-осредненных значений одного календарного года на каждом гидрологическом горизонте содержит около 2 млн пятиминутных векторов, рассчитанных по 12.4 млн пар первичных измерений компонентов вектора (проекций вектора на ортогональные оси). Из этих данных сформированы среднечасовые векторы течений, которые вычислены за временной интервал ± 30 мин относительно целого значения часа, каждое по 241 паре первичных 15-секундных компонентов. Из среднечасовых значений сформированы среднесуточные временные ряды для всех измерительных горизонтов. Во временных реализациях векторных рядов, прошедших контроль качества, отсутствует вклад сбоев, значимых методических и систематических погрешностей. Чтобы достичь предельной точности измерений компонентов течений измерителями МГИ-1308, в установленном порядке регулярно проводилась метрологическая поверка и нормативный контроль, направленные на обеспечение единства измерений. В такой ситуации случайная среднеквадратическая погрешность среднего за сутки значения вектора течения для первичного измерительного преобразователя модуля скорости снижена до паспортной величины чувствительности и не превышает 0.1 см/с, а для первичного измерительного преобразователя направления течения – до $\pm 3^\circ$. Интегральный подход к анализу изменчивости течений, регистрируемых многозвенной антенной системой измерителей с фиксированной апертурой, позволяет синхронно выделять режимные характеристики течения, идентифицировать и оценивать параметры вертикальной изменчивости когерентных гидродинамических структур в присутствии интенсивных ветровых поверхностных волн, мелкомасштабных и турбулентных возмущений [9]. По этим данным для каждого гидрологического горизонта вычислялись усредненные характеристики скорости и направления потока за выбранный период наблюдений. Эти характеристики необходимы для уточнения режима циркуляции вод и востребованы при оценках переноса взвешенных и растворенных веществ и загрязнений, скорости эрозии береговой линии и т. п.

Результаты и обсуждение

В настоящем разделе представлены результаты анализа природных данных об изменчивости прибрежных течений у м. Кикинеиз, полученные со стационарной океанографической платформы МГИ при мониторинге с 2017 по 2019 гг. (3-летний период). Рассмотрены сопоставления этих

результатов с материалами исследований режима, структуры и изменчивости прибрежных течений за предыдущие годы с 2008 по 2016 г. (9-летний период) [8], и выявлены их особенности.

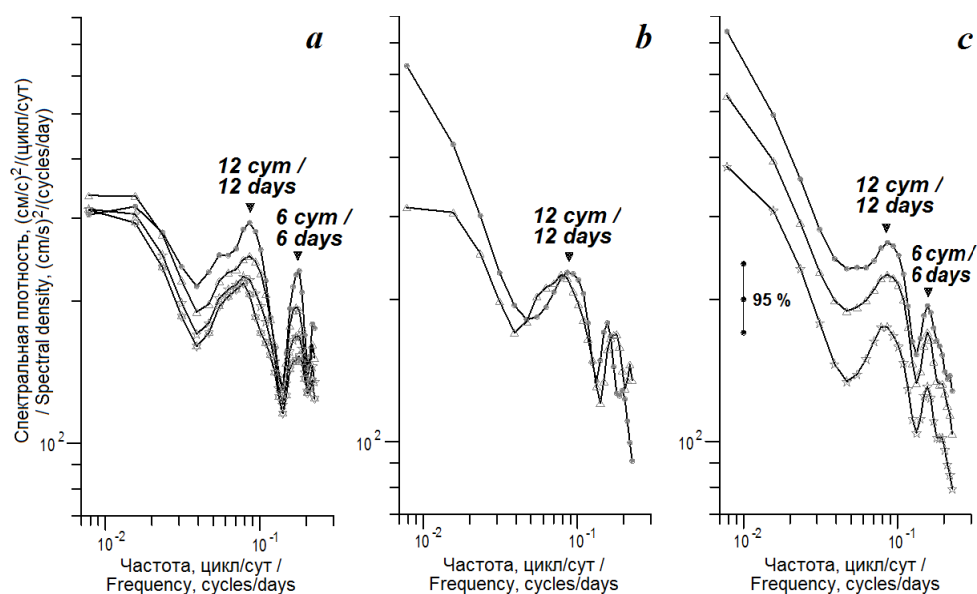
Среднее за 3-летний период стационарное вдольбереговое течение имеет западо-юго-западное направление движения вод, совпадающее с циклонической направленностью прибрежной периферии ОЧТ относительно глубокого моря, при выраженном сдвиге вектора среднего течения с глубиной. На 5-метровом горизонте вектор среднего течения имеет устойчивое направление 252° , а далее с увеличением глубины происходит непрерывный поворот этого вектора влево последовательно к направлению 238° на глубине 10 м, далее к 233° на 15 м и к 215° на глубине 20 м. Суммарный поворот направления горизонтального течения в слое 5–20 м достигает 37° , что в точности совпадает с предыдущими результатами, представленными в [8]. За 3-летний период наблюдений модуль скорости среднего прибрежного течения по всей глубине в среднем снизился на 10 %. Так, на горизонте 5 м за последний 3-летний период наблюдений модуль скорости имеет значение 7.8 см/с при предыдущем значении 8.4 см/с, а на горизонте 20 м – 6.4 см/с, вместо 7.3 см/с. Очевидно присутствие в реализациях среднемноголетнего прибрежного течения крупномасштабной изменчивости. Режим, структура и изменчивость характеристик среднего прибрежного течения определяются локальной топографией рельефа дна и меняющейся по сезонам гидрологической структурой вод [8].

Выделенный ранее тестовый слой 10–15 м наиболее обеспечен натурными измерениями: в нем эпизодически одновременно устанавливали до четырех измерителей течений. В этом слое вертикальный сдвиг горизонтальных течений минимален, а различия в уровнях спектров кинетической энергии колебаний на горизонтах 10 и 15 м не превышают пределы интервала 95%-ной доверительной вероятности [8]. Данные на этих горизонтах статистически однородны и могут быть осреднены для повышения статистической достоверности. Средние за 3 года характеристики течений, рассчитанные в этом слое по данным двух измерителей (10 и 15 м), имеют значения модуля скорости 7.35 см/с и направления 235.90° . Средние характеристики вектора, рассчитанные в слое 5–20 м по данным четырех измерителей на горизонтах 5, 10, 15 и 20 м соответственно, составили 7.04 см/с и 235.76° . Таким образом, экспериментально установлен факт, что локальный средний перенос прибрежных вод течением в слое 5–20 м происходит в том же направлении, что и в тестовом слое 10–15 м. Далее при анализе изменчивости вертикальной структуры прибрежного течения также будут использованы осредненные в тестовом слое 10–15 м данные.

При анализе набора эмпирических функций распределения плотности вероятностей (гистограмм) определен статистический вклад прямого (западо-юго-западное направление) и диаметрально противоположного ему течения. Отмечается практическое совпадение 3- и 9-летних гистограмм при бимодальном распределении направлений прибрежного течения на каждом гидрологическом горизонте, рассчитанных по 5-минутным реализациям. В этих реализациях прибрежное течение западо-юго-западного направления фиксируется приблизительно в 75 %, а противоположного направления –

в 25 % случаев. После центрирования данных в этих векторных рядах динамики (после исключения средних значений вектора) достоверно выделена близкая к симметричной узконаправленная бимодальная структура распределения направлений мгновенных течений. После выполнения процедур осреднения, начиная со среднемесячных реализаций, бимодальное распределение в направлениях прибрежного течения исчезает, а по всей глубине имеет место только стационарное вдольбереговое течение западо-юго-западного направления.

Продолжены исследования изменчивости энергетики колебаний прибрежного течения у ЮБК по данным рядов динамики за 3-летний период, осредненных за двое суток. На рис. 1 представлены спектры кинетической энергии колебаний течений в диапазоне периодов 4–128 сут. На рис. 1, *a* спектральные максимумы колебаний с периодами 12 и 6 сут, полученные за 3-летний период, выражены на всех горизонтах. На рис. 1, *b* представлены два спектра, рассчитанные по данным тестового слоя 10–15 м, полученным за 9-летний и 3-летний периоды соответственно. Очевидно практическое совпадение уровней этих спектров в области спектрального максимума с периодом колебаний 12 сут. На рис. 1, *c* представлены обобщенные



Р и с . 1 . Спектры плотности кинетической энергии течений в диапазоне периодов колебаний 4–128 сут: *a* – на горизонте 5 м (•), 10 м (△), 15 м (☆), 20 м (○) за период мониторинга 2017–2019 гг.; *b* – в тестовом слое 10–15 м за 2008–2016 гг. (•) и за 2017–2019 гг. (△); *c* – на горизонте 5 м (•), в тестовом слое 10–15 м (△) и горизонте 20 м (☆) за период мониторинга 2008–2019 гг. при 95%-ном доверительном интервале

Fig. 1. Spectra of the kinetic energy density of currents in the oscillation period range 4–128 days: *a* – at 5 m (•), 10 m (△), 15 m (☆), 20 m (○) horizons for the monitoring period 2017–2019; *b* – in the 10–15 m test layer for 2008–2016 (•) and for 2017–2019 (△); *c* – at 5 m horizon (•), in the 10–15 m test layer (△) and at 20 m horizon (☆) for the monitoring period 2008–2019 at 95 % confidence interval

спектры за 12-летний период наблюдений (2008–2019 гг.) на горизонтах 5 и 20 м и в тестовом слое 10–15 м. Спектральные максимумы колебаний с периодами 12 и 6 сут являются статистически достоверными.

