

Научный журнал

Учредитель и издатель:

ФГБУН Институт морской геологии и геофизики
Дальневосточного отделения
Российской академии наук

Издаётся с января 2017 г.

Периодичность издания 4 раза в год

Scientific journal

Founder and Publisher:

Institute of Marine Geology and Geophysics
of the Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences

Published since January 2017

Periodicity: Quarterly

Основная задача журнала – информирование научной общественности, российской и зарубежной, о результатах изучения геосистем переходных зон Земли и связанных с ними проблем геофизики, геологии, геодинамики, сейсмологии, геоэкологии и других наук.

The main objective of the journal is informing of scientific community, Russian and foreign, about the results of researches in geosystems of the Earth's transition zones and related problems of geophysics, geology, geodynamics, seismology, geoecology and other sciences.

Журнал:

- индексируется в **Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)**;
- регистрируется в системе **CrossRef**. Научным публикациям присваивается идентификатор – DOI;
- включен в каталог **Ulrich's Periodicals Directory**;
- включен в международную базу научных журналов открытого доступа – **Directory of Open Access Journals (DOAJ)**;
- входит в **Перечень ВАК** – Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, доктора наук по следующим научным специальностям и соответствующим им отраслям науки: :

- 1.6.1. Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика (*геолого-минералогические*)
- 1.6.3. Петрология, вулканология (*геолого-минералогические*)
- 1.6.9. Геофизика (*геолого-минералогические; физико-математические*)
- 1.6.14. Геоморфология и палеогеография (*географические*)
- 1.6.17. Океанология (*географические; геолого-минералогические; физико-математические*)
- 1.6.20. Геоинформатика, картография (*физико-математические*)
- 1.6.21. Геоэкология (*географические; геолого-минералогические*)
- 1.5.15. Экология (*биологические*)
- 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела (*технические; физико-математические*)
- отнесен в Перечне ВАК к журналам II квартиля (K2).

The Journal is:

- indexed in **Russian Science Citation Index (RISC)**;
 - registered in the **CrossRef** system. Scientific publications are assigned an individual identifier DOI;
 - included in the **Ulrich's Periodicals Directory** database;
 - included in the **Directory of Open Access Journals (DOAJ)**;
 - included in the **VAK List** – the List of peer reviewed scientific journals, in which main scientific results of dissertations for the Candidate of Sciences and Doctor of Sciences degrees in the following scientific specialties and corresponding branches of science should be published:
- 1.6.1. General and regional geology. Geotectonics and geodynamics (*Geology and Mineralogy*)
 - 1.6.3. Petrology and volcanology (*Geology and Mineralogy*)
 - 1.6.9. Geophysics (*Geology and Mineralogy; Physics and Mathematics*)
 - 1.6.14. Geomorphology and Paleogeography (*Geography*)
 - 1.6.17. Oceanology (*Geography; Geology and Mineralogy; Physics and Mathematics*)
 - 1.6.20. Geoinformatics and cartography (*Physics and Mathematics*)
 - 1.6.21. Geoecology (*Geography; Geology and Mineralogy*)
 - 1.5.15. Ecology (*Biology*)
 - 1.1.8. Mechanics of deformable solids (*Physics and Mathematics; Engineering*)
 - it is assigned to the K2 quartile in the VAK list.

Адрес учредителя и издателя

ИМГиГ ДВО РАН
ул. Науки, 16, Южно-Сахалинск, 693022
Тел./факс: (4242) 791517
E-mail: gtrz-journal@mail.ru
Сайт: <http://journal.imgg.ru>

Postal address

IMGG FEB RAS
1B, Nauki Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022
Tel. / Fax: (4242) 791517
E-mail: gtrz-journal@mail.ru
Website: <http://journal.imgg.ru>

© ИМГиГ ДВО РАН, 2023

Редакционная коллегия*Главный редактор*

Завьялов Петр Олегович, член-корреспондент РАН, д-р геогр. наук, заместитель директора, руководитель лаборатории взаимодействия океана с водами суши и антропогенных процессов, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

Заместитель главного редактора

Богомолов Леонид Михайлович, д-р физ.-мат. наук, директор, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск

Ответственный секретарь

Прытков Александр Сергеевич, канд. физ.-мат. наук, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск

- **Адушкин Виталий Васильевич**, академик РАН, д-р физ.-мат. наук, Институт динамики геосфер РАН; Московский физико-технический институт, Москва
- **Алексанин Анатолий Иванович**, д-р техн. наук, Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток
- **Быков Виктор Геннадьевич**, д-р физ.-мат. наук, Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Хабаровск
- **Закупин Александр Сергеевич**, канд. физ.-мат. наук, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск – *зам. главного редактора*
- **Ковалев Дмитрий Петрович**, д-р физ.-мат. наук, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск
- **Кочарян Геворг Грантович**, д-р физ.-мат. наук, профессор, Институт динамики геосфер РАН, Москва
- **Куркин Андрей Александрович**, д-р физ.-мат. наук, профессор, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород
- **Лабай Вячеслав Степанович**, д-р биол. наук, Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Южно-Сахалинск
- **Левин Владимир Алексеевич**, академик РАН, д-р физ.-мат. наук, профессор, Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток; Институт механики МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва
- **Лучин Владимир Александрович**, д-р геогр. наук, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток
- **Марапупец Юрий Валентинович**, д-р физ.-мат. наук, доцент, Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Камчатский край, Паратунка
- **Огородов Станислав Анатольевич**, профессор РАН, д-р геогр. наук, чл.-корр. РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва
- **Плехов Олег Анатольевич**, чл.-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук, профессор, Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь
- **Разжигаяева Надежда Глебовна**, д-р геогр. наук, Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток
- **Ребetsкий Юрий Леонидович**, д-р физ.-мат. наук, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва
- **Родкин Михаил Владимирович**, д-р физ.-мат. наук, Международный институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва
- **Рыбин Анатолий Кузьмич**, д-р физ.-мат. наук, Научная станция РАН в г. Бишкеке, Бишкек, Киргизия
- **Сасорова Елена Васильевна**, д-р физ.-мат. наук, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

Editorial Board*Editor-in-Chief*

Peter O. Zav'yalov, Corr. Member of the RAS, Dr. Sci. (Geography), Deputy Director, Head of the Laboratory of land-ocean interactions and the anthropogenic impact, P.P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow, Russia

Deputy Editor-in-Chief

Leonid M. Bogomolov, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Director, Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Executive Secretary

Alexander S. Prytkov, Cand. Sci. (Phys. and Math.), Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk

- **Vitaly V. Adushkin**, Academician of RAS, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Institute of Geosphere Dynamics of RAS; Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow
- **Anatoly I. Alexanin**, Dr. Sci. (Eng.), The Institute of Automation and Control Processes of the FEB RAS, Vladivostok
- **Victor G. Bykov**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics of the FEB RAS, Khabarovsk
- **Alexander S. Zakupin**, Cand. Sci. (Phys. and Math.), Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk – *Deputy Editor-in-Chief*
- **Dmitry P. Kovalev**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk
- **Gevorg G. Kocharyan**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Institute of Geosphere Dynamics of RAS, Moscow
- **Andrei A. Kurkin**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod
- **Vyacheslav S. Labay**, Dr. Sci. (Biology), Sakhalin Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk
- **Vladimir A. Levin**, Academician of RAS, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Institute of Automation and Control Processes of the FEB RAS, Vladivostok; Lomonosov Moscow State University, Moscow
- **Vladimir A. Luchin**, Dr. Sci. (Geogr.), V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute of the FEB RAS, Vladivostok
- **Yuri V. Marapulets**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Associate Professor, Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation of the FEB RAS, Kamchatka Region
- **Stanislav A. Ogorodov**, Professor of RAS, Dr. Sci. (Geogr.), Corr. Member of RAES, Lomonosov Moscow State University, Moscow
- **Oleg A. Plekhov**, Corr. Member of RAS, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Institute of Continuous Media Mechanics of the Ural Branch of RAS, Perm'
- **Nadezhda G. Razjigaeva**, Dr. Sci. (Geogr.), Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok
- **Yuri L. Rebetskiy**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Schmidt Institute of Physics of the Earth of RAS, Moscow
- **Mikhail V. Rodkin**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics of RAS, Moscow
- **Anatoly K. Rybin**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Research Station of RAS in Bishkek City, Bishkek, Kyrgyzstan
- **Elena V. Sasorova**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), P.P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow

Редакционная коллегия

- **Сергеева Ирина Вячеславовна**, д-р биол. наук, профессор, Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, Саратов
- **Такахаши Хироаки**, профессор, Институт сейсмологии и вулканологии Университета Хоккайдо, Саппоро, Япония
- **Троицкая Юлия Игоревна**, д-р физ.-мат. наук, профессор, Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород; Нижегородский гос. университет им Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород
- **Христофорова Надежда Константиновна**, д-р биол. наук, профессор, чл.-корр. РАЕН, Заслуженный деятель науки РФ, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток
- **Шакиров Ренат Белалович**, д-р геол.-минер. наук, доцент, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток
- **Шевченко Георгий Владимирович**, д-р физ.-мат. наук, Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Южно-Сахалинск
- **Шеменда Александр Ильич**, профессор исключительного класса, Университет Ниццы София-Антиполис, Ницца, Франция
- **Ярмолук Владимир Викторович**, академик РАН, д-р геол.-минер. наук, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва

Editorial Board

- **Irina V. Sergeeva**, Dr. Sci. (Biology), Professor, Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov
- **Hiroaki Takahashi**, Professor, Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, Sapporo, Japan
- **Yuliya I. Troitskaya**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Institute of Applied Physics of RAS, Nizhniy Novgorod; Lobachevsky University, Nizhniy Novgorod
- **Nadezhda K. Khristoforova**, Dr. Sci. (Biology), Professor, Corr. Member of RAES, Far Eastern Federal University, Vladivostok
- **Renat B. Shakirov**, Dr. Sci. (Geol. and Miner.), Associate Professor, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute of the FEB RAS, Vladivostok
- **Georgiy V. Shevchenko**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Sakhalin Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk
- **Alexandre I. Chemenda (Shemenda)**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professeur des Universités de Classe Exceptionnelle, Université de Nice Sophia Antipolis, Nice, France
- **Vladimir V. Yarmolyuk**, Academician of RAS, Dr. Sci. (Geol. and Miner.), Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of RAS, Moscow

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. (Регистрационный номер ПИ № ФС 77-73243 от 13.07.2018 г.). Территория распространения – Российская Федерация, зарубежные страны.

