

Структура бимодальности направления прибрежного течения у Южного берега Крыма в 2002–2008 годах

А. С. Кузнецов

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия
e-mail: kaskasev@mail.ru*

Поступила 10.09.2020 г.; принята к публикации 11.11.2020 г.; опубликована 25.12.2020 г.

Целью настоящей работы является уточнение знаний о структуре бимодального распределения повторяемости направления прибрежного течения у м. Кикинеиз Южного берега Крыма по данным, полученным на океанографической платформе Черноморского гидрофизического подспутникового полигона Морского гидрофизического института РАН. Используемая при мониторинге вертикальная измерительная антенна с фиксированной апертурой эйлеровых измерителей горизонтальной компоненты течений обеспечила синхронное выделение структуры вертикальных сдвигов и разномасштабных когерентных колебаний течения. Представлены новые результаты анализа натуральных данных о характеристиках прибрежного течения и его изменчивости, полученные с ноября 2001 по декабрь 2008 г. включительно. Отмечены закономерности в изменении многолетнего режима прибрежного течения. Проведены сопоставления этих характеристик течения с результатами, полученными у м. Кикинеиз Южного берега Крыма за период с сентября 2008 по декабрь 2019 г. включительно. Выделены регулярные интенсивные колебания прибрежного течения на локальной инерционной (17 ч) и суточной составляющей, а также колебания течения с периодом 11.6 сут. Анализируется эволюция распределений плотности вероятности модуля скорости и направления векторов течения после расчетов, при которых в исходных векторных рядах динамики методом цифровой фильтрации последовательно исключался соответствующий векторный вклад интенсивных инерционно-гравитационных, мезомасштабных и синоптических колебаний. При исключении вклада суточных и инерционных колебаний соотношение доли обратной моды по отношению к основной моде в гистограммах повторяемости направления прибрежного течения снижается более чем в три раза. При исключении вклада мезомасштабных и синоптических колебаний обратная мода потока фактически отсутствует и существует только крупномасштабное прибрежное течение, совпадающее с циклонической направленностью прибрежной периферии Основного Черноморского течения. Бимодальное распределение повторяемости направления прибрежного течения существует как результат суперпозиции векторов скорости крупномасштабного течения и переменного вклада текущих орбитальных скоростей разномасштабных волновых и вихревых образований, существующих в прибрежно-шельфовой зоне.

Ключевые слова: мониторинг, динамика прибрежных вод, направление течения, плотность вероятности, бимодальное распределение, спектральный анализ.

© Кузнецов А. С., 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

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».

Для цитирования: Кузнецов А. С. Структура бимодальности направления прибрежного течения у Южного берега Крыма в 2002–2008 годах // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 4. С. 78–88. doi:10.22449/2413-5577-2020-4-78-88

Structure of the Coastal Current Direction Bimodality at the Southern Coast of Crimea in 2002–2008

A. S. Kuznetsov

*Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia
e-mail: kaskasev@mail.ru*

Submitted 10.09.2020; revised 11.11.2020; published 25.12.2020

This paper aims at improvement of knowledge about the structure of bimodal distribution of coastal current direction repeatability at Cape Kikineiz of the Southern coast of Crimea as per monitoring data obtained at the stationary oceanographic platform of the Black Sea hydrophysical sub-satellite testing area of the MHI RAS. Used for monitoring, a vertical measuring antenna with a fixed aperture of Euler testers of the current horizontal component provided verifiable and synchronic isolation of the current's structural characteristics with a vertical velocity shift and multiscale coherent oscillations of the current. New results of analysis of *in situ* data are presented regarding characteristics of the coastal current and its variability. The data were obtained within the period from November 2001 to 2008. Change patterns of the long-term coastal current regime are noted. The current's characteristics are matched to the results obtained at Cape Kikineiz of the Southern coast of Crimea for the period from September 2008 to 2019. Regular intense oscillations of the coastal current at the local inertial (17 hrs) and daily component as well as current oscillations with a period of 11.6 day are defined. Evolution is analyzed of probability density distribution of the velocity module and current vector direction after calculations, during which a corresponding vector distribution of intensive inertial-gravitational, mesoscale and synoptic oscillations was excluded in the original vector series of dynamics using a digital filtration method. When excluding the contribution of daily and inertial oscillations, the backward and primary mode ratio in the histograms of the coastal current direction repeatability decreases by more than three times. When excluding the contribution of mesoscale and synoptical oscillations, the backward mode of current is almost absent and there exists only a large-scale coastal current coinciding with a cyclonic direction of the coastal edge of the Black Sea Rim Current. Bimodal distribution of the coastal current direction repeatability is a result of superposition of velocity vectors of a large-scale current and variable contribution of existing orbital velocities of multiscale wave and vortex formations present in the coastal-shelf area.