Ранее в среднегодовых спектрах прибрежных течений у ЮБК достоверные пики спектральной плотности в инерционно-гравитационном диапазоне внутреннего волнения не выделялись. При этом на ограниченных реализациях периодически возникают колебания суточных, инерционных и внутрисуточных периодов. Статистическую достоверность этих колебаний было невозможно оценить из-за ограниченной продолжительности времени их реализаций при нерегулярности существования этих колебаний.

На рис 2, *a* представлены спектры кинетической энергии колебаний течений на горизонтах 5, 10, 15 и 20 м в диапазоне периодов от 12 ч до 16 сут, рассчитанные по данным рядов динамики за 3-летний период при 6-часовом осреднении. На этих спектрах присутствуют возмущения на колебаниях с периодами около 24 и 17.5 ч. С целью устранения во временных реализациях вклада низкочастотных колебаний был использован фильтр векторных

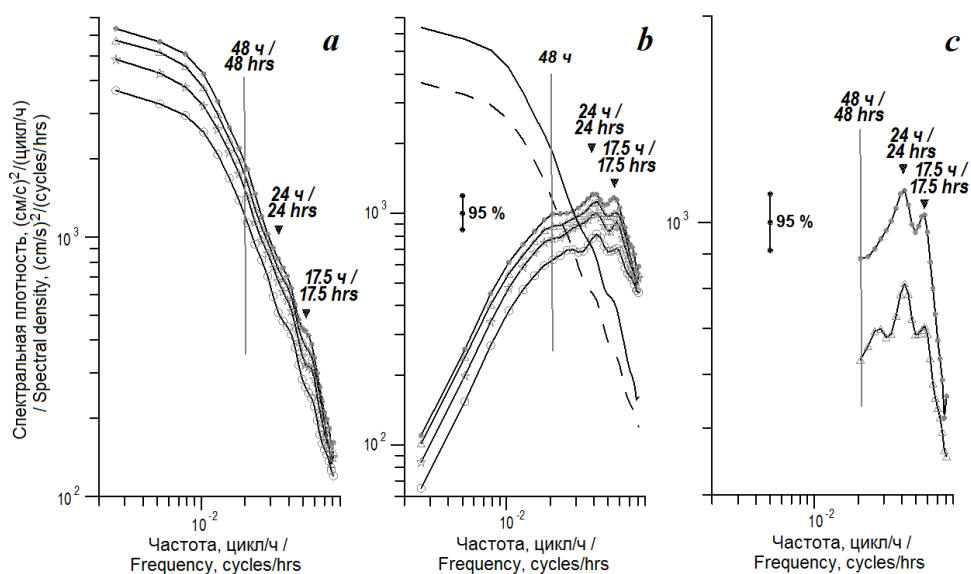


Рис. 2. Спектры плотности кинетической энергии течений в диапазоне периодов колебаний от 12 ч до 16 сут, рассчитанные за период мониторинга 2017–2019 гг.; *a* – на горизонте 5 м (•), 10 м (△), 15 м (☆), 20 м (○); *b* – спектры первых разностей на горизонте 5 м (•), 10 м (△), 15 м (☆), 20 м (○) и исходные спектры на горизонте 5 м (основная линия) и на горизонте 20 м (штриховая линия); *c* – фрагмент спектра в слое 5–15 м (•) и на горизонте 20 м (△) при 95%-ном доверительном интервале

Fig. 2. Spectra of the kinetic energy density of currents in the frequency period range from 12 hours to 16 days calculated for the monitoring period 2017–2019: *a* – at 5 m (•), 10 m (△), 15 m (☆), 20 m (○) horizons; *b* – spectra of the first order differences at 5 m (•), 10 m (△), 15 m (☆), 20 m (○) horizons and original spectra at 5 m horizon (base line) and 20 m horizon (dashed line); *c* – spectrum fragment in the 5–15 m test layer (•) and at 20 m horizon (△) at 95 % confidence interval

конечных разностей первого порядка. На рис. 2, *b* представлены спектры первых разностей, рассчитанные для горизонтов 5, 10, 15 и 20 м после применения процедуры фильтрации, а для сравнений изображены два исходных спектра для горизонтов 5 и 20 м соответственно.

Из сопоставлений с исходными спектрами очевидно существенное уменьшение вклада низкочастотных колебаний течений, а в диапазоне периодов менее 48 ч искажения, вносимые фильтром первых разностей, незначительны [10]. В этом диапазоне в спектрах первых разностей на всех горизонтах проявляются регулярные суточные и локальные инерционные колебания. При этом различия в уровнях спектров первых разностей, рассчитанные по данным трех верхних горизонтов 5, 10 и 15 м, не выходят за пределы 95%-ного доверительного интервала и являются статистически однородными. На рис. 2, *c* представлен обобщенный для слоя 5–15 м фрагмент спектра первых разностей с указанием 95%-ного доверительного интервала и соответствующий участок спектра для горизонта 20 м. Спектральные пики колебаний с периодами 24 и 17.5 ч на рис. 2, *c*, рассчитанные за период 2017–2019 гг. в прибрежной зоне у ЮБК, являются статистически достоверными.

Заключение

На основании результатов, полученных при анализе натуральных данных мониторинга прибрежных течений у ЮБК за 2017–2019 гг., и сопоставления этих результатов с материалами предыдущих исследований установлено:

- крупномасштабное вдольбереговое течение представляет собой узконаправленный поток прибрежных вод западо-юго-западного направления, совпадающего с циклонической направленностью прибрежной периферии ОЧТ. Направление интегрального переноса прибрежных вод течением в слое 5–20 м совпадает с направлением течения в слое 10–15 м;
- бимодальное распределение в направлениях прибрежного течения возникает в результате взаимодействия крупномасштабного вдольберегового течения и перманентно возникающих интенсивных разномасштабных гидродинамических образований прибрежно-шельфовой зоны;
- в прибрежном течении у ЮБК достоверно выявлен вклад суточных и локальных инерционных колебаний.

Полученные новые данные о структуре, режиме и особенностях циркуляции вод прибрежного экотона моря востребованы при выполнении проектно-изыскательских работ по реконструкции существующей системы водоотведения хозяйственно-бытовых сточных вод и строительству канализационных очистных сооружений на ЮБК с выпуском в море. Результаты могут быть использованы при выполнении валидационных расчетов в локальных моделях циркуляции прибрежных вод у ЮБК, в том числе при планировании мероприятий по обеспечению кризисного мониторинга акваторий прибрежного экотона в связи с загрязнением прибрежно-шельфовых вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов В. А., Белокопытов В. Н.* Океанография Черного моря. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 209 с.
2. *Вержевская Л. В., Миньковская Р. Я.* Структура и динамика антропогенной нагрузки на прибрежную зону Севастопольского региона // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 2. С. 92–106. doi:10.22449/2413-5577-2020-2-92-106
3. *Кузнецов А. С., Зима В. В.* Развитие наблюдательной системы Черноморского гидрофизического полигона в 2001–2015 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. № 4. С. 62–72. doi:10.22449/2413-5577-2019-4-62-72
4. Концептуальные основы и современная стратегия построения морского подспутникового полигона / В. А. Иванов [и др.] // Мониторинг прибрежной зоны на Черноморском экспериментальном подспутниковом полигоне / Под ред. В. А. Иванова и В. А. Дулова. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. С. 7–28.
5. Оценка уровня антропогенных нагрузок на прибрежные зоны и экотоны Черноморского побережья Украины / В. И. Беляев [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2001. № 1. С. 55–63.
6. *Kuznetsov A. S., Shapovalov Yu. I., Shapovalov R. O.* Results of Monitoring the Surface Field Dynamics in the Black Sea Waters Using a Ferry Box System // Physical Oceanography. 2019. Vol. 26, iss. 4. P. 341–349. doi:10.22449/1573-160X-2019-4-341-349
7. *Химченко Е. Е., Серебряный А. Н.* Внутренние волны на Кавказском и Крымском шельфах Черного моря (по летне-осенним наблюдениям 2011–2016 гг.) // Океанологические исследования. 2018. Т. 46, № 2. С. 69–87. doi:10.29006/1564-2291.JOR-2018.46(2).7
8. *Иванов В. А., Кузнецов А. С., Морозов А. Н.* Мониторинг циркуляции прибрежных вод у Южного берега Крыма // Доклады Академии наук. 2019. Т. 485, № 4. С. 507–510. doi:10.31857/S0869-56524854507-510
9. *Кузнецов А. С.* Система оценки качества векторных данных и возможности антенных измерений течений // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. № 1. С. 50–57. doi:10.22449/2413-5577-2018-1-50-57
10. *Хемминг Р. В.* Цифровые фильтры. М. : Советское радио, 1980. 224 с.

Об авторах:

Кузнецов Александр Сергеевич, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом гидрофизики шельфа, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат технических наук, **SPIN-код: 1838-7191, ORCID ID: 0000-0002-5690-5349, kaskasev@mail.ru**

Зима Виктор Васильевич, ведущий инженер-электроник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), *zima_vv@mhi-ras.ru*

Щербаченко Сергей Владимирович, ведущий инженер, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **SPIN-код: 6248-1224, shcherbachenko_sv@mhi-ras.ru**

Заявленный вклад авторов:

Кузнецов Александр Сергеевич – постановка цели и задач исследований, обработка и анализ данных натурного эксперимента, подготовка текста статьи, обсуждение результатов работы и редактирование рукописи

Зима Виктор Васильевич – организация мониторинга прибрежных течений, обработка и анализ натуральных данных, обсуждение результатов исследований

Щербаченко Сергей Владимирович – анализ литературы по проблеме исследований, участие в проведении натурного эксперимента, обработка и анализ данных

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Ivanov, V.A. and Belokopytov, V.N., 2013. *Oceanography of the Black Sea*. Sevastopol: MHI, 210 p. (in Russian).
2. Verzhevskaya, L.V. and Minkovskaya, R.Ya., 2020. Structure and Dynamics of Anthropogenic Load on the Coastal Zone of the Sevastopol Region. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (2), pp. 92–106. doi:10.22449/2413-5577-2020-2-92-106 (in Russian).
3. Kuznetsov, A.S. and Zima, V.V., 2019. Development of Observing System of the Black Sea Hydrophysical Polygon in 2001 – 2015. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (4), pp. 62–72. doi:10.22449/2413-5577-2019-4-62-72 (in Russian).
4. Ivanov, V.A., 2014. Conceptual Bases and Modern Strategy for Construction of a Marine Sub-Satellite Testing Area. In: V. A. Ivanov and V. A. Dulov, eds., 2014. *Monitoring of the Coastal Zone in the Black Sea Experimental Sub-Satellite Testing Area*. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika, pp. 7–28 (in Russian).
5. Belyaev, V.I., Doroguntsov, S.I., Sovga, E.E. and Nikolaenko, T.S., 2001. Estimation of Degree of Anthropogenic Loads on Coastal Zones and Ecotones of the Black Sea Coast of Ukraine. *Morskoy Gidrofizicheskiy Zhurnal*, (1), pp. 55–63 (in Russian).
6. Kuznetsov, A.S., Shapovalov, Yu.I. and Shapovalov, R.O., 2019. Results of Monitoring the Surface Field Dynamics in the Black Sea Waters Using a Ferry Box System. *Physical Oceanography*, 26(4), pp. 341–349. doi:10.22449/1573-160X-2019-4-341-349
7. Khimchenko, E.E. and Serebryany, A.N., 2018. Internal Waves on the Caucasian and Crimean Shelves of the Black Sea (according to Summer-Autumn Observations 2011–2016). *Journal of Oceanological Research*, 46(2), pp. 69–87. doi:10.29006/1564-2291.JOR-2018.46(2).7 (in Russian).
8. Ivanov, V.A., Kuznetsov, A.S. and Morozov, A.N., 2019. Monitoring Coastal Water Circulation along the South Coast of Crimea. *Doklady Earth Sciences*, 485(2), pp. 405–408. doi:10.1134/S1028334X19040044
9. Kuznetsov, A.S., 2018. System of Assessment of the Vector Data Quality and Opportunity of Antenna Measurements of Currents. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 50–57. doi:10.22449/2413-5577-2018-1-50-57 (in Russian).
10. Hamming, R.W., 1977. *Digital Filters*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 226 p.

About the authors:

Alexander S. Kuznetsov, Leading Research Associate, Head of the Shelf Hydrophysics Department, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Tech.Sci.), **ORCID ID: 0000-0002-5690-5349**, *kaskasev@mail.ru*

Victor V. Zima, Leading Electronics Engineer, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), *zima_vv@mhi-ras.ru*

Sergey V. Shcherbachenko, Leading Engineer-Researcher, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), **SPIN-code: 6248-1224**, *shcherbachenko_sv@mhi-ras*

Contribution of the authors:

Alexander S. Kuznetsov – study task and objective setting, *in situ* experiment data processing and analysis, manuscript preparation, research results discussion, manuscript editing

Victor V. Zima – organization of coastal current monitoring, *in situ* data processing and analysis, study results discussion

Sergey V. Shcherbachenko – analysis of literature on the study topic, participation in the *in situ* experiment, data processing and analysis

All the authors have read and approved the final manuscript.