Переводчик Качесова Галина Сергеевна

Редактор к.ф.н. **Низяева Галина Филипповна**
Компьютерная верстка **Филимонкина Анна Александровна**
Корректор **Качесова Галина Сергеевна**
Дизайн **Леоненкова Александра Викторовна**

Адрес редакции журнала и типографии:
 693022, Россия, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б.
 gtrz-journal@mail.ru

Формат 60 × 84 /8. Усл. печ. л. 13.2.
 Тираж 150 экз. Заказ 8023. Свободная цена.
 Дата выхода в свет 28.09.2023.

Подписной индекс в Объединенном интернет-каталоге «Пресса России» (www.pressa-rr.ru) – 80882.

По вопросам распространения обращаться также в редакцию.

Translator Galina S. Kachesova

Editor **Galina Ph. Nizyaeva**, Cand. Sci. (Phylogeny)
Desktop publishing **Anna A. Filimonkina**
Proofreader **Galina S. Kachesova**
Design **Alexandra V. Leonenkova**

Postal address of the Editorial Office and printing house:
 1B, Nauki Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022.
 gtrz-journal@mail.ru

Sheet size 60 × 84 /8. Conv. print. sheets 13.2.
 Number of copies 150. Order no. 8023. Free price.
 Date of publishing 28.09.2023.

Subscription index in the United web-catalogue "Press of Russia" (www.pressa-rr.ru) – 80882.

Please also contact the Editorial Office for distribution.

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENT

Геофизика. Сейсмология

Н.А. Сычева. Исследование сейсмотектонических деформаций земной коры Алтае-Саянской горной области. Часть I ... 223

Общая и региональная геология

М.Ф. Крутенко, В.И. Исаев, Г. Лобова. «Палеозойская» нефть Урманского месторождения (юго-восток Западной Сибири) ... 243

Общая и региональная геология. Океанология

Р.Б. Шакиров, Е.В. Мальцева, А.Л. Веникова, Н.Л. Соколова, А. И. Гресов. Комплексные геолого-геофизические исследования по обоснованию внешней границы континентального шельфа России в Охотском и Восточно-Сибирском морях (2006–2009 гг.): обзор ... 264

Океанология. Геоинформатика и картография

Г.В. Шевченко, Д.М. Ложкин. Сезонные и межгодовые вариации температуры поверхности моря в Татарском проливе по спутниковым данным ... 276

Т.А. Воронина, В.В. Воронин. [Метод выбора данных для восстановления формы источника цунами] ... 292

Механика деформируемого твердого тела

П.Г. Великанов, Ю.П. Артюхин. Исследование по динамике многоэтажных зданий ... 304

Геоэкология. Геоинформатика, картография

НАУЧНАЯ СМЕНА

М.Н. Маслова. Количественный анализ эколого-хозяйственного баланса и структуры использования земель бассейна р. Туманная ... 316

Geophysics. Seismology

N.A. Sycheva. Study of seismotectonic deformations of the Earth's crust in the Altai-Sayan mountain region. Part I 223

General and regional geology

M.F. Krutenko, V.I. Isaev, G. Lobova. The Paleozoic oil in the Urman field (the southeast of Western Siberia) 243

General and regional geology. Oceanology

R.B. Shakirov, E.V. Maltseva, A.L. Venikova, N.L. Sokolova, A.I. Gresov. Complex geological and geophysical studies on substantiation of the outer limits of the Russian continental shelf in the Sea of Okhotsk and East Siberian Sea (2006–2009): Review (in Engl., <http://journal.imgg.ru/web/full/f-e2023-3-3.pdf>) 264

Oceanology. Geoinformatics and cartography

G.V. Shevchenko, D.M. Lozhkin. Seasonal and interannual variations in sea surface temperature in the Tatar Strait according to satellite data (in Engl., <http://journal.imgg.ru/web/full/f-e2023-3-4.pdf>) ... 276

T.A. Voronina, V.V. Voronin. Data selection method for restoring a tsunami source form (in English) 292

Mechanics of deformable solids

P.G. Velikanov, Y.P. Artyukhin. Research on the dynamics of multi-storey buildings 304

Geocology. Geoinformatics and cartography

NEW SCIENTIFIC GENERATION

M.N. Maslova. Quantitative analysis of the ecological and economic balance and the structure of land use in the basin of the Tumannaya River 316

© Авторы 2023 г. Открытый доступ.
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)



© The Authors 2023. Open access.
Content is available under Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)

УДК 551.526.6,528.88(265.546)

<https://doi.org/10.30730/gtrz.2023.7.3.276-291>
<https://www.elibrary.ru/pzvwvvp>

Сезонные и межгодовые вариации температуры поверхности моря в Татарском проливе по спутниковым данным*

Г. В. Шевченко^{@1,2}, Д. М. Ложкин¹

@ E-mail: shevchenko_zhora@mail.ru

¹Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Южно-Сахалинск, Россия

²Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

Резюме. Цель работы – провести системный статистический анализ пространственно-временной изменчивости температуры поверхности моря (ТПМ) на акватории Татарского пролива на основе спутниковых данных 1998–2021 гг., накопленных в Сахалинском филиале ВНИРО с помощью приемной станции TeraScan. Выявлено, что в различные сезоны года структура ТПМ сходна. Наиболее высокие значения ТПМ отмечаются на юго-востоке, самые низкие – на северо-западе пролива. Существенные различия наблюдаются осенью за счет формирования полосы холодной воды вдоль западного побережья Сахалина (сужающейся в южной части острова), обусловленной формированием прибрежного апвеллинга под воздействием характерных для холодного сезона ветров северного румба. Расчет коэффициентов линейного тренда выявил тенденцию к понижению температуры поверхностного слоя в Татарском проливе, наиболее выраженную зимой (в северной части бассейна) и весной ($-0.5 \dots -1$ °C/10 лет). Важный новый результат получен при разложении поля ТПМ по ЕОФ, он связан с резким изменением характера временной функции третьей моды, которое случилось в 2013–2014 гг. Такие изменения можно характеризовать как климатический сдвиг в изучаемой акватории. Наиболее выражен он в северо-западной части пролива и у юго-западного берега о. Сахалин, где изменение составило около 1 °C. Это обстоятельство может оказывать заметное влияние на состояние популяций нескольких видов креветки и промысловых рыб.

Ключевые слова: температура поверхности моря, Татарский пролив, сезонные вариации, тренд, естественные ортогональные функции, климатический сдвиг

Seasonal and interannual variations in sea surface temperature in the Tatar Strait according to satellite data*

Georgy V. Shevchenko^{@1,2}, Dmitry M. Lozhkin¹

@ E-mail: shevchenko_zhora@mail.ru

¹Sakhalin Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

²Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Abstract. The aim of the work was to conduct a systematic statistical analysis of the spatial and temporal variability of sea surface temperature (SST) in the waters of the Tatar Strait based on satellite data accumulated in the Sakhalin branch of VNIRO using the TeraScan receiving station for 1998–2021. It was revealed that in different seasons of the year the SST structure is similar and characterized by the highest values in the southeast and the lowest in the northwest of the strait. An important new result was obtained by expanding of the SST field in terms of the EOF, which is associated with a sharp change in the nature of the time function of the third mode, which occurred in 2013–2014. Such changes can be considered as a climatic shift in the studied area most pronounced in the northwestern part of the strait and near

* Полный текст данной статьи на английском языке размещен на сайте журнала [The full text of this article in English can be found on the website of the «Geosystems of Transition Zones» journal]: <http://journal.imgg.ru/web/full/f-e2023-3-4.pdf>

the southwestern coast of Sakhalin Island, where the change was about 1 °C. This circumstance can have a noticeable effect on the state of populations of several species of shrimp and commercial fish.

Keywords: sea surface temperature, Tatar Strait, seasonal variations, trend, empirical orthogonal functions, climatic shift

Для цитирования: Шевченко Г.В., Ложкин Д.М. Сезонные и межгодовые вариации температуры поверхности моря в Татарском проливе по спутниковым данным. *Геосистемы переходных зон*, 2023, т. 7, № 3, с. 276–291. <https://doi.org/10.30730/gtr.2023.7.3.276-291>; <https://www.elibrary.ru/pzvwvp>

For citation: Shevchenko G.V., Lozhkin D.M. Seasonal and inter-annual variations in sea surface temperature in the Tatar Strait according to satellite data. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2023, vol. 7, no. 3, pp. 276–291. (In Russ. and in Engl.). <https://doi.org/10.30730/gtr.2023.7.3.276-291>; <http://journal.imgg.ru/web/full/f-e2023-3-4.pdf>

Введение

Акватория Татарского пролива имеет важнейшее промысловое значение. У западного побережья Сахалина растет добыча сельди и мойвы, здесь также вылавливается значительное количество креветки различных видов. Однако несколько лет назад заметили негативные тенденции в состоянии их запаса, что стало одной из побудительных причин исследования пространственно-временной изменчивости термических условий в этом районе. Изменения термического режима в условиях изменяющегося климата могли влиять и на наблюдающийся в последние годы существенный рост численности сельди, которая с середины 1940-х до середины 1970-х годов прошлого века была важнейшим объектом промысла в данном бассейне, а также на состояние популяций тихоокеанских лососей.

Вариациям термического режима в Татарском проливе посвящено немало работ. Основная часть из них основана на материалах океанологических съемок [1–9], в последние годы увеличивается количество исследований, базирующихся на спутниковых данных [10–13], реже на результатах измерений на береговых гидрометеорологических станциях [14–17]. Межгодовые колебания температуры морской воды в северной части пролива рассматривались также при изучении изменчивости ледовых условий [18–19].

Однако большинство из указанных исследований основывалось на материалах судовых измерений, выполненных к тому же до наступления эпохи глобального потепления. В других работах изучались отдельные аспекты термического режима (например, наличие

однаправленных тенденций в вариациях температуры поверхностного слоя воды) или анализировались ситуации, характеризовавшиеся существенными отклонениями от обычного режима. В то же время систематического статистического пространственно-временного анализа этих условий выполнено не было.

В отличие от традиционных судовых океанологических съемок, спутниковые наблюдения за температурой поверхности моря (ТПМ) характеризуются полным охватом акватории и регулярностью поступления данных. Поэтому они являются наиболее подходящим материалом для изучения пространственно-временных вариаций термического режима в условиях изменяющегося климата с применением различных методов статистического анализа и существенно дополняют традиционные судовые исследования (равно как океанологические зондирования позволяют оценить отклик во всей водной толще на изменения в поверхностном слое моря).