Keywords: monitoring, coastal waters dynamics, current direction, probability density, bimodal distribution, spectral analysis.

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., 2020. Structure of the Coastal Current Direction Bimodality at the Southern Coast of Crimea in 2002–2008. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (4), pp. 78–88. doi:10.22449/2413-5577-2020-4-78-88 (in Russian).

Введение

В последние годы Морской гидрофизический институт РАН (МГИ) и Институт океанологии РАН активизировали экспедиционные исследования природных особенностей волновой, вихревой и турбулентной динамики вод шельфовой и глубоководной зон Черного моря с использованием новых информационных технологий и перспективных океанологических комплексов (например, [1–6]). Представленные в настоящей работе результаты получены МГИ в зоне прибрежного экотона моря при малых глубинах до 28 м на удалении 500 м от берега [7]. Эта прибрежная оконечность шельфовой зоны имеет свою специфическую динамику вод, которая подвержена сильному воздействию региональных ветровых условий Южного берега Крыма (ЮБК), прибрежного поверхностного волнения и вклада периферии Основного Черноморского течения (ОЧТ). В монографии [8] обобщены основные экспериментальные сведения, полученные в различных прибрежных акваториях Черного моря, и представлены возможные механизмы их динамики. Динамика вод в этих акваториях достоверно характеризуется бимодальным распределением повторяемости направления течений параллельно береговой черте [8].

В работах [9–11] представлены результаты исследований динамики прибрежных течений у м. Кикинеиз, полученные при анализе данных за 2008–2019 гг. Согласно этим результатам в исследуемой зоне у ЮБК выявлено крупномасштабное вдольбереговое течение со среднемноголетним значением модуля скорости около 8.4 см/с западо-юго-западного направления параллельно береговой черте.

Целью настоящей работы является уточнение знаний о структуре бимодального распределения повторяемости направления прибрежного течения у ЮБК. При анализе использованы натурные данные мониторинга течений за 2002–2008 гг. и выполнено их сопоставление с известными результатами.

Информационная технология мониторинга прибрежных течений

В 2001 г. МГИ начал модернизацию подсистемы мониторинга прибрежных течений в составе регионально-адаптированной системы контроля состояния прибрежной акватории у м. Кикинеиз ЮБК [12]. На базе собственных аппаратных разработок морской техники в институте создан парк автономных измерителей течений, которые в установленном порядке регулярно проходят метрологическую аттестацию качества измерений. С помощью этих измерителей выполнены многочисленные исследования структуры и динамики течений на шельфе и в глубоководной части Черного моря в составе заякоренных буйковых станций, стационарных измерительных оснований и с борта научно-исследовательских судов в дрейфе совместно с современными доплеровскими *ADCP* – измерителями течений (см., например, [4, 9, 13]). Подтверждена эффективность и надежность работы автономных эйлеровых измерителей течений в различных природных условиях.

С 2002 г. в практику природного эксперимента внедрена перспективная информационная технология мониторинга течений вертикально-распределенным

кластером эйлеровых измерителей [14]. Такая вертикальная измерительная антенна с фиксированной апертурой позволяет достоверно и синхронно выделять режимные характеристики сдвиговых течений и вертикальной изменчивости разномасштабных когерентных волновых и вихревых возмущений этих течений.

Информационная технология мониторинга реализована как совокупность эффективных технических средств измерений, экономичных способов организации и проведения длительного натурного эксперимента при обеспечении единообразия средств измерений, контроля качества и точности измерений. На протяжении всего 19-летнего периода непрерывной эксплуатации этой информационной технологии МГИ продолжает осуществлять своевременное и качественное методическое и метрологическое сопровождение измерений характеристик прибрежных течений.

Обеспечение метрологического единства измерений

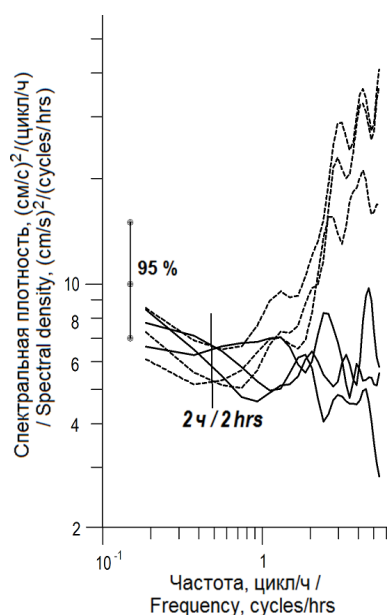
Аппаратурное переоснащение подсистемы мониторинга прибрежных течений проведено поэтапно [12]. С ноября 2001 г. по август 2002 г. для измерения течений со стационарной океанографической платформы (СОП) в слое от 5 до 20 м использовалось от двух до четырех измерителей течений МГИ-1301, которые заменили прежние измерители БПВ-2. Затем до июня 2005 г. при постановках в слое 5–20 м использовался составной набор измерителей МГИ-1301 и МГИ-1308. Далее, в зависимости от поставленной задачи, измерения выполнялись в слое от 3 до 27 м измерителями МГИ-1308 в количестве от 4 до 7 приборов. Измерители течений МГИ-1301, работающие в дискретном режиме измерений модуля скорости и направления течения, использовались в режимах регистрации 50 с и 5 мин. Измерители течений МГИ-1308, работающие в векторно-осредняющем режиме измерений проекций вектора течений на ортогональные оси, использовались в режимах интегрирования за 1 и 5 мин. Из-за кардинальных различий моментального и интегрального способов измерений существует проблема выбора временного интервала осреднения моментных данных измерителей МГИ-1301 для достоверного сопоставления с совместными интегральными результатами измерителей МГИ-1308. Наиболее эффективным способом решения этой проблемы является регулярное проведение синхронных постановок разнотипных измерителей при одинаковых установочных апертурах *in situ* в одних и тех же натуральных условиях. Последующие сличения натуральных данных, обработка и установление соответствия между свойствами контролируемых объектов позволяют сформировать заключение об эффективности процедуры метрологического единства измерений течений.

Поддержание метрологического единства измерений позволяет исключить вклад сбойных значений, значимых методических и систематических погрешностей, что в результате последующей статистической обработки обеспечивает повышение точности измерений компонентов вектора измерителями до предельных уровней их случайных погрешностей, ограниченных разрешающей способностью соответствующих первичных измерительных преобразователей. В режиме интегрирования 5 мин измеритель МГИ-1308 в течение одних суток производит 17 280 пар первичных отсчетов, из которых процессор измерителя формирует 289 осредненных отсчетов. Случайная

среднеквадратическая погрешность измерения модуля скорости при этом уменьшается до 0.1 см/с, а направления течения до $\pm 3^\circ$ [14]. Приборы МГИ-1301 имеют меньшую точность измерений. С метрологической точки зрения результаты измерений приборов МГИ-1308 при сличениях являются заданной нормой, а показания набора МГИ-1301 становятся объектом контроля.

В августе 2002 г. в течение 59.5 ч (~2.5 сут) на СОП был проведен натурный эксперимент по синхронному сличению показаний набора разнотипных измерителей (по три прибора каждого типа), установленных *in situ* параллельно на гидрологических горизонтах 5, 10 и 20 м. Каждый прибор МГИ-1301 зарегистрировал по 715 отсчетов при дискретности измерений, равной 5 мин. Приборы МГИ-1308 в режиме интегрирования 1 мин регистрируют каждый по 3571 отсчету на основе 214.2 тыс. первичных отсчетов. Затем формируются пятиминутные ряды, которые обработаны совместно с рядами измерений МГИ-1301. Средние значения компонентов вектора модуля скорости и направления течения на глубинах 5, 10 и 20 м для измерителей МГИ-1308 определяют значения нормы: 27.2 см/с при 269° ; 24.4 см/с при 249° и 19.7 см/с при 230° – и контролируемые значения для измерителей МГИ-1301: 27.9 см/с при 266° ; 25.6 см/с при 249° и 20.4 см/с при 228° соответственно. Отличия от нормы в расчетах измерителей МГИ-1301 на всех горизонтах не превышают пределы соответствующих паспортных случайных погрешностей.

Сличения рассчитанных спектров плотности кинетической энергии течений демонстрируют совпадение уровней спектров для разнотипных измерителей в диапазоне периодов колебаний 6–16 ч при существенных различиях между ними в более высокочастотной области спектра. На рис. 1 представлены спектры кинетической энергии таких колебаний на горизонтах 5, 10 и 20 м в диапазоне периодов 10 мин – 5.3 ч, рассчитанные после удаления вклада низкочастотных колебаний течений с указанием 95%-ного доверительного интервала. При сопоставлении спектров очевидны существенные различия уровней между типами измерителей в диапазоне периодов колебаний менее 2 ч, которые превышают указанный доверительный интервал. Таким образом, для совместного репрезентативного использования данных разнотипных измерителей МГИ-1301 и МГИ-1308 при их работе в 5-минутных режимах необходимо выполнять



нужные различия уровней между типами измерителей в диапазоне периодов колебаний менее 2 ч, которые превышают указанный доверительный интервал. Таким образом, для совместного репрезентативного использования данных разнотипных измерителей МГИ-1301 и МГИ-1308 при их работе в 5-минутных режимах необходимо выполнять

Рис. 1. Спектры плотности кинетической энергии течений в диапазоне периодов колебаний 10 мин – 5.3 ч по данным МГИ-1301 (---) и МГИ-1308 (—) на горизонтах 5, 10 и 20 м при 95%-ном доверительном интервале

Fig. 1. Spectra of the kinetic energy density of currents in the oscillation period range 10 min – 5.3 hrs as per data obtained by MHI-1301 (---) and MHI-1308 (—) at 5, 10 and 20 m depths at 95 % confidence interval

операцию векторного осреднения этих данных во временном диапазоне не менее 2 ч.

При оценке качества измерений за 2002–2008 гг. дополнительно проведены сопоставления с эмпирическими закономерностями, выявленными по результатам предыдущего анализа натуральных данных мониторинга течений [14]. Результатом комплексной обработки измерений в рамках технологического процесса исследований являются сформированные репрезентативные базы векторных данных прибрежных течений за 2008–2015 гг.¹⁾ и 2016–2019 гг.²⁾, прошедшие регистрацию и доступные заинтересованным пользователям.

Результаты и обсуждение

В настоящем разделе представлены результаты анализа натуральных данных и характеристики прибрежного течения у м. Кикинеиз, ЮБК, полученные при мониторинге с СОП за 7-летний период с ноября 2001 г. по декабрь 2008 г. включительно.

Из исходных векторных рядов, полученных с дискретностью 50 с и 5 мин и с интервалом осреднения 1 и 5 мин, были сформированы среднечасовые ряды значений компонентов вектора прибрежного течения на гидрологических горизонтах 5, 10, 15 и 20 м. В работах [9, 10] отмечен достоверный факт минимальных различий характеристик вертикального сдвига горизонтальной компоненты прибрежного течения между горизонтами 10 и 15 м. В этом слое выполняются синхронные постановки и сличения показаний различного набора измерителей при различных режимах работы. С учетом опыта работы [11] из данных, полученных на двух горизонтах 10 и 15 м, был сформирован один векторно-осредненный ряд так называемого тестового слоя 10–15 м.

1. Среднегодулетние значения компонентов вектора прибрежного течения за 7-летний период 2002–2008 гг. представлены модулем скорости и направлением течения: для горизонта 5 м – 8.2 см/с при 254°; для тестового слоя 10–15 м – 8.0 см/с при 239°; для горизонта 20 м – 7.1 см/с при 220°. Сдвиг направления среднего течения влево в сторону открытого моря между горизонтами 5 и 20 м составил 34°. Соответствующие среднегодулетние значения для последующего 5-летнего периода 2009–2013 гг. [10] для горизонта 5 м были равны 8.4 см/с при 252°; 10–15 м – 8.2 см/с при 235°; 20 м – 7.3 см/с при 215°. Сдвиг направления среднего течения между горизонтами 5 и 20 м составил 37°. При сравнении соответствующих пар измерителей модули скоростей среднего течения имеют близкие значения, а различия в значениях направлений не выходят за пределы случайной погрешности соответствующего измерительного преобразователя. Таким образом,

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.

²⁾ Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2020621445 Российская Федерация. База данных мониторинга поля течений прибрежной зоны Черного моря у Южного берега Крыма за 2016–2019 гг. / А. С. Кузнецов, В. В. Зима; заявитель и правообладатель ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН». № 2020621347; заявл. 05.08.20, Бюл. № 8. 1 с.

как и в работах [9–11], исследуемое крупномасштабное течение у ЮБК за 2002–2008 гг. представляет собой параллельный береговой черте узконаправленный поток, совпадающий с циклонической направленностью прибрежной периферии ОЧТ.

2. В работе [11] достоверно выделены интенсивные колебания прибрежного течения на суточном и инерционном периодах. С целью дальнейших исследований вклада таких колебаний сформированные среднечасовые ряды были подвергнуты процедуре фильтрации скользящим векторным средним с интервалом осреднения 6 ч. Затем эти ряды были обработаны по методике, предложенной в работе [11], при использовании фильтра векторных конечных разностей первого порядка с последующим усреднением данных по слою. В результате спектрального анализа этих данных в диапазоне периодов 12 ч – 16 сут достоверно выделен вклад двух колебаний с доминированием суточной составляющей и локальной инерционной – с периодом около 17 ч.

3. С целью исследований вклада мезомасштабных и синоптических колебаний течений среднечасовые ряды были подвергнуты процедуре фильтрации скользящим векторным средним с интервалом осреднения 53 ч (~2.2 сут). Такая фильтрация позволила исключить вклад интенсивных колебаний суточного и инерционного периодов при последующем спектральном анализе. На рис. 2 представлены спектры плотности кинетической энергии этих колебаний на 5, 10–15 и 20 м в диапазоне периодов 4–128 сут с указанием 95%-ного доверительного интервала.

По результатам анализа достоверно выделен спектральный максимум колебаний с периодом 11.6 сут. При сопоставлении отмечается совпадение уровней выявленных спектральных максимумов с уровнями соответствующих спектральных пиков для колебаний с периодом 12 сут по данным работы [11].

4. С целью исключения вклада интенсивных мезомасштабных и синоптических колебаний течений среднечасовые ряды, сформированные в п. 3, были подвергнуты дальнейшей фильтрации скользящим векторным средним с интервалом осреднения 289 ч (12 сут).

Следует отметить, что в каждом из вариантов осреднения, представленных в п. 2–4 настоящего раздела, в полном объеме сохранялся исходный размер рядов из 61 369 часовых

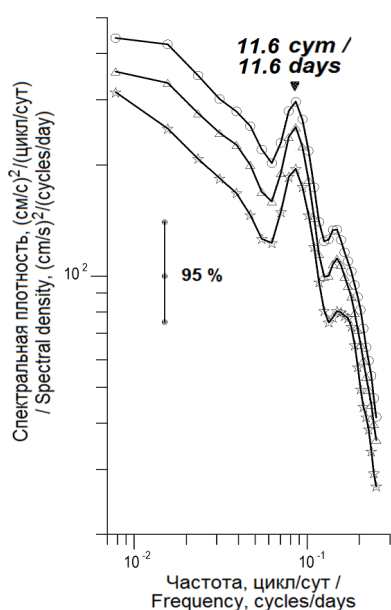


Рис. 2. Спектры плотности кинетической энергии течений в диапазоне периодов колебаний 4–128 сут на горизонте 5 м (○), в тестовом слое 10–15 м (△) и на горизонте 20 м (☆) за период мониторинга 2002–2008 гг. при 95%-ном доверительном интервале

Fig. 2. Spectra of the kinetic energy density of currents in the oscillation period range 4–128 days: at 5 m (○) depth, in the 10–15 m test layer (△), and at 20 m depth (☆) for the monitoring period 2002–2008 at 95 % confidence interval

отсчетов, сформированных за 7-летний период 2002–2008 гг., но каждый с набором новых соответственно осредненных часовых значений. На их основе рассчитаны гистограммы распределения направления течения в интервале $\pm 3^\circ$ и модуля скорости – в интервале ± 0.5 см/с. Гистограммы распределения повторяемости направления вектора течения представлены на рис. 3.

Гистограммы на рис. 3, *a*, рассчитанные для горизонтов 5, 10, 15 и 20 м из 0.55 млн пятиминутных неосредненных отсчетов, демонстрируют бимодальную структуру распределения повторяемости направления прибрежного течения в исходных реализациях. Поток имеет максимум на горизонте 5 м при ориентации на 255° , 10 м – на 243° , 15 м – на 231° , 20 м – на 219° . Гистограммы на рис. 3, *b*, рассчитанные при интервале осреднения 53 ч, содержат слабо выраженную бимодальную структуру распределения повторяемости направления прибрежного течения. На гистограммах на рис. 3, *c* при интервале осреднения 12 сут присутствует только одна мода, соответствующая генеральному переносу вод. Поток в двух последних вариантах осреднения имеет максимум на горизонте 5 м при ориентации на 255° , в тестовом слое 10–15 м – на 237° , на 20 м – на 219° . Гистограммы на рис. 3, *b* и рис. 3, *c* рассчитаны из 61 тыс. часовых отсчетов.

Анализ гистограмм, представленных на рис. 3, наглядно демонстрирует трансформацию бимодальной структуры в процессе последовательного

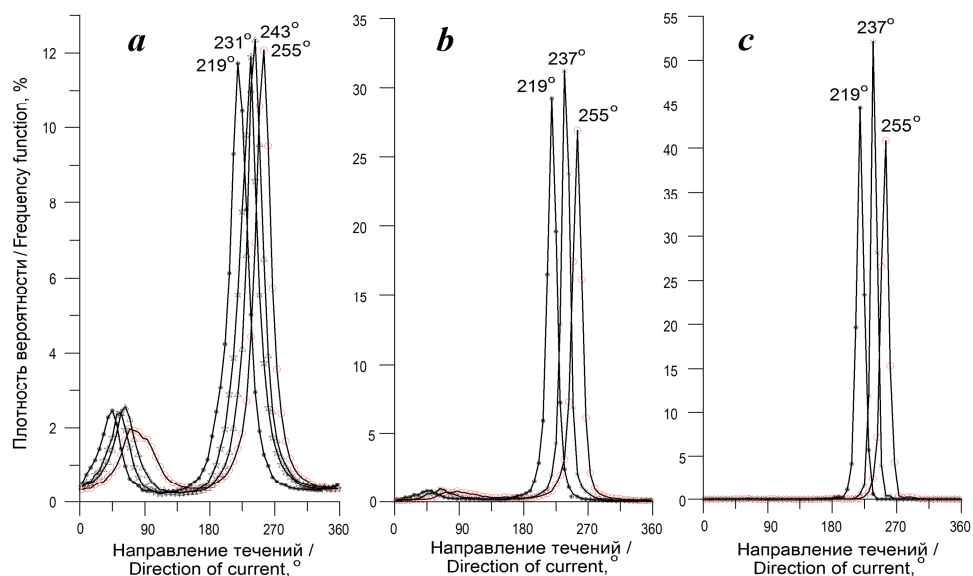


Рис. 3. Гистограммы распределения повторяемости направления (*a*, *b*, *c*) прибрежного течения у ЮБК за период мониторинга 2002–2008 гг. для горизонтов 5 м (○), 10 м (△), 15 м (☆), 20 м (●) и тестового слоя 10–15 м (*): *a* – без осреднения; *b* – при интервале осреднения 53 ч; *c* – при интервале осреднения 12 сут

Fig. 3. Histograms of repeatability distribution of the coastal current direction (*a*, *b*, *c*) at the Southern coast of Crimea for the monitoring period 2002–2008 for 5 m (○), 10 m (△), 15 m (☆), 20 m (●) depths, and 10–15 m test layer (*), where (*a*) without averaging, (*b*) with an averaging interval of 53 hrs, (*c*) with an averaging interval of 12 days

исключения вклада основных интенсивных составляющих его динамики. В исходных распределениях на рис. 3, *a* вклад основной и обратной мод потока соотносится в пропорции 76.1 % к 23.9 % при максимальной скорости суммарного потока 88 см/с. При исключении вклада инерционно-гравитационных колебаний течения в распределениях на рис. 3, *b* вклад основной и обратной мод потока соотносится в пропорции 90.8 к 9.2 % при максимальной скорости суммарного потока 41 см/с. При исключении вклада мезомасштабных и синоптических колебаний течения в распределениях на рис. 3, *c* вклад основной и обратной мод прибрежного течения соотносится в пропорции 99.8 к 0.2 %, т. е. обратный поток достоверно не выделен, а максимальная скорость прибрежного течения не превышает 23 см/с.

В работе [10] показано, что орбитальные движения в различных волновых и вихревых структурах у побережья трансформируются в квазиколлинеарные возвратно-поступательные потоки. Бимодальное распределение повторяемости направления прибрежного течения возникает как результат суперпозиции вектора скорости крупномасштабного течения и переменного вклада текущих орбитальных скоростей разномасштабных волновых и вихревых образований в зоне этого течения.

Заключение

Из анализа данных мониторинга прибрежных течений у ЮБК за 7-летний период 2002–2008 гг. установлено, что бимодальное распределение повторяемости направления прибрежного течения возникает в результате взаимодействия крупномасштабного прибрежного течения, совпадающего с циклонической направленностью прибрежной периферии ОЧТ, и существующих в этой зоне интенсивных разномасштабных волновых и вихревых образований прибрежно-шельфовой зоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ostrovskii A. G., Zatsepin A. G.* Intense ventilation of the Black Sea pycnocline due to vertical turbulent exchange in the Rim Current area // *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 2016. Vol. 116. P. 1–13. doi:10.1016/j.dsr.2016.07.011
2. О влиянии изменчивости течения в глубоководной зоне Черного моря на динамику вод узкого северокавказского шельфа / А. Г. Зацепин [и др.] // *Морской гидрофизический журнал*. 2016. № 3. С. 16–25.
3. Вертикальная структура течений в верхней части континентального склона Черного моря в районе Геленджика / А. Н. Морозов [и др.] // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2017. Т. 53, № 6. С. 718–727. doi:10.7868/S000335151706006X
4. *Морозов А. Н.* Вертикальная структура сдвигов скорости течения в основном пикноклине Черного моря по данным натурных наблюдений 2016 года // *Морской гидрофизический журнал*. 2018. Т. 34, № 6. С. 515–522. doi:10.22449/0233-7584-2018-6-515–522
5. *Кузнецов А. С., Шаповалов Ю. И., Шаповалов Р. О.* Результаты мониторинга динамики полей приповерхностных вод Черного моря судовым комплексом гидрофизических попутных измерений // *Морской гидрофизический журнал*. 2019. Т. 35, № 4. С. 384–394. doi:10.22449/0233-7584-2019-4-384-394
6. Циркуляция вод в северной части Черного моря летом – зимой 2018 г. / Ю. В. Артамонов [и др.] // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2020. № 1. С. 69–90. doi:10.22449/2413-5577-2020-1-69-90

7. Мониторинг прибрежной зоны на Черноморском экспериментальном подспутниковом полигоне / Под ред. В. А. Иванова и В. А. Дулова. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. 526 с.
8. *Иванов В. А., Белокопытов В. Н.* Океанография Черного моря. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 209 с.
9. *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
10. *Кузнецов А. С., Иванов В. А., Зима В. В.* Особенности мезомасштабной динамики вод у Южного побережья Крыма в 2008 – 2016 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2017. № 1. С. 32–39.
11. *Кузнецов А. С., Зима В. В., Щербаченко С. В.* Изменчивость характеристик прибрежного течения у Южного берега Крыма в 2017–2019 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 3. С. 5–16. doi:10.22449/2413-5577-2020-3-5-16
12. *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
13. Опыт использования *ADCP* для исследования динамики прибрежных вод Южного берега Крыма / В. А. Иванов [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. № 4. С. 51–61. doi:10.22449/2413-5577-2019-4-51-61
14. *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

Об авторе:

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*

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Ostrovskii, A.G. and Zatsepin, A.G., 2016. Intense Ventilation of the Black Sea Pycnocline due to Vertical Turbulent Exchange in the Rim Current Area. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 116, pp. 1–13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr.2016.07.011>
2. Zatsepin, A.G., Elkin, D.N., Korzh, A.O., Kuklev, S.B., Podymov, O.I., Ostrovskii, A.G. and Soloviev, D.M., 2016. On Influence of Current Variability in the Deep Black Sea upon Water Dynamics of Narrow North Caucasian Continental Shelf. *Physical Oceanography*, (3), pp. 14–22. doi:10.22449/1573-160X-2016-3-14-22
3. Morozov, A.N., Zatsepin, A.G., Kuklev S.B., Ostrovskii, A.G. and Fedorov, S.V., 2017. Vertical Structure of Currents in the Upper Part of the Continental Slope of the Black Sea in the Region of Gelendzhik. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 53(6), pp. 632–640. <https://doi.org/10.1134/S0001433817060093>

4. Morozov, A.N., 2018. Vertical Structure of Current Velocity Shears in the Main Pycnocline of the Black Sea Based on the in situ Data in 2016. *Physical Oceanography*, 25(6), pp. 472–478. doi:10.22449/1573-160X-2018-6-472-478
5. 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
6. Artamonov, Yu.V., Skripaleva, E.A., Fedirko, A.V., Shutov, S.A., Derjushkin, D.V., Shapovalov, R.O., Shapovalov, Yu.I. and Shcherbachenko, S.V., 2020. Waters Circulation in the Northern Part of the Black Sea in Summer – Winter of 2018. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 69–90. doi:10.22449/2413-5577-2020-1-69-90 (in Russian).
7. Ivanov, V.A. and Dulov, V.A., eds., 2014. *Monitoring of the Coastal Zone in the Black Sea Experimental Sub-Satellite Testing Area*. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika, 526 p. (in Russian).
8. Ivanov, V.A. and Belokopytov, V.N., 2013. *Oceanography of the Black Sea*. Sevastopol: MHI, 210 p.
9. 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. <https://doi.org/10.1134/S1028334X19040044>
10. Kuznetsov, A.S., Ivanov, V.A. and Zima, V.V., 2017. Peculiarities of Mesoscale Water Dynamics near the South Coast of Crimea. In: MHI, 2017. *Ekologicheskaya Bezopasnost' Pribrezhnykh i Shel'fovykh Zon i Kompleksnoe Ispol'zovanie Resursov Shel'fa* [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources]. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika. Iss. 1, pp. 32–39 (in Russian).
11. 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).
12. 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
13. Ivanov, V.A., Morozov, A.N., Kuznetsov, A.S., Mankovskaya, E.V., Shutov, S.A., Zima, V.V., Deryushkin, D.V. and Verzhetskaya, L.V., 2019. Experience of ADCP Usage for Research a Coastal Water Dynamics near the South Coast of Crimea. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (4), pp. 51–61. doi:10.22449/2413-5577-2019-4-51-61
14. 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

About the author:

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.), **SPIN-code: 1838-7191**, **ORCID ID: 0000-0002-5690-5349**, kaskasev@mail.ru

The author has read and approved the final manuscript.