

Геоинформатика. 2024. № 3. С. 30–36.
Geoinformatika. 2024;(3):30–36.

Моделирование геообъектов и геопроцессов

Научная статья

УДК 504.4

<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2024-3-30-36>

Анализ пространственно-временной изменчивости течений в Керченском проливе

© 2024 г. — Евгений Петрович Истомин^{a)}, Ярослав Андреевич Петров^{b)}, Ирма Андреевна Мартын^{c)}, Елена Сергеевна Новожилова^{d)}

ФГБОУ ВО Российский государственный гидрометеорологический университет; Россия, г. Санкт-Петербург

^{a)}biom@bk.ru, ^{b)}yaroslav.petrov025@gmail.com, ^{c)}irma_martyn@mail.ru, ^{d)}novozhilova.elena@icloud.com

Аннотация: В статье приведены результаты исследования пространственно-временной изменчивости скорости течений и ее составляющих в Керченском проливе. Анализ проводится по выборке за период 60 лет. Применяются методы расчета основных метрик, анализ тренда и корреляционный анализ. Графически результаты представляются с помощью геоинформационной системы Surfer. Оценка изменчивости скорости течений проводится для северной, центральной и южной частей Керченского пролива, которые отличаются своими локальными гидрографическими особенностями. По результатам проведенных исследований отмечается различная изменчивость в каждой части пролива; наиболее постоянной является северная часть пролива, южная и центральная части более изменчивы.

Ключевые слова: анализ данных; пространственно-временная изменчивость; морские течения; Керченский пролив.

Для цитирования: Истомин Е.П., Петров Я.А., Мартын И.А., Новожилова Е.С. Анализ пространственно-временной изменчивости течений в Керченском проливе // Геоинформатика. — 2024. — № 3. — С. 30–36. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2024-3-30-36>.

Modeling of geological objects and geoprocesses

Original article

Analysis of the spatial and temporal variability of currents in the Kerch strait

© 2024 — Eugene P. Istomin^{a)}, Yaroslav A. Petrov^{b)}, Irma A. Martyn^{c)}, Elena S. Novozhilova^{d)}

Russian State Hydrometeorological University; Saint-Petersburg, Russia

^{a)}biom@bk.ru, ^{b)}yaroslav.petrov025@gmail.com, ^{c)}irma_martyn@mail.ru, ^{d)}novozhilova.elena@icloud.com

Abstract: The work investigates the spatial and temporal variability of the current velocity and its components in the Kerch Strait. The analysis is carried out on a sample for a period of 60 years. The methods of calculating the main metrics, trend analysis and correlation analysis are used. Graphically, the results are presented using the Surfer geographic information system. The assessment of the variability of the current velocity is carried out for the north, central and southern parts of the Kerch Strait, which differ in their local hydrographic features. According to the results of the conducted studies, there is a different variability in each part of the strait, the most constant is the northern part of the strait, the southern and central parts are more variable.

Key words: data analysis; spatial and temporal variability; sea currents; Kerch Strait.

For citation: Istomin E.P., Petrov Y.A., Martyn I.A., Novozhilova E.S. Analysis of the spatial and temporal variability of currents in the Kerch strait. *Geoinformatika*. 2024;(3):30–36. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2024-3-30-36>. In Russ.

Введение

Керченский пролив играет важную роль в формировании океанографического режима Черного и Азовского морей. Пролив служит передаточным звеном воздействия изменения климата и антропогенного воздействия на морские экосистемы. Экосистемы Керченского пролива также подвержены изменениям, что сказывается на его хозяйственном использовании. Изучение течений Керченского пролива служит важным звеном для понимания физической природы изменения циркуляции вод и ее влияния на изменение климата данного региона [1, 5].

Целью статьи является описание результатов исследования пространственно-временной изменчивости течений в Керченском проливе. Использовались среднегодовые данные зональной и меридиональной составляющей скорости течений в районе Керченского пролива за период 1964–2023 гг.

Работа выполнялась на основе статистических методов, включающих описательную статистику, анализ тренда, спектральный и гармонический анализы и автокорреляционный анализ [4, 6]. Пространственная изменчивость отображается с применением геоинформационных систем [2, 3].

На рис.1 представлена построенная карта точек среднегодовых исходных данных в Керченском проливе.

Рассчитаны основные статистические характеристики: среднее и стандартное отклонение, а также среднее через каждые 20 лет для модуля скорости течения (табл. 1).

Полученные результаты среднего значения скорости течений и стандартного отклонения нанесены на карту (рис. 3, 4).

Среднее значение скорости течения в южной и центральной точках наблюдений имеет практически равные значения и незначительно превышает значение 0,007 м/с. Максимальная средняя скорость течения наблюдается в центральной части пролива. В северной части пролива средняя скорость минимальна и составляет порядка 0,003 м/с (рис. 2).

Стандартное отклонение скорости течений увеличивается с севера на юг с 0,003 м/с на севере пролива до 0,0055 м/с на юге пролива (см. рис. 3).

Среднее значение скорости течения за период 1958–1977 гг. варьирует в пределах 0,0043–0,0071 м/с. В северной и южной частях пролива скорости довольно малы и практически равны, наибольшее среднее значение скорости, осредненное за 20 лет, отмечается в центральной части пролива – 0,0071 м/с. За рассмотренный 20-летний период зональная составляющая скорости имела максимум в центральной части пролива, минимум – в южной части пролива. Среднее меридиональной составляющей скорости, наоборот, имеет минимальные значения в центральной части пролива, максимальные – в южной части пролива.

Рис. 1. Карта с точками исходных данных в Керченском проливе
Fig. 1. Map with source data points in the Kerch Strait

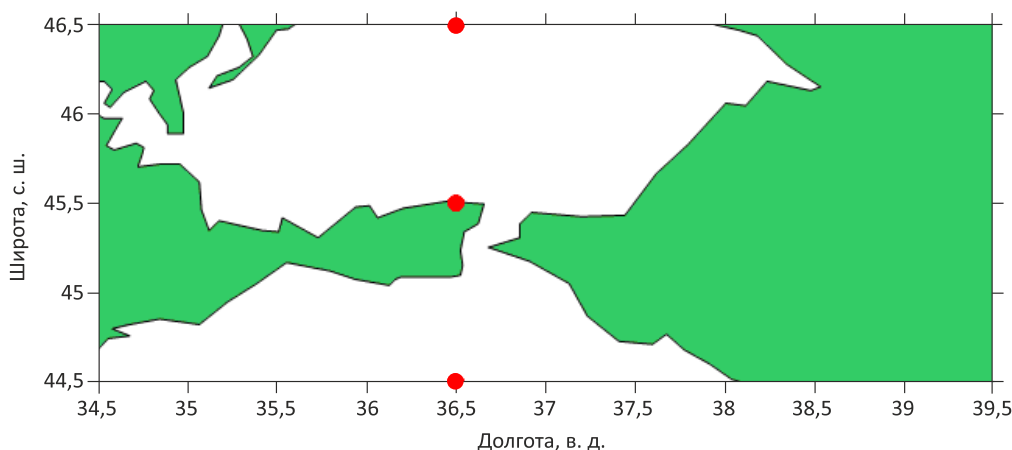


Табл. 1. Основные статистические характеристики для модуля скорости течения за период 1964–2023 гг.

Tab. 1. Main statistical characteristics for current velocity modules for the period 1964–2023

Параметры	Координаты		
	Долгота	Широта	Глубина
Долгота	36,5 E	36,5 E	36,5 E
Широта	44,5 N	45,5 N	46,5 N
Среднее, м/с	0,0072	0,0073	0,0036
Стандартное отклонение, м/с	0,005	0,004	0,003

Табл. 2. Среднее значение модуля скорости течений за каждые 20 лет в период 1964–2023 гг.

Tab. 2. Average value of current velocity modulus for every 20 years in the period 1964–2023

Параметры	Координаты		
	Долгота	Широта	Глубина
Долгота	36,5 E	36,5 E	36,5 E
Широта	44,5 N	45,5 N	46,5 N
1964–1983	0,0068	0,0072	0,0043
1984–2003	0,081	0,0063	0,0028
2003–2023	0,0079	0,0089	0,0035

Рис. 2. Среднее значение скорости течений в Керченском проливе за период 1964–2023 гг., м/с

Fig. 2. Average current speed in the Kerch Strait for the period 1964–2023, m/s

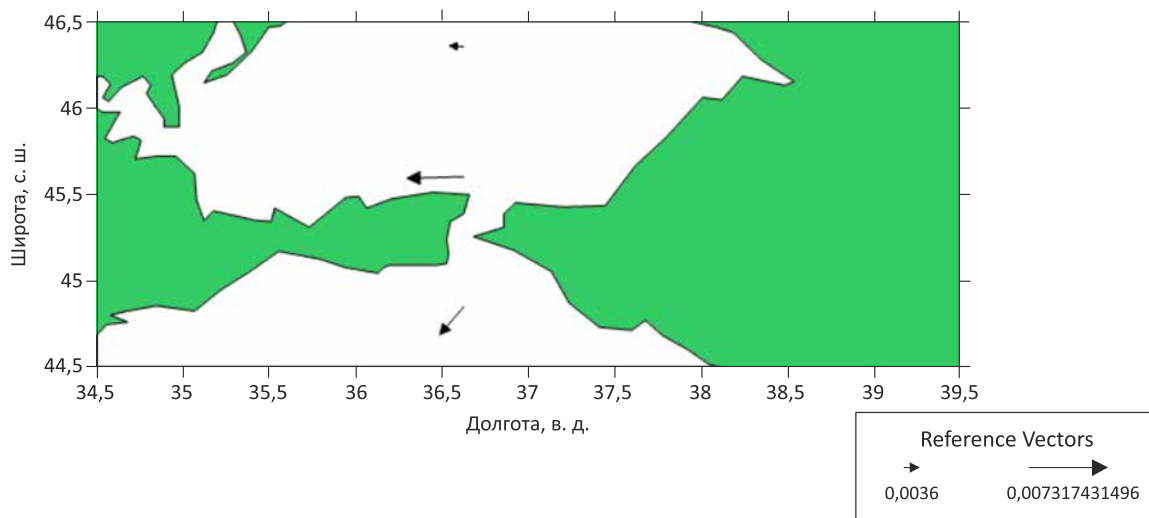


Рис. 3. Стандартное отклонение скорости течений в Керченском проливе за период 1964–2023 гг., м/с

Fig. 3. Standard deviation of current speed in the Kerch Strait for the period 1964–2023, m/s

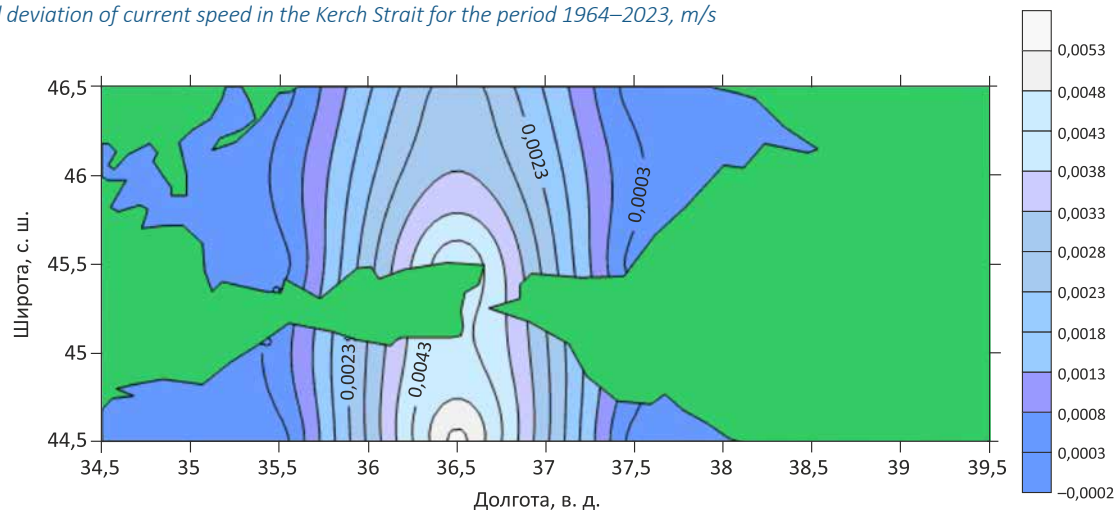
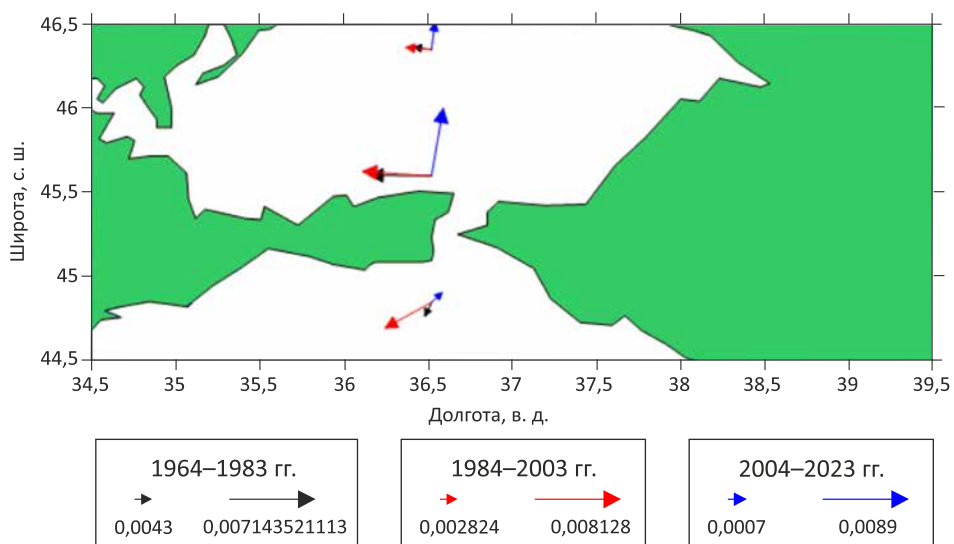


Рис. 4. Среднее значение скорости течений в Керченском проливе в период 1964–1983, 1984–2003 и 2004–2023 гг., м/с

Fig. 4. Average current speed in the Kerch Strait in the period 1964–1983, 1984–2003, and 2004–2023, m/s



Значения зональной и меридиональной составляющих скорости течений довольно схожи.

Среднее значение скорости течений за период 1978–1997 гг. в северной части остается также минимальным; по сравнению с предыдущим 20-летним периодом произошло уменьшение среднего значения до 0,003 м/с. В центральной части пролива также сохраняется максимальное среднее значение скорости порядка 0,006 м/с, средняя скорость в южной части пролива значительно увеличилась относительно скорости в северной части пролива. В общем можно отметить, что средняя скорость течений в Керченском проливе в период 1978–1997 гг. снизилась по сравнению с предыдущим 20-летием. Характер распределения зональной и меридиональной составляющих скорости не изменился.

Средняя скорость течений в последнее 20-летие (1998–2017 гг.) имеет такой же характер пространственного распределения среднего значения, как и в предыдущем случае: максимум отмечается в центре пролива — 0,0087 м/с, минимальное среднее значение скорости в северной части пролива — 0,0039 м/с. Стоит отметить, что за этот период

вновь происходит рост среднего значения скорости течений в Керченском проливе, именно в последнем 20-летию отмечается максимальная средняя скорость течений в центральной части пролива — 0,0087 м/с.

В итоге отметим пространственно-временную изменчивость скорости течений, которая включает увеличение средней скорости в центральной и северной частях пролива, в то время как в южной части после увеличения снова наблюдается снижение средней скорости. Вектор средней скорости имеет тенденцию к повороту по часовой стрелке. Если в 1958 г. направление вектора скорости практически строго западное, то к 2017 г. вектор направлен практически строго на север.

Анализ тренда модуля скорости в каждой точке показал, что вектор значения тренда увеличивается в южной части пролива — более 0,002 м/с за 10 лет (табл. 3), в центральной части значение тренда за 10 лет — 0,0006 м/с, на севере значение тренда наименьшее и составляет около 0,0001 м/с за 10 лет (рис. 5–7). Вектор тренда направлен во всех частях пролива практически строго на север (рис. 8).

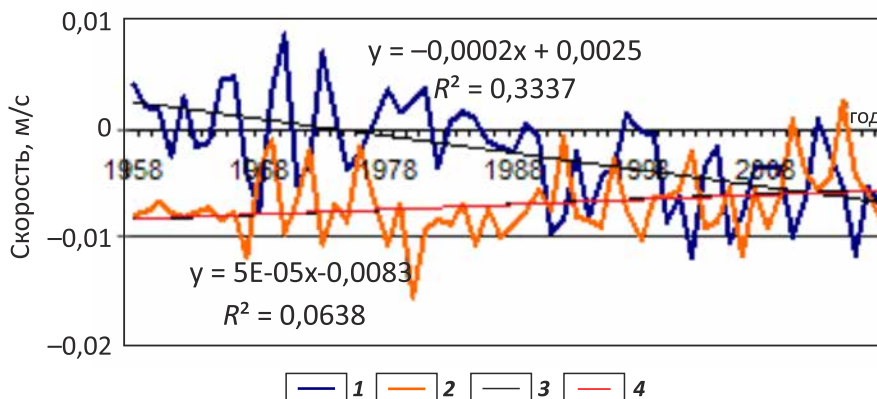
Табл. 3. Значение тренда для модуля скорости в Керченском проливе за 10 лет

Tab.3. Trend value for the velocity module in the Kerch Strait over 10 years

Параметры	Координаты		
Долгота	36,5 E	36,5 E	36,5 E
Широта	44,5 N	45,5 N	46,5 N
Значение тренда, м/с	0,002	0,0006	0,0001
R^2	0,33	0,07	0,001

Рис. 5. Годовой ход зональной и меридиональной скоростей течения с трендом в южной части Керченского пролива

Fig. 5. Annual variation of zonal and meridian current velocity with trend in the southern part of the Kerch Strait



Скорость (1, 2): 1 — зональная u, 2 — меридиональная v; тренд (3, 4): 3 — линейный (зональная u), 4 — линейный (меридиональная v)

Рис. 6. Годовой ход зональной и меридиональной скоростей течения с трендом в центральной части Керченского пролива

Fig. 6. Annual variation of zonal and meridian current speeds with a trend in the central part of the Kerch Strait

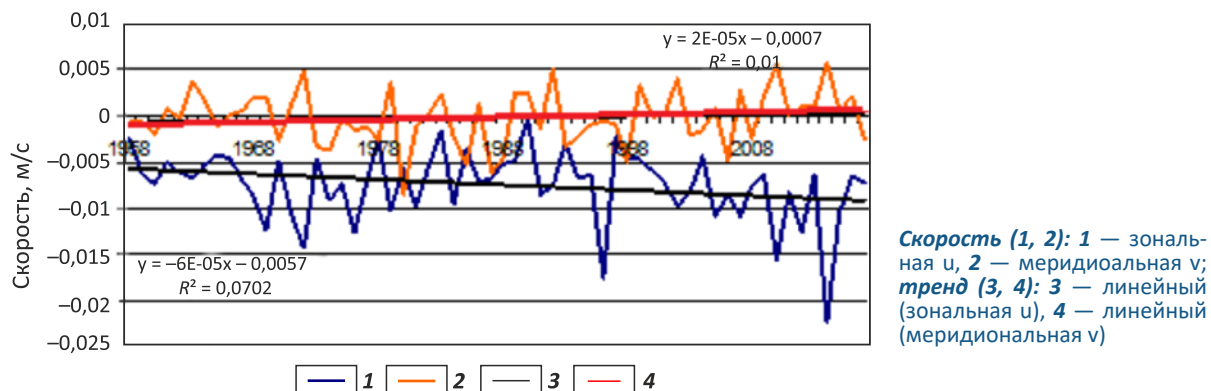


Рис. 7. Годовой ход зональной и меридиональной скоростей течения с трендом в северной части Керченского пролива

Fig. 7. Annual variation of zonal and meridian current speeds with trend in the northern part of the Kerch Strait

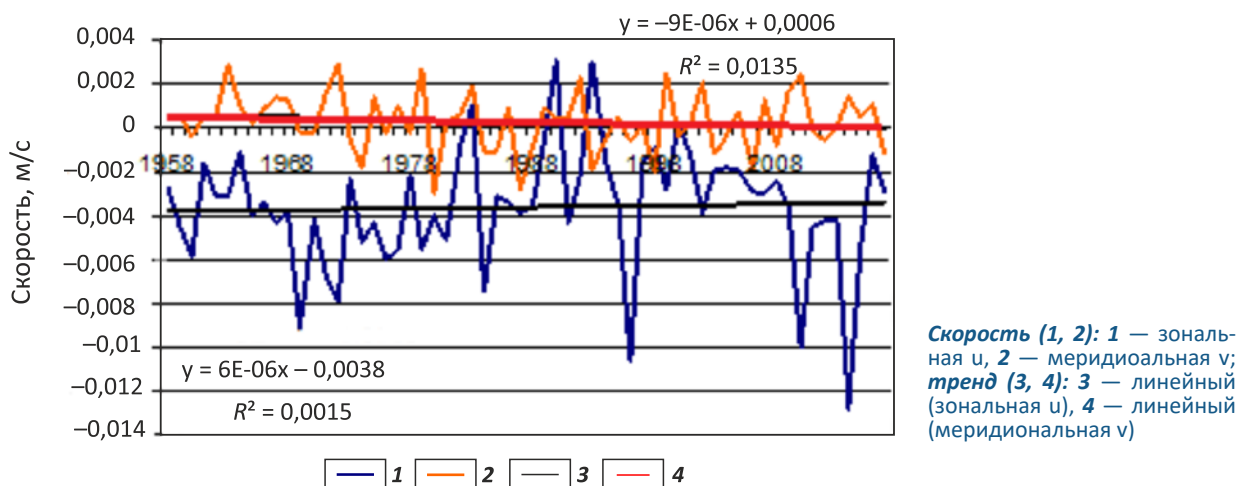
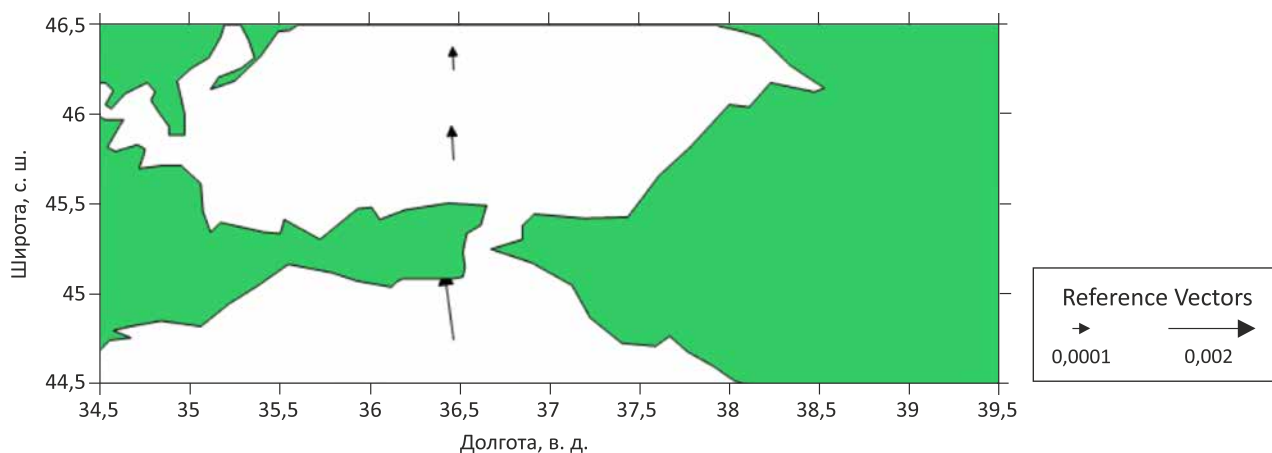


Рис. 8. Значение тренда за 10 лет в районе Керченского пролива, м/с

Fig. 8. Trend value over 10 years in the Kerch Strait area, m/s



R^2 уменьшается с юга на север от 0,33 до 0,001 (см. табл. 3). Это говорит о том, что тренд вносит наибольший вклад в южной части пролива.

Так как по критерию Стьюдента при уровне значимости 5% тренды значимы, из исходных рядов тренд был удален, после чего была рассчитана корреляционная матрица, где выделены значимые коэффициенты корреляции между меридиональными и зональными составляющими скорости течения (табл. 4).

Оценка значимости коэффициентов корреляции показала, что при уровне значимости 5% значимы коэффициенты связи зональной южной части пролива и меридиональной составляющей скорости южной и северной частей пролива ($r = -0,335$ и $r = -0,339$ соответственно), связи зональной составляющей скорости в южной части пролива с меридиональной составляющей южной и центральной частей пролива ($r = -0,4$ и $-0,36$ соответственно), а также связи с зональной составляющей северной части пролива ($r = 0,86$). Значима связь зональной

составляющей северной части и меридиональной составляющей южной части пролива $r = -0,53$. Коэффициенты корреляции между меридиональной составляющей северной части с меридиональной составляющей южной и центральной частей также значимы (см. табл. 4).

В результате проведенной работы были получены основные представления о пространственно-временной изменчивости течений в районе Керченского пролива. Большинство характеристик скорости течений (среднее, стандартное отклонение, значение тренда) имеет минимальное значение в северной части Керченского пролива. Средние значения скорости течений максимальны в центральной части пролива, а в южной части пролива максимальны стандартное отклонение и значение тренда за 10 лет, в северной части максимальных значений не наблюдается. Из этого следует, что наиболее изменчива скорость течений в южной части Керченского пролива. Скорости течений в северной части пролива постоянны.

Табл. 4. Корреляционная матрица для зональной и меридиональной составляющих скорости течений в Керченском проливе за период 1964–2023 гг.

Tab. 4. Correlation matrix for the zonal and meridional components of current speed in the Kerch Strait for the period 1964–2023

	Зональная 36,5 E 44,5 N	Зональная 36,5 E 45,5 N	Зональная 36,5 E 46,5 N	Меридиональная 36,5 E 44,5 N	Меридиональная 36,5 E 45,5 N	Меридиональная 36,5 E 46,5 N
Зональная 36,5 E 44,5 N	1					
Зональная 36,5 E 45,5 N	0,286	1				
Зональная 36,5 E 46,5 N	0,068	0,86	1			
Меридиональная 36,5 E 44,5 N	-0,335	-0,64	-0,53	1		
Меридиональная 36,5 E 45,5 N	-0,257	-0,36	-0,21	0,71	1	
Меридиональная 36,5 E 46,5 N	-0,339	-0,23	-0,15	0,54	0,89	1

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FSZU-2020-0009.

Список источников

1. *Истомин Е.П., Петров Я.А., Мартын И.А., Аганов С.С., Колбина О.Н.* Реализация мониторинга гидрометеорологической обстановки и структуры базы данных для обеспечения безопасности деятельности морских объектов с применением ГИС-технологий // *Информация и космос.* — 2023. — № 2. — С. 95–99.
2. *Мартын И.А., Федоров Д.Д., Малютин А.С.* Долгопериодные климатические колебания ледовой обстановки Арктики // *Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях : сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 7 апреля 2023 г.) / Под ред. И.В. Зайцевой.* — Санкт-Петербург : РГГМУ, 2023. — С. 310–318.
3. *Истомин Е.П., Михеев В.Л., Петров Я.А., Мартын И.А.* Геомоделирование предельного усиления цуга волн при выходе на шельф // *Информация и космос.* — 2021. — № 3. — С. 78–85.
4. *Истомин Е.П., Михеев В.Л., Петров Я.А., Мартын И.А.* Моделирование волновых процессов на замкнутых акваториях мелководных районов // *Геоинформатика.* — 2021. — № 3. — С. 30–35. DOI: 10.47148/1609-364X-2021-3-30-35.

References

1. *Istomin E.P., Petrov Ya.A., Martyn I.A., Aganov S.S., Kolbina O.N.* Implementation of monitoring of the hydrometeorological situation and the structure of the database to ensure the safety of offshore facilities using GIS technologies. *Information and Space.* 2023;(2):95–99.
2. *Martyn I.A., Fedorov D.D., Malyutin A.S.* Long-term climate oscillations in the ice situation in the Arctic. In: *Innovatsionnye metody matematiki i fiziki v ehkologicheskikh i gidrometeorologicheskikh issledovaniyakh: sbornik trudov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* (St. Petersburg, 7 April 2023). Zaitseva I.V., ed. St. Petersburg: RGGMU; 2023. pp. 310–318.
3. *Istomin E.P., Mikheev V.L., Petrov Ya.A., Martyn I.A.* Geomodeling of the limiting amplification of the wave train at the exit to the shelf. *Information and Space.* 2021;(3):78–85.
4. *Istomin E.P., Mikheev V.L., Petrov Ya.A., Martyn I.A.* Modeling of wave processes in closed water areas of shallow water areas. *Geoinformatika.* 2021;(3):30-35. DOI: 10.47148/1609-364X-2021-3-30-35.

Статья поступила в редакцию 25.03.2024 г., одобрена после рецензирования 15.04.2024 г., принята к публикации 25.09.2024 г.
The article was submitted 25.03.2024; approved after reviewing 15.04.2024; accepted for publication 25.09.2024.

Информация об авторах

Истомин Евгений Петрович

Доктор технических наук, профессор, директор института Информационных систем и геотехнологий
ФГБОУ ВО «РГГМУ»
192007 Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д. 79
e-mail: biom@bk.ru
ORCID: 0000-0001-6247-4373
SPIN-код: 6404-9070
AuthorID: 333123

Петров Ярослав Андреевич

Кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры Прикладной информатики
ФГБОУ ВО «РГГМУ»
192007 Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д. 79
e-mail: yaroslav.petrov025@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9185-441X

Мартын Ирма Андреевна

Доцент кафедры Прикладной информатики
ФГБОУ ВО «РГГМУ»
192007 Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д. 79
e-mail: irma_martyn@mail.ru
ORCID: 0000-0002-4332-7308

Новожилова Елена Сергеевна

Старший преподаватель кафедры Прикладной информатики
ФГБОУ ВО «РГГМУ»
192007 Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д. 79
e-mail: novozhilova.elena@icloud.com

Information about authors

Eugene P. Istomin

Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Institute of Information Systems and Geotechnologies
Russian State Hydrometeorological University
79, Voronezhskaya str., Saint-Petersburg, 192007, Russia
e-mail: biom@bk.ru
ORCID: 0000-0001-6247-4373
SPIN-код: 6404-9070
AuthorID: 333123

Yaroslav A. Petrov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Applied Informatics
Russian State Hydrometeorological University
79, Voronezhskaya str., Saint-Petersburg, 192007, Russia
e-mail: yaroslav.petrov025@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9185-441X

Irma A. Martyn

Associate Professor, Department of Applied Informatics
Russian State Hydrometeorological University
79, Voronezhskaya str., Saint-Petersburg, 192007, Russia
e-mail: irma_martyn@mail.ru
ORCID: 0000-0002-4332-7308

Elena S. Novozhilova

Senior Lecturer, Department of Applied Informatics
Russian State Hydrometeorological University
79, Voronezhskaya str., Saint-Petersburg, 192007, Russia
e-mail: novozhilova.elena@icloud.com