В данной работе основное внимание уделено межгодовой изменчивости (а также сезонным вариациям) термических условий на основе материалов спутниковых наблюдений за температурой поверхности за 1998–2021 гг. Для решения поставленной задачи использован метод естественных ортогональных функций (ЕОФ).

Материалы и методы исследования

В Сахалинском филиале ВНИРО накоплен значительный объем данных спутниковых наблюдений за температурой поверхности моря благодаря установленной в 1997 г. приемной спутниковой станции TeraScan. С 1998 г. на-

лажен регулярный прием поступающих материалов наблюдений и формирование базы данных, основой которой являются суточные распределения параметра с пространственным разрешением около 2 км.

Помимо этого для осуществления различных расчетов (определение средних многолетних значений – норм, аномалий температуры, линейных трендов, параметров сезонных гармоник и т.д.) созданы базы с пространственным разрешением четверть градуса и осреднением по времени с периодами 10 сут и 1 мес. За последние 5 лет сохранены также отдельные спутниковые снимки. Анализ всех этих материалов выполнен ниже для определения характера сезонных и межгодовых вариаций ТПМ. В наиболее полной форме они отражены при разложении гидрометеорологических параметров по естественным ортогональным функциям – ЕОФ [20]. В данной работе, кроме разложения поля ТПМ по ЕОФ, рассмотрены усредненные пространственные распределения данного параметра в различные сезоны года, рассчитаны амплитуды и фазы годовой и полугодовой гармоник и коэффициенты линейного тренда, а также наиболее значительные отклонения ТПМ от средних многолетних значений.

Результаты и обсуждение

Усредненные распределения ТПМ по сезонам года

На рис. 1 представлены средние многолетние распределения температуры поверхности моря в Татарском проливе в различные сезоны года. Зимой (январь–март) в северной части данной акватории, находящейся к северу от параллели 49° с.ш. температура воды отрицательная. В этом районе обычно формируется ледяной покров, наибольшая ледовитость наблюдается во второй половине января – феврале. Самые низкие значения, около -1 °С, отмечены между параллелями 50° и 51°. Вода с отрицательными значениями, плавно изменяющимися от -0.6 до -0.1 °С, занимает полосу вдоль континентального побережья, ширина которой также постепенно уменьшается. У западного берега о. Сахалин отметки немного ниже 0 °С наблюдаются

на Чехово-Ильинском мелководье. В южной части пролива вода более теплая, с положительными значениями ТПМ, что обусловлено остаточным влиянием теплого Цусимского течения. Максимальные значения температуры (около 3.5 °С) выявлены на южной границе изучаемого бассейна между меридианами 140° и 141°.

Весной структура пространственного распределения температуры поверхности моря в Татарском проливе имеет схожий характер: наиболее теплая вода (7.5–7.8 °С) поступает с юга с Цусимским течением и движется в направлении небольшого острова Монерон, оставляя узкую полосу более холодной воды вблизи берега о. Сахалин. Обширное пятно воды с низкими значениями температуры (3.5–3.8 °С) образуется в северной части рассматриваемого бассейна, на некотором удалении от берегов, за исключением континентального побережья между 48.5 и 50° с.ш.

Летом структура распределения сохраняется, только значения ТПМ существенно возрастают на всей акватории пролива. Так, в его юго-восточной части, в зоне залива Цусимского течения, отмечены максимальные значения, 18.4 °С, а на северо-западе минимальные, 14.5 °С.

Осенью происходят определенные изменения в распределении ТПМ, обусловленные перестройкой поля ветра к зимнему муссону, для которого характерны сильные и устойчивые северо-западные и северные ветра. В результате их сгонного действия в северной части акватории, примыкающей к прол. Невельского, наблюдается наиболее холодная вода с температурой около 3.5 °С. Благодаря поступлению из Амурского лимана распресненной воды стока р. Амур, менее плотная, хотя и сравнительно холодная вода движется на юг вдоль материкового побережья. Вдоль западного берега Сахалина также отмечается полоса холодной воды, но обусловлена она воздействием ветра, а именно формированием ветрового апвеллинга, когда воздушный поток оставляет берег слева [3, 9]. За счет более низкой температуры образуется прибрежный поток воды с высокой плотностью, направленный на юг. Как следует из рис. 1, он достигает Чехово-Ильинского мелководья, где эта вода оттесняет теплую воду Цусимского течения в централь-

ную часть Татарского пролива. У юго-западного побережья острова апвеллинг выражен слабее.

Для изучения вариаций ТПМ во времени акватория пролива была разбита на 3 части: северную, к северу от параллели 49°; юго-восточную, расположенную к югу от указанной параллели и к востоку от меридиана 141°; и юго-западную, к западу от него. Очевидно, северная часть по своему термическому режиму существенно отличается от южной, так как является значительно более холодной. Мы также исходили из того, что область к востоку от 141-го меридиана, включающая область шельфа и материкового склона у юго-западного берега Сахалина, находится под более сильным влиянием Цусимского течения, чем западная, в значительной мере испытывающая воздействие холодного Приморского течения.

На рис. 2 представлены графики вариаций ТПМ в трех указанных районах. Видно, что в северном районе температура поверхностного слоя заметно ниже, чем в южных, в особенности в зимний период. Ожидалось, что в юго-восточной части значения ТПМ будут заметно выше, чем в юго-западной. В большинстве случаев это так, но различия малы, а в некоторых случаях летние максимумы выше в юго-западном районе (2002–2003, 2011 гг.). Возможно, разделение на области было не оптимальным,

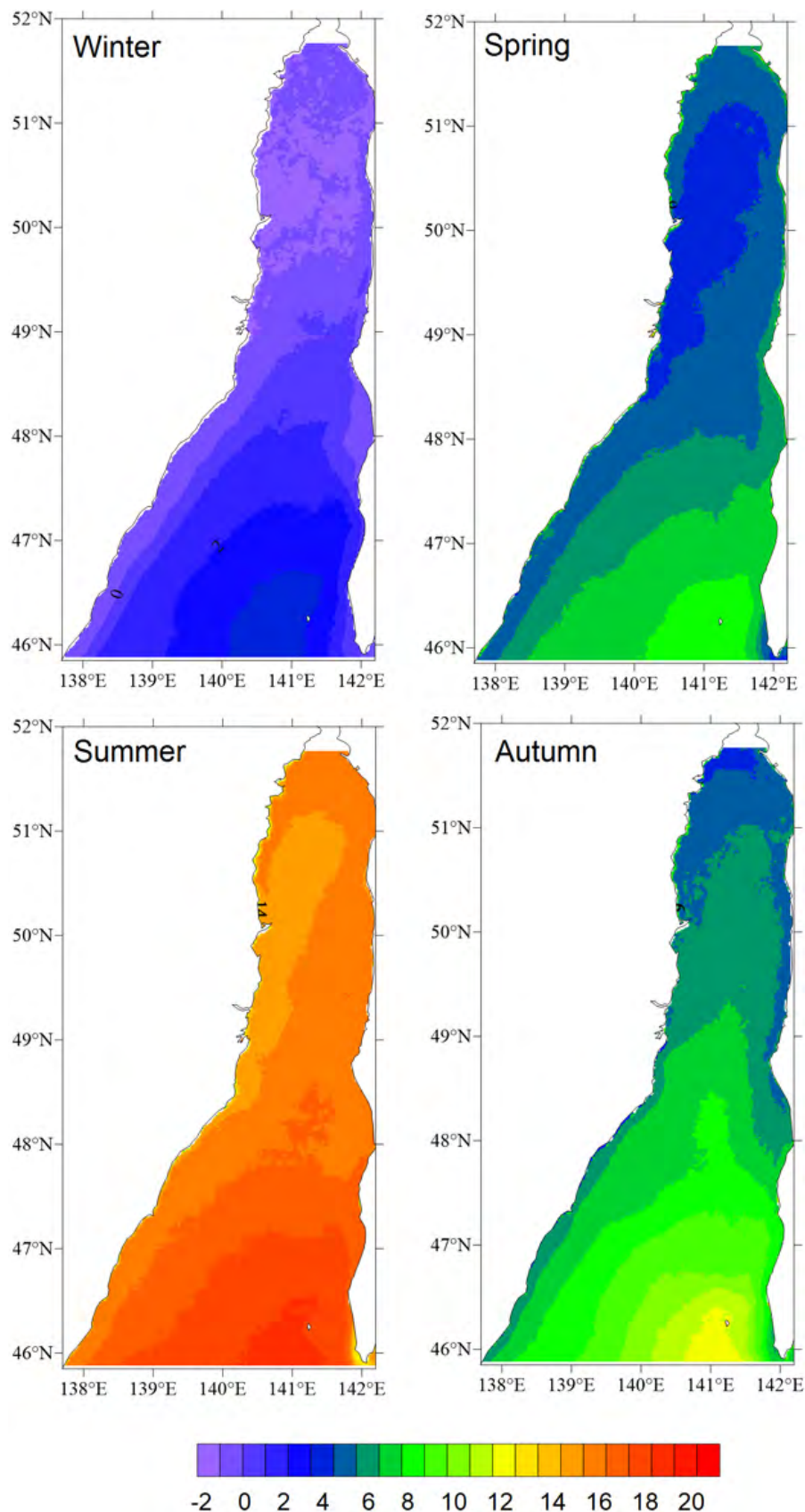


Рис. 1. Среднее многолетнее распределение ТПМ (в °С) в Татарском проливе зимой, весной, летом и осенью.

Fig. 1. Average long-term distribution of SST (in °C) in the Tatar Strait in winter, spring, summer and autumn.

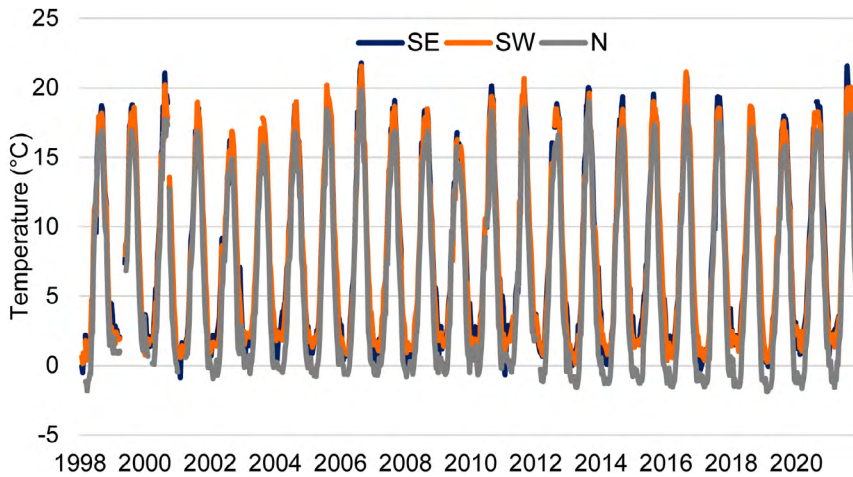


Рис. 2. Графики вариаций ТПМ (в °С), усредненных по северной, юго-восточной и юго-западной частям Татарского пролива.

Fig. 2. Graphs of SST variations (in °C) averaged over the northern, southeastern, and southwestern parts of the Tatar Strait.

однако разделение по меридиану 140° также не было более удачным. Но эти обстоятельства не так существенны, важен тот факт, что межгодовые вариации, выраженные в модуляции годового хода, идентичны во всех районах, а значит, определяются одинаковыми причинами. В них просматриваются выраженные квазициклические составляющие, по визуальной оценке с периодом 6–7 лет. На характере межгодовых колебаний остановимся ниже, вначале рассмотрим сезонную изменчивость ТПМ.

Сезонные вариации ТПМ

В табл. 1 приведены средние многолетние значения ТПМ для каждого месяца в трех указанных выше районах Татарского пролива. Во всех районах максимум наблюдается в августе, его величина составляет 16.6 °С в северном, 18.25 °С в юго-западном и 18.35 °С в юго-восточном. В сентябре также отмечены теплые условия (усредненное значение ТПМ существенно выше, чем в июле, и примерно на 1 °С ниже, чем в августе). Минимальные температуры выявлены в северном и юго-западном районах в марте, а в юго-восточном в феврале – в марте здесь уже начинает сказываться отепляющее влияние Цусимского течения и значение выше не только февральского, но и январского показателей.

Рассчитывалась также величина среднеквадратического отклонения, характеризующая степень изменчивости параметра.

В холодный период года она значительно меньше, чем в теплый (в 1.5–2 раза), что вполне естественно. На этом фоне резко выделяется низкими значениями сентябрь, что указывает на существенно более стабильные термические условия во всех трех районах в этом месяце по сравнению с другими. Физическую причину этого интересного явления объяснить сложно, учитывая, что обычно в третьей декаде сентября происходит перестройка поля ветра от летнего муссона к зимнему и метеорологические условия трудно

назвать устойчивыми.

Временные функции вариаций ТПМ в каждом из районов хорошо описываются комбинацией годовой и полугодовой гармоник. Амплитуды и фазы этих составляющих, рассчитанных методом наименьших квадратов, приведены в табл. 2. Так, в северном районе амплитуда годовой гармоник составила 8.6 °С, на ее долю приходилось 93 % дисперсии параметра, амплитуда полугодовой составляющей была существенно меньше (2.3 °С), и ее вклад составлял 6.8 %.

Таблица 1. Средние многолетние значения ТПМ (в °С) в различных районах Татарского пролива для различных месяцев года

Table 1. Average long-term SST values (in °C) in different parts of the Tatar Strait for different months of the year

Месяц	Север	Юго-запад	Юго-восток
Январь	0.01	1.74	1.54
Февраль	-0.46	1.54	1.35
Март	-0.72	1.36	1.58
Апрель	0.06	2.34	2.72
Май	3.24	4.98	5.26
Июнь	8.49	9.49	9.61
Июль	13.44	14.70	14.83
Август	16.61	18.25	18.35
Сентябрь	15.52	16.98	17.04
Октябрь	9.93	12.16	11.76
Ноябрь	3.72	7.11	6.45
Декабрь	0.54	3.26	3.77

В юго-западном районе амплитуды этих гармоник были меньше (8.3 и 2.0 °C), а их доли составляли 94.5 и 5.4 % соответственно. На юго-восточном участке амплитуды сезонных колебаний были точно такими же, как и на юго-западном, а их доли имели близкие значения (94.3 и 5.4 %).

Амплитуда годовой гармоника существенно изменялась в разные годы. Наименьшее значение для всех районов отмечено в холодном 2002 г. (7.6; 7.4 и 6.8 °C в северном, юго-западном и юго-восточном районах соответственно), а наибольшее – в теплом 2006 (9.5; 9.2 и 9.4 °C соответственно).

На рис. 3 представлены пространственные распределения амплитуды и фазы годовой гармоника, рассчитанные за период 1998–2021 гг. Для северной части пролива из-за пропусков данных, обусловленных влиянием ледяного

покрова, эти величины корректно не определялись, так что полученные значения относились только к южной части северного района.

В целом в масштабах всего Татарского пролива вариации данных параметров невелики. Амплитуда годовой гармоника колеблется в пределах от 7.9 °C (два небольших пятна в районе мыса Ламанон) до 9 °C на севере, вблизи зоны, где значения рассчитать не удалось из-за влияния льдов. Фаза этой составляющей также менялась в узких пределах: на основной части акватории пролива от 217 до 221°, что отвечает максимуму в первой половине августа. В узкой полосе вдоль западного берега Сахалина значения фазы несколько меньше, от 206 до 209°.

Амплитуда полугодовой гармоника минимальна на юго-востоке пролива, в области, примыкающей к прол. Лаперуза (около 1.5 °C), и максимальна вблизи берега Сахалина на участке от 49.5 до 50.5° с.ш., где она достигает 2.5 °C. Фаза этой составляющей на большей части пролива колеблется в пределах 65–75°, и только вблизи прол. Лаперуза возрастает до 100°.

Таблица 2. Амплитуды (H) и фазы (G) годовой и полугодовой гармоник в различных частях Татарского пролива
Table 2. Amplitudes (H) and phases (G) of the annual and semi-annual harmonics in different parts of the Tatar Strait

Период	Север		Юго-запад		Юго-восток	
	H, °C	G, °	H, °C	G, °	H, °C	G, °
Год	8.6	213.9	8.3	217.5	8.3	215.8
Полгода	2.3	67.9	2	75.1	2	73.7

Межгодовая изменчивость термических условий

В современных условиях, когда главную роль в изменениях климата на Земле играет

глобальное потепление, при изучении вариаций термических условий в морских акваториях наиболее часто возникает вопрос о наличии в них однонаправленных тенденций (трендов). Для ответа на этот вопрос в каждой пространственной четвертьградусной ячейке акватории Татарского пролива были рассчитаны коэффициенты линейного тренда. Расчеты выполнялись для полного года, посезонно и для каждого месяца отдельно. На рис. 4 представлены результаты вычислений для различных сезонов года, коэффициен-

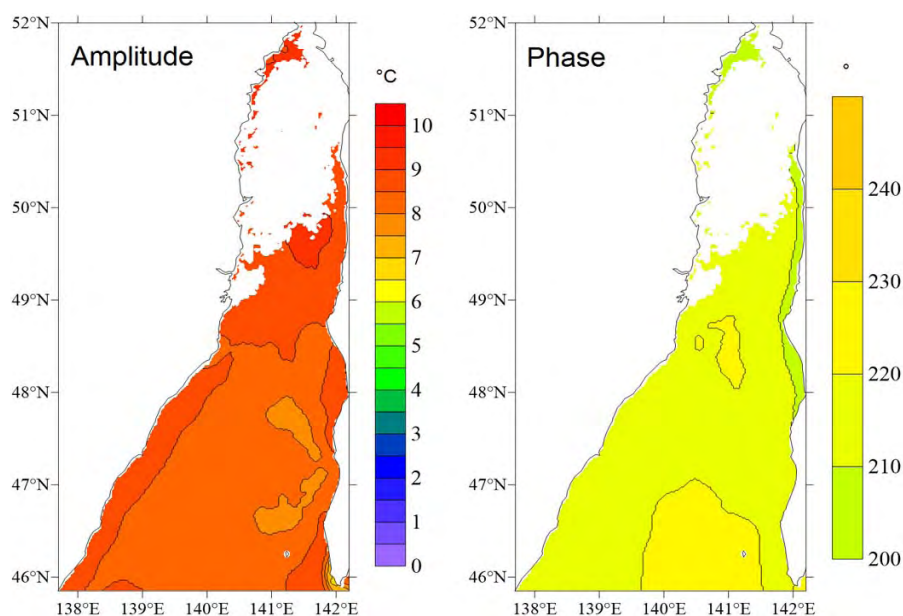


Рис. 3. Пространственное распределение амплитуды (в °C) и фазы (в °) годовой гармоника ТПМ Татарском проливе.

Fig. 3. Spatial distribution of the amplitude (in °C) and phase (in °) of the annual SST harmonic in the Tatar Strait.

ты линейного тренда приведены к значениям за 10 лет.

Зимой тренды преимущественно отрицательные, наибольших значений (по абсолютной величине) достигают в северной, замерзающей части пролива на некотором удалении от берега: $(-0.5...-1)$ °C/10 лет. Это удивительный факт, он в определенной мере противоречит представлению об уменьшении ледовитости (доли площади акватории, которая покрыта льдом) в этом районе в результате повышения температуры атмосферного воздуха в зимний период [19].

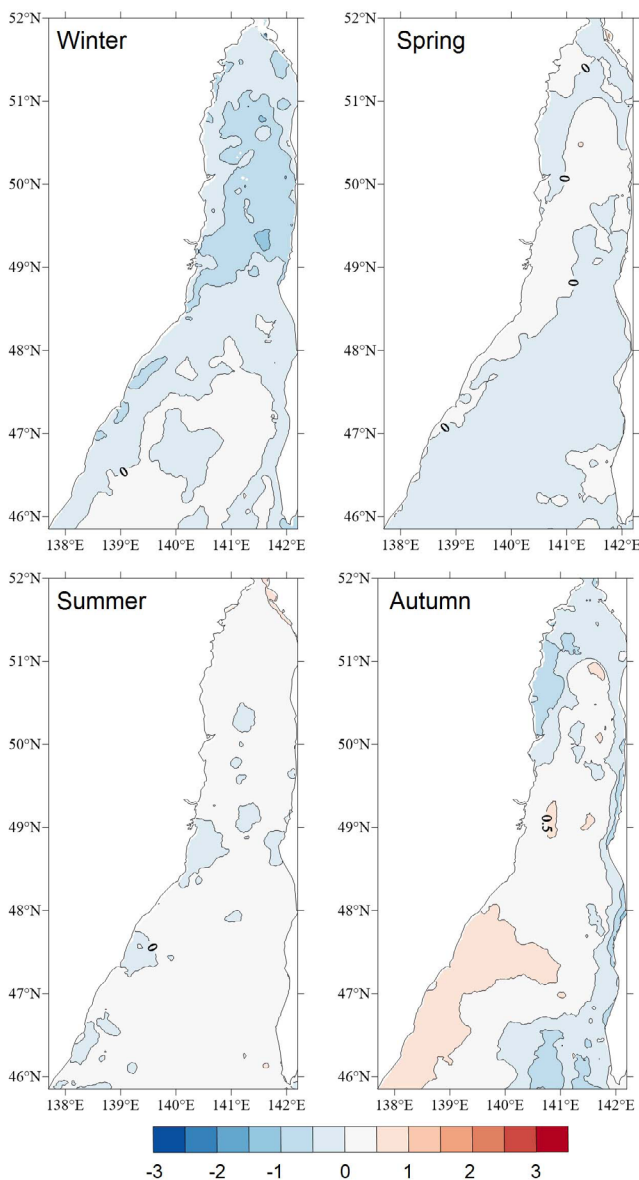


Рис. 4. Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда ТПМ (в °C/10 лет) в различные сезоны года в Татарском проливе.

Fig. 4. Spatial distribution of SST linear trend coefficients (in °C/10 years) in different seasons in the Tatar Strait.

В южной части пролива однонаправленные тенденции выражены слабо, южнее параллели 48° отмечены преимущественно положительные значения коэффициента линейного тренда, но небольшие по величине.

Весной ситуация противоположная: в северной части пролива преобладают незначительные по величине положительные, а в южной – отрицательные тренды. Это усложняет объяснение отрицательных трендов в замерзающем районе зимой увеличением глубины зимней конвекции, так как в Охотском море аналогичное явление приводило к наиболее значительным отрицательным трендам именно весной, в апреле и мае, и это имело вполне убедительное объяснение [13]. Это подчеркивает сложность процессов, связанных с откликом на глобальное потепление в различных бассейнах.

Летом практически на всей акватории пролива наблюдаются небольшие по величине положительные значения коэффициента линейного тренда в интервале от 0.05 до 0.1 °C/10 лет, и лишь на отдельных участках они возрастают до 0.2 °C/10 лет. Отрицательные значения отмечены в небольших по площади областях, и они не превышают 0.05 °C/10 лет по абсолютной величине.

Наиболее сложная картина однонаправленных изменений ТПМ выявлена осенью. В северной части пролива и в прибрежной зоне у западного берега о. Сахалин определены существенные отрицательные коэффициенты линейного тренда $(-0.3...-0.7)$ °C/10 лет), а на юго-западе изучаемой акватории вблизи материкового побережья выделяется область, где температура поверхности моря устойчиво возрастает со скоростью 0.5–0.7 °C/10 лет. Возможной причиной такой сложной картины изменчивости ТПМ могут быть смены интенсивности ветрового воздействия, но этот вопрос требует специального исследования.

Обратимся теперь к графику вариаций ТПМ в трех районах Татарского пролива (см. рис. 2). На нем визуально просматриваются хорошо выраженные вариации термических условий в летний период (огигающая по максимумам). Хорошо видно, что в 2000, 2006, 2016 и особенно в 2021 г. в Татарском проливе наблюдались условия существенно более теплые, чем в «обычные» годы, когда температура воды

близка к средним многолетним значениям. Холодные условия в изучаемой акватории выявлены в 2002, 2009 и 2019 гг., различия в средних по районам значениях ТПМ достигали 5 °С.

В вариациях максимумов ТПМ прослеживаются квазиритмические составляющие, для оценки которых использовалась методика, предложенная в работе [21]. Для определения вклада циклической составляющей с заданным периодом в каждой пространственной ячейке области методом наименьших квадратов рассчитывали ее амплитуду и фазу по выборкам за август. Далее эту компоненту вычитали из исходного ряда, значимость вклада гармоник определяли по отношению дисперсии остаточного ряда к дисперсии исходного для всех ячеек по акватории Татарского пролива. Периоды циклических компонент задавали от 3 до 12 лет с шагом 3 мес.

Наименьшая доля остаточной дисперсии была получена для гармоник с периодом 6 лет. Амплитуда этой составляющей на всей акватории пролива была близка к 1 °С (чуть меньше этой величины на участке между параллелями 49° и 51° и несколько выше за пределами этой области).

Значимые аномалии ТПМ

По сути, отмеченные выше теплые и холодные годы определялись по визуальным оценкам, в то же время выявление масштабных (как по величине, так и по площади акватории) аномалий ТПМ (т.е. отклонений от средних многолетних значений, называемых нормами) представляет значительный интерес. Он связан с тем, что такие ситуации, называемые некоторыми специалистами «термическими катастрофами», представляют серьезную опасность для морской биоты. Для оценки таких ситуаций была разработана методика [22], заключающаяся в определении площади, на которой аномалия превышала удвоенную величину среднеквадратического отклонения σ . Обычно отклонения от нормы подчиняются нормальному распределению, для которого величина 2σ соответствует границе, в пределах которой лежат 95 % значений параметра. Следовательно, выход за ее пределы свидетельствует об экстраординарности условий, в данном случае об экстраординарных термических условиях

состояния окружающей среды. Если такие аномалии наблюдаются на заметной части изучаемой акватории, то ситуация очень серьезна и заслуживает внимательного изучения.

Для каждого месяца каждого года наблюдений были рассчитаны средние многолетние значения (нормы) в каждой пространственной ячейке и величина среднеквадратического отклонения. Были проанализированы пространственные распределения величины σ для различных месяцев, прежде всего для теплого сезона (уже отмечено выше, что в сентябре усредненная по районам величина данного параметра была примерно в 1.5 раза меньше, чем в августе). В июне распределение σ однородно, вариации параметра невелики: на большей части изучаемой акватории он изменяется в пределах от 1.1 до 1.4 °С. Лишь в узких прибрежных полосах как у западного, так и у восточного берега пролива его значения возрастают до 1.5–1.6 °С. В июле в северной части изучаемой акватории характер распределения σ практически не изменяется, а к югу от параллели 48° σ возрастает до 2–2.4 °С. В августе, напротив, более высокие значения σ отмечены в северной части пролива, а в южной примерно такие же, как в июне.

Разность текущего среднемесячного значения и нормы (собственно аномалия) сравнивалась с удвоенной величиной среднеквадратического отклонения, подсчитывалась площадь, занятая такими значимыми аномалиями. На графике рис. 5 представлена доля площади значимой аномалии по отношению ко всей акватории Татарского пролива.

Наибольший интерес представляют ситуации, когда такие аномалии занимали значительную часть изучаемого бассейна. В большинстве случаев они проявлялись на небольших участках, составлявших 2–3 % от площади акватории пролива, и сравнительно редко превышали отметку 10 %. Для детального анализа были отобраны наиболее важные ситуации – когда площадь аномалий была не менее 15 % от площади пролива. Таких случаев было 9, в 5 из них наблюдались положительные, в 4 – отрицательные аномалии (табл. 3). В двух из них (август 2002 и октябрь 2020 г.) доля площади, на которой наблюдалась аномалия, превышавшая 2σ , была

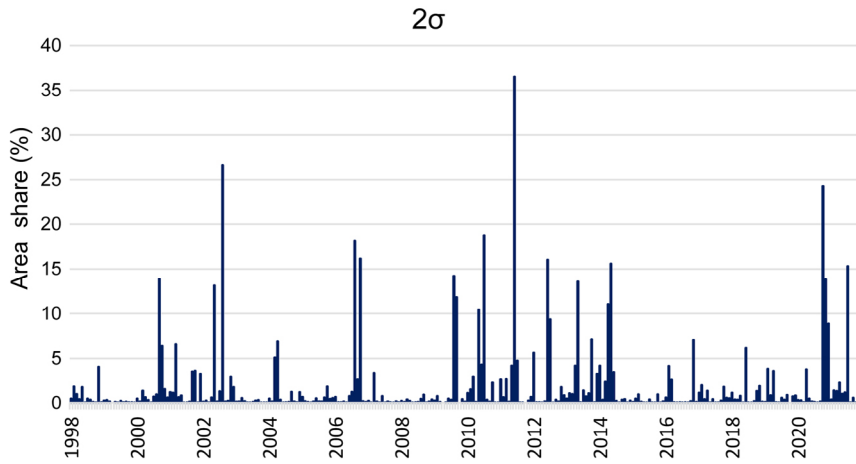


Рис. 5. Доля площади (по отношению ко всему Татарскому проливу), в которой аномалия ТПМ превышала величину 2σ .

Fig. 5. Percentage of the area (in relation to the entire Tatar Strait) in which the SST anomaly exceeded 2σ .

около четверти, а в июне 2011 г. – более трети от площади всего пролива.

На рис. 6 представлено пространственное распределение трех наиболее значительных отрицательных и положительных аномалий ТПМ.

В августе 2002 г. отрицательные отклонения от средних многолетних значений наблюдались на всей акватории Татарского пролива, что позволяет отнести этот год к «холодным». Наиболее значимы они были в северной части пролива, вблизи его вершины аномалия достигала $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Значительные отклонения от нормы (до $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$) выявлены на юго-востоке, вблизи прол. Лаперуза. На основной части акватории аномалии были более умеренными, от -3 до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а вблизи материкового побере-

Таблица 3. Информация о наиболее значительных аномалиях ТПМ в Татарском проливе

Table 3. Information on the most significant SST anomalies in the Tatar Strait

Месяц, год	Доля площади, %	Знак аномалии
Август 2002	26.61	–
Август 2006	18.17	+
Октябрь 2006	16.16	+
Июль 2010	18.77	–
Июнь 2011	36.51	–
Июнь 2012	16.03	+
Май 2014	15.59	–
Октябрь 2020	24.29	+
Июль 2021	15.30	+

жья их проявление было наиболее слабым, от -2 до $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Доля площади, на которой аномалия превышала пороговое значение 2σ , составила более 26 %.

В июле 2010 г. характер пространственного распределения аномалии был сходным. Наиболее значительные отклонения от нормы (около -5 и даже на отдельных участках $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$) наблюдались вдоль всего западного берега о. Сахалин, в особенности на северном и южном его участках.

В центральной части пролива аномалии не так велики (от -2 до $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$), еще меньше они у берега материка, в особенности на участке, прилегающем к Советской Гавани (порту Ванино), где их величина около $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Аномалии, превышавшие пороговое значение 2σ , занимали около 19 % площади пролива, преимущественно в его восточной части.

В июне 2011 г. отрицательные аномалии наблюдались на всей акватории пролива. На основной ее части они лежали в пределах от -3 до $-4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, на юго-восточном участке имели наибольшую выраженность, до $-5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Самые низкие значения обнаружены в северной части пролива, в районе Александровска-Сахалинского, на некотором удалении от берега (около $-1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$). Аномалии, превышавшие значение 2σ , отмечены на 36.5 % площади изучаемого бассейна, что указывает на необычность термических условий в Татарском проливе.

В августе 2006 г. положительные аномалии ТПМ выявлены на всей акватории Татарского пролива. Этот год и по визуальной оценке на основе графика хода среднемесячных значений (см. рис. 2) в различных районах изучаемой акватории был отнесен к числу наиболее «теплых» лет. Наибольшая величина аномалий отмечена в северной и центральной частях пролива – в пределах от 2.5 до 3.5 $^{\circ}\text{C}$. В южной части (у берега Приморья к югу от параллели 48 $^{\circ}$, а у юго-западного Сахалина южнее 47 $^{\circ}$ с.ш.) величина аномалий несколько меньше, от 1.3 до 2.8 $^{\circ}\text{C}$. Площадь, заня-

тая аномалиями, превышающими пороговое значение 2σ , составила более 18 % акватории пролива.

В июне 2012 г. значительные положительные аномалии были обнаружены в широкой полосе, примыкающей к берегу материка южнее 49° с.ш. В северной части пролива и у

западного побережья Сахалина значения аномалии колеблются преимущественно в пределах от 1 до 2°C , за исключением нескольких пятен в районе Углегорска, мыса Ламанон и п-ова Крильон.

Повышенный температурный фон сохранялся также и в июле, прежде всего в запад-

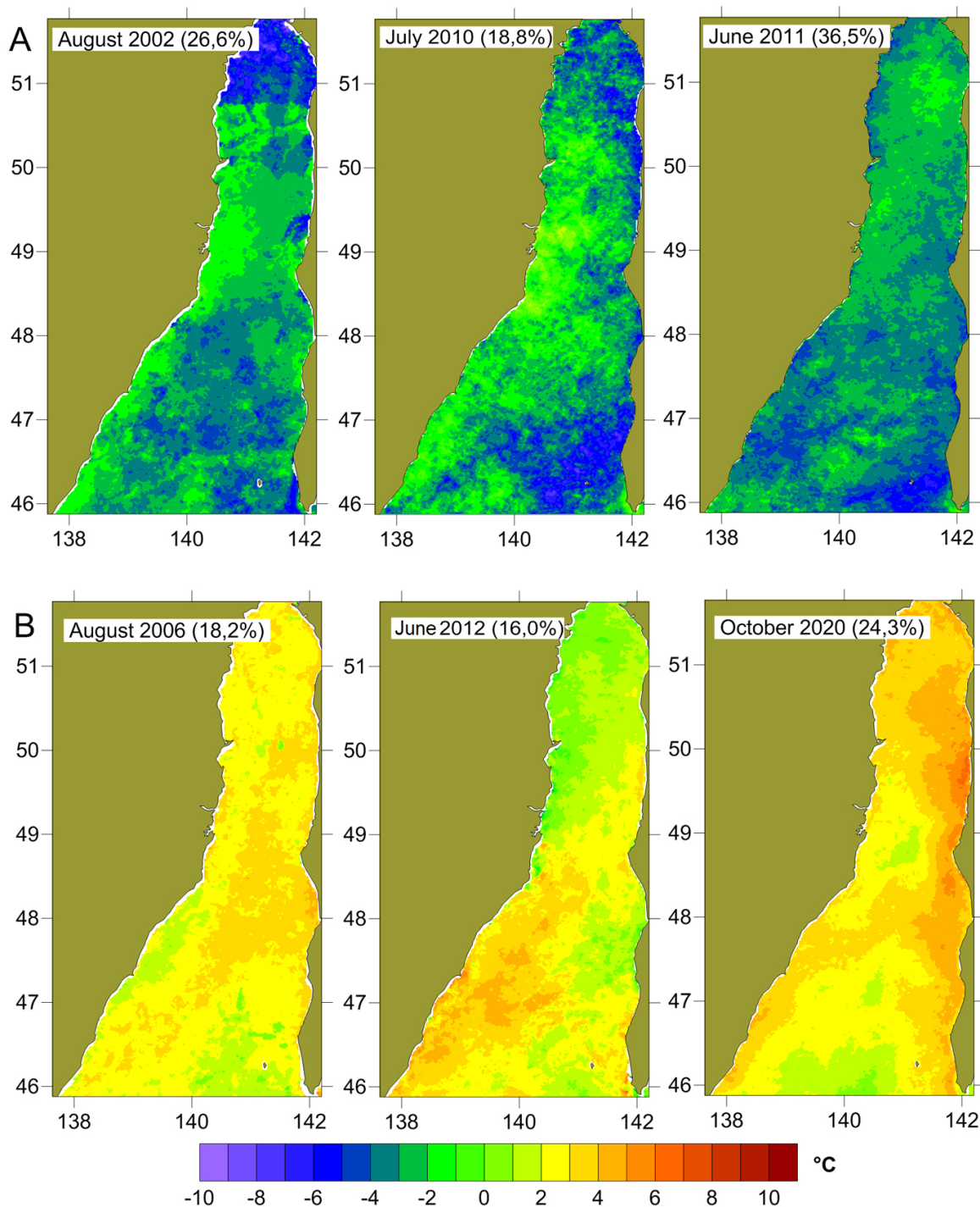


Рис. 6. Пространственное распределение наиболее значительных аномалий ТПМ в «холодные» (А) и «теплые» (В) годы на акватории Татарского пролива.

Fig. 6. Spatial distribution of SST anomalies in “cold” (A) and “warm” (B) years in the waters of the Tatar Strait.

ной части пролива (площадь, на которой отклонения от нормы превышали величину 2σ , занимала около 9.5 % от всей его акватории). Как показано ниже, эта ситуация нашла свое отражение во временных функциях второй и четвертой мод разложения поля ТПМ по ЕОФ.

Значительные положительные аномалии ТПМ наблюдались и в октябре 2020 г., преимущественно вдоль западного побережья о. Сахалин. Их величина составляла 4–5.5 °С, а на участке между Бошняково и Пильво они были особенно выражены (6–6.5 °С). Вдоль побережья материка аномалии несколько меньше, но также существенны (2.5–3.5 °С), несколько меньше они были только в центральной части пролива к югу от 47° с.ш. (1–2 °С). Площадь, на которой отклонения от нормы превысили 2σ , составила около четверти площади Татарского пролива.

Разложение поля ТПМ по ЕОФ

Для определения особенностей сезонной и межгодовой изменчивости применили методику разложения гидрометеорологических полей по естественным ортогональным функциям (ЕОФ [20]). С помощью этой методики анализировали ряды с месячным осреднением по времени. Результаты расчета в виде пространственных распределений 4 основных мод (на их долю приходится 97.37; 1.02; 0.28 и 0.16 % дисперсии ТПМ в Татарском проливе) представлены на рис. 7, а соответствующие

им временные функции – на рис. 8. Пространственные функции полагались безразмерными, а временные – имеющими размерность °С.

При разложении методом ЕОФ гидрометеорологических полей с выраженным сезонным ходом (вариации температуры морской воды или атмосферного воздуха являются одними из наиболее ярких примеров такого рода) первая мода обычно связана с сезонным ходом и дает подавляющий вклад в общую дисперсию параметра, что, однако, не обесценивает роль более высоких составляющих.

Так, пространственная структура первой моды (рис. 7) практически повторяет таковую для усредненного распределения ТПМ в летний период, а ее временная функция имеет очень высокую корреляцию с ходом месячных значений температуры во всем проливе ($r = 0.996$). По этой причине главную составляющую ЕОФ подробно рассматривать нет смысла, отметим только, что временная функция хорошо описывается комбинацией годовой и полугодовой гармоник с амплитудами 0.9 и 0.2 °С, она достигает максимальных значений в августе – сентябре и минимума в феврале – марте.

Первая мода характеризует колебания параметра, которые во всей области происходят синфазно, хотя и с различной интенсивностью на разных ее участках, что описывается пространственной функцией моды.

Вторая мода отражает вариации ТПМ, которые не укладываются в представление об

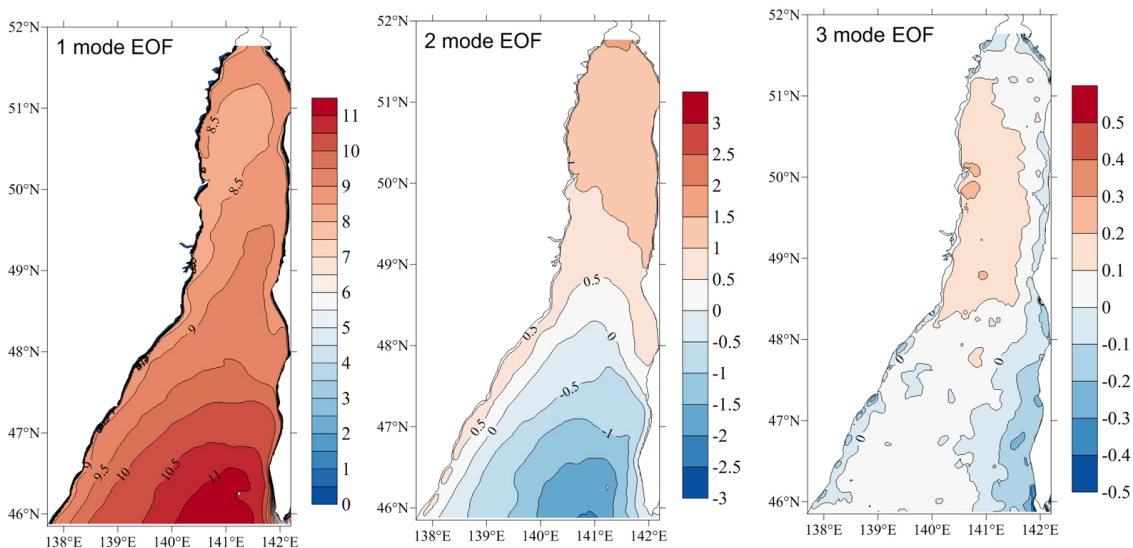


Рис. 7. Пространственное распределение первых трех мод разложения поля ТПМ по ЕОФ (безразмерное).

Fig. 7. Spatial distribution of the first three modes of expansion of the SST field in terms of the EOF (dimensionless).

идентичных в пределах всей области изменения параметра, отражаемых главной модой. Поэтому в пространственном распределении выделяются зоны с различными знаками, которые разделены узловой линией (вблизи нее вклад данной моды незначителен). При этом общий его характер сходен с характером распределения первой моды, это указывает на то, что вторая в чистом виде является поправкой к ней. Положительные значения характерны для мелководных участков северной части Татарского пролива и узких полос вдоль побережья материка и о. Сахалин, максимум 1.5 достигается на севере, вблизи прол. Невельского. Отрицательные значения характерны для зоны влияния Цусимского течения, наибольшие по абсолютной величине (около -2) для южной границы Татарского пролива. Межгодовая изменчивость заключается в модуляции годового хода, она уже была рассмотрена выше.

Усредненная кривая временной функции (средние многолетние значения для разных месяцев) имеет положительные значения в летние месяцы – с июня по сентябрь с максимумом в августе. В остальные месяцы эта функция отрицательна, наибольшие по абсолютной величине значения в ноябре–декабре и марте–апреле. Это означает, что летом вторая мода дает поправку к основной составляющей положительную в северной части пролива и прибрежных зонах и отрицательную в глубоководных южных районах. В холодный период года ситуация обратная: на севере ее вклад отрицательный, в южных районах положительный.

Во временной функции этой моды (графики всех временных функций показаны на рис. 8) заметны значительные межгодовые вариации, при этом годовой ее ход в целом сохраняется. Наибольшие положительные значения (соот-

ветственно, максимальный вклад моды в общее поле ТПМ согласно приведенным выше характеристикам) отмечены в июле 2012 и 2015 гг., августе 2006 г. и сентябре 2017.

Максимальные по абсолютной величине отрицательные значения выявлены в ноябре 2002 и 2005, а также декабре 2013 и 2015 гг.

Третья мода является одной из самых интересных, по ней получены весьма неожиданные

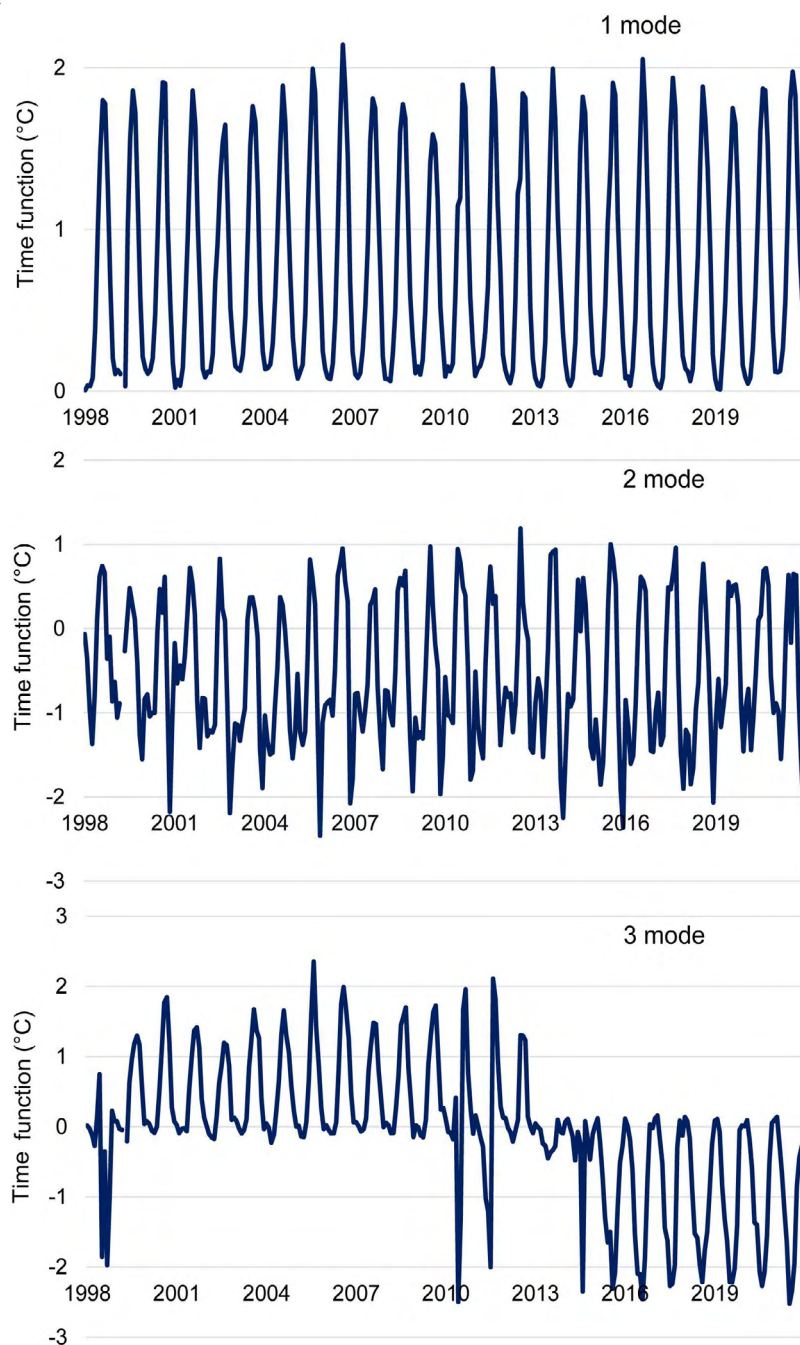


Рис. 8. Графики временных функций первых трех мод разложения поля ТПМ по EOF.

Fig. 8. Graphs of the time functions of the first three modes of expansion of the SST field in terms of the EOF.

идентичных в пределах всей области изменения параметра, отражаемых главной модой. Поэтому в пространственном распределении выделяются зоны с различными знаками, которые разделены узловой линией (вблизи нее вклад данной моды незначителен). При этом общий его характер сходен с характером распределения первой моды, это указывает на то, что вторая в чистом виде является поправкой к ней. Положительные значения характерны для мелководных участков северной части Татарского пролива и узких полос вдоль побережья материка и о. Сахалин, максимум 1.5 достигается на севере, вблизи прол. Невельского. Отрицательные значения характерны для зоны влияния Цусимского течения, наибольшие по абсолютной величине (около -2) для южной границы Татарского пролива. Межгодовая изменчивость заключается в модуляции годового хода, она уже была рассмотрена выше.

Усредненная кривая временной функции (средние многолетние значения для разных месяцев) имеет положительные значения в летние месяцы – с июня по сентябрь с максимумом в августе. В остальные месяцы эта функция отрицательна, наибольшие по абсолютной величине значения в ноябре–декабре и марте–апреле. Это означает, что летом вторая мода дает поправку к основной составляющей положительную в северной части пролива и прибрежных зонах и отрицательную в глубоководных южных районах. В холодный период года ситуация обратная: на севере ее вклад отрицательный, в южных районах положительный.

Во временной функции этой моды (графики всех временных функций показаны на рис. 8) заметны значительные межгодовые вариации, при этом годовой ее ход в целом сохраняется. Наибольшие положительные значения (соот-

ветственно, максимальный вклад моды в общее поле ТПМ согласно приведенным выше характеристикам) отмечены в июле 2012 и 2015 гг., августе 2006 г. и сентябре 2017.

Максимальные по абсолютной величине отрицательные значения выявлены в ноябре 2002 и 2005, а также декабре 2013 и 2015 гг.

Третья мода является одной из самых интересных, по ней получены весьма неожиданные

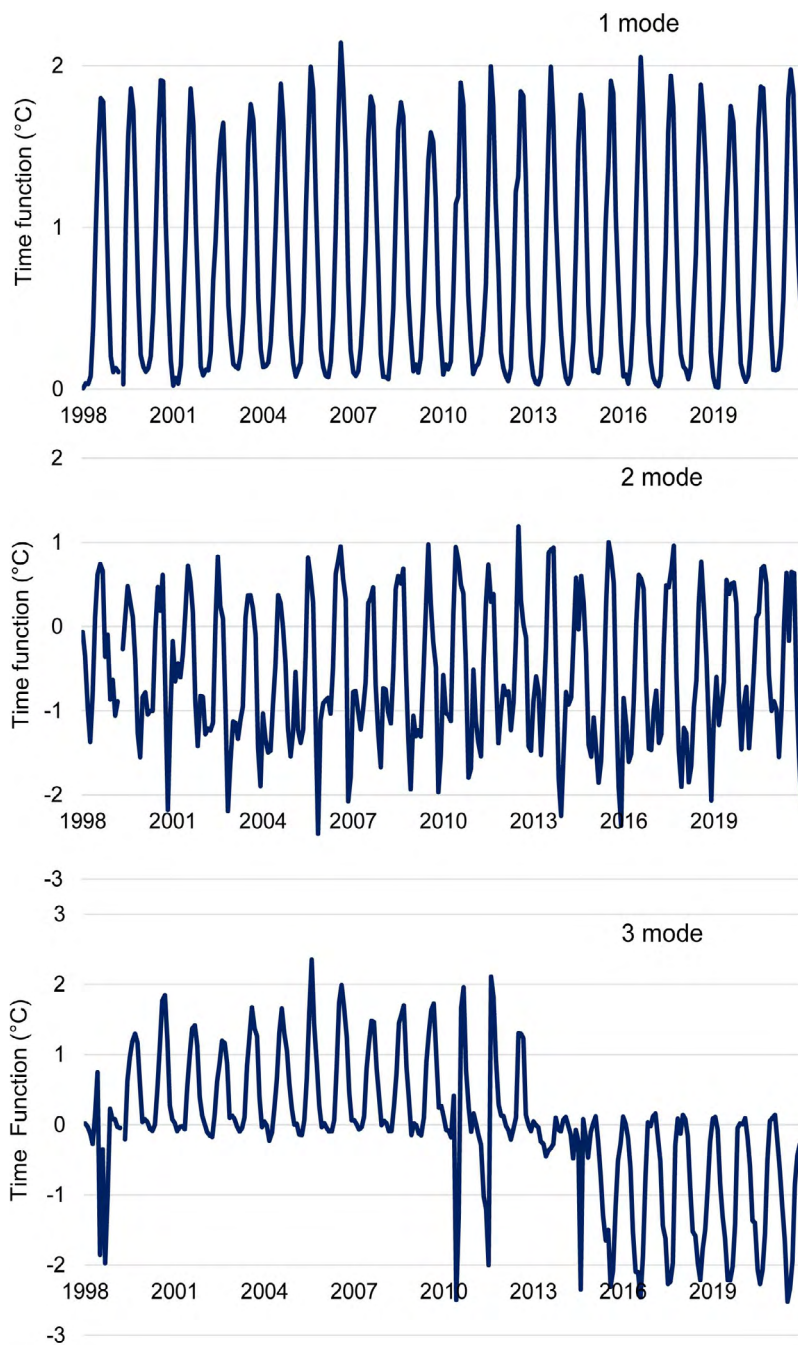


Рис. 8. Графики временных функций первых трех мод разложения поля ТПМ по EOF.

Fig. 8. Graphs of the time functions of the first three modes of expansion of the SST field in terms of the EOF.

ные результаты, на которых стоит остановиться подробнее. Это связано прежде всего с резким изменением характера временной функции, которое относится к 2013–2014 гг. До этого данная функция характеризовалась выраженным сезонным ходом с максимальными значениями в летние месяцы (до $+1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в августе) и незначительными отрицательными величинами в зимние (исключение составлял 1998 г. с колебаниями скорее случайного характера). В отмеченные два переходных года летом наблюдались отрицательные, но небольшие по величине значения, но начиная с 2015 г. сезонный ход приобрел обратный характер: в летние месяцы выраженный минимум (до $-2.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ в августе), а в холодный период положительные значения, незначительные по величине. Резко изменилось и среднее значение временной функции, более чем на $1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (с $0.46\text{ }^{\circ}\text{C}$ на первом до $-0.97\text{ }^{\circ}\text{C}$ на втором интервале), что, согласно методике [23], позволяет рассматривать выявленный феномен как «сдвиг режима».

Пространственная функция третьей моды характеризовалась небольшими по величине значениями на основной части акватории пролива. Область с положительными значениями занимала центральный и западный участок северной его части, с максимальными значениями $0.21\text{--}0.22$ в районе мыса Сюркум. Отрицательные величины выявлены в узких прибрежных зонах вдоль побережья Сахалина, а также материка – к югу от широты 48.5° и на самом северном участке. По большей части значения пространственной функции в прибрежье колебались в пределах от -0.07 до -0.15 , и только вблизи прол. Лаперуза они достигали экстремальных показателей до -0.32 .

Это означает, что в период до 2013 г. третья мода обеспечивала положительную поправку к основному полю ТПМ величиной около $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ на северо-западе пролива и отрицательную от -0.15 до $-0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ в прибрежных акваториях. Начиная с 2015 г. на северо-западном участке акватории поправка в летние месяцы изменяет знак и возрастает по абсолютной величине (до $-0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$). В прибрежной зоне юго-западного Сахалина она также меняет знак, становится положительной (от 0.2 до $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ на различных участках).

Таким образом, общее изменение ТПМ, обусловленное вкладом третьей моды и свя-

занное с «обращением» ее временной функции в 2013–2014 гг., составляет около $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для акваторий, прилегающих к западному и юго-западному побережью о. Сахалин, это означает потепление в летние месяцы, с июля по сентябрь. Такое существенное изменение можно рассматривать как «сдвиг термического режима» в восточной части Татарского пролива в 2015–2021 гг. по сравнению с периодом 1999–2012 гг. Этот результат имеет важное прикладное значение: в северной части пролива эти изменения приурочены к традиционной зоне промысловых скоплений нескольких видов креветки, а у юго-западного берега Сахалина – к району, где в последние годы наблюдается существенный рост уловов сельди и мойвы. Этот рост связывается авторами работы [24] с повышением фона температур в данном районе. Отметим, что на данном участке находится также большинство лососевых рыболовных заводов япономорского побережья острова. Выявленный эффект может иметь определенное значение для выживания молоди лососевых рыб на раннем морском этапе их жизни.

Пространственное распределение четвертой моды также интересно, оно имеет зоны разных знаков у восточного и западного берегов пролива (до $+0.6$ и -0.6 соответственно), а узловая линия проходит с севера на юг по его центральной части.

Временная функция этой моды имеет весьма сложный характер, на отдельных интервалах времени в ней явно доминирует годовая гармоника, но в какие-то периоды ее влияние снижается. Привлекает внимание наличие нескольких значительных положительных (июль 2012 и 2013 гг.) и еще более выраженных отрицательных выбросов (октябрь 2001, 2014, 2016 гг., октябрь–ноябрь 2021 г.). О существенных положительных аномалиях в июне и июле 2012 г. упоминалось выше, в первом случае некоторая особенность наблюдалась в графике временной функции первой моды (в виде излома линии), во втором – в виде максимумов временных функций второй и четвертой мод.

Заключение

Расчет усредненных распределений ТПМ по сезонам, а также анализ пространственной функции первой моды ЕОФ показали, что в те-

чение всего года структура распределения ТПМ, характеризующаяся более высокими значениями параметра на юго-востоке акватории и более низкими на северо-западе, сохраняется в целом в течение всего года. Единственным существенным отличием является формирование полосы более холодной воды вдоль западного берега Сахалина (от Александровского залива до Чехово-Ильинского мелководья) осенью. Оно связано с явлением прибрежного апвеллинга, обусловленного ветрами северного и северо-западного румбов, характерными для холодного периода года (зимний муссон). Усредненный годовой ход параметра хорошо описывается комбинацией годовой и полугодовой гармоник с амплитудами около 8.4 и 2 °С, их пространственное распределение на изучаемой акватории однородно.

Расчет коэффициентов линейного тренда выявил тенденцию к понижению температуры поверхностного слоя в Татарском проливе, наиболее выраженную зимой (в северной части бассейна) и весной ($-0.5 \dots -1$ °С/10 лет). Возможно, это связано с увеличением глубины зимней конвекции в традиционно замерзающей части пролива в условиях снижения ледовитости.

Изучение значимых отклонений ТПМ от средних многолетних значений показало, что в этом бассейне формируются значительные аномалии, превышающие удвоенную величину среднеквадратического отклонения параметра в данной ячейке, причем на существенной части его акватории (в 9 случаях более 15 % площади). Количество положительных и отрицательных аномалий было примерно одинаковым. Наиболее часто значимые аномалии наблюдались в северной и юго-восточной частях пролива.

В вариациях усредненных кривых хода ТПМ по различным районам Татарского пролива (а также во временной функции главной моды ЕОФ) выделяются квазициклические колебания с периодом около 6 лет и амплитудой около 1 °С. В результате разложения поля ТПМ по ЕОФ выявлен интересный факт, связанный с резким изменением характера временной функции третьей моды, которое случилось в 2013–2014 гг. До 2013 г. эта функция характеризовалась максимальными значени-

ями в летние месяцы и незначительными отрицательными величинами в зимние, но начиная с 2015 г. сезонный ход приобрел обратный характер. Такие изменения можно характеризовать как климатический сдвиг в изучаемой акватории. Наиболее выражен он в северо-западной части пролива и у юго-западного берега о. Сахалин (около 1 °С). Это обстоятельство может оказывать заметное влияние на состояние популяций нескольких видов креветки и промысловых рыб.

Список литературы

1. *Гидрометеорология и гидрохимия морей*. Т. 8. Японское море. Вып. 1. *Гидрометеорологические условия*. 2003. СПб.: Гидрометеоиздат, 398 с.
2. Веселова Л.Е. 1963. Некоторые особенности температурного режима вод у юго-западного побережья о. Сахалин. *Труды ДВНИГМИ*, 13: 42–63.
3. Дьяков Б.С. 2006. Межгодовая изменчивость циркуляции вод в Татарском проливе в летнее время. *Известия ТИНРО*, 144: 281–299.
4. Дьяков Б.С. 2011. Крупномасштабные колебания в системе океан–атмосфера и перспективы сверхдолгосрочного прогноза температуры воды Японского моря. *Известия ТИНРО*, 165: 231–250. EDN: NYZCZB
5. Зуенко Ю.И. 2009. *Влияние изменений климата на океанологический режим и экосистему Японского моря*: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. СПб.: РГГМУ, 39 с.
6. Пищальник В.М., Архипкин В.С., Леонов А.В. 2009. Восстановление среднемесячных термохалинных полей в Татарском проливе. *Водные ресурсы*, 36(6): 655–667. EDN: KXLFSH
7. Пищальник В.М., Архипкин В. С., Леонов А.В. 2010. О циркуляции вод в Татарском проливе. *Водные ресурсы*, 37(6): 657–670. EDN: NBSUNT
8. Шевченко Г.В., Частиков В.Н. 2006. Сезонные и межгодовые вариации океанологических условий в южной части Татарского пролива. *Метеорология и гидрология*, 3: 65–78. EDN: KUHMRX
9. Шевченко Г.В., Вилянская Е.А., Частиков В.Н. 2011. Сезонная изменчивость океанологических условий в северной части Татарского пролива. *Метеорология и гидрология*, 1: 78–91. EDN: NVYUTH
10. Андреев А.Г. 2018. Особенности циркуляции воды в южной части Татарского пролива. *Исследование Земли из космоса*, 1: 3–11. EDN: YPDQOS
11. Андреев А.Г. 2020. Влияние стока реки Амур и прибрежного апвеллинга на циркуляцию вод в Татарском проливе (Японское море). *Вестник ДВО РАН*, 1: 120–126. doi:10.25808/08697698.2020.209.1.013

12. Шершнева О.В., Шевченко Г.В. **2005**. О прогнозировании термических условий в Сахалино-Курильском регионе по спутниковым данным. *Известия ТИНРО*, 142: 161–187. EDN: HPOKLN
13. Ложкин Д.М., Шевченко Г.В. **2019**. Тренды температуры поверхности Охотского моря и прилегающих акваторий по спутниковым данным 1998–2017 гг. *Исследование Земли из космоса*, 1: 55–61. EDN: JVGXWM
14. Покудов В.В., Власов Н.А. **1986**. Температурный режим прибрежных вод Приморья и острова Сахалин по данным ГМС. *Труды ДВНИИ*, 86: 109–118.
15. Ростов И.Д., Рудых Н.И., Ростов В.И., Воронцов А.А. **2016**. Тенденции климатических и антропогенных изменений морской среды прибрежных районов России в Японском море за последние десятилетия. *Известия ТИНРО*, 186: 163–181. EDN: WRJDNP
16. Ростов И.Д., Рудых Н.И., Ростов В.И., Воронцов А.А. **2016**. Проявления глобальных климатических изменений в прибрежных водах северной части Японского моря. *Вестник ДВО РАН*, 5: 100–112.
17. Мороз В.В., Шатилина Т.А., Рудых Н.И. **2021**. Формирование аномальных термических режимов в северной части татарского пролива и Амурском лимане под воздействием атмосферных процессов. *Вестник ДВО РАН*, 6: 101–110.
18. Цыпышева И.Л., Муктепавел Л.С., Цициашвили Г.Ш., Шатилина Т.А., Радченкова Т.В. **2016**. Особенности изменчивости ледовитости в Татарском проливе (Японское море) в связи с региональной атмосферной циркуляцией. *Известия ТИНРО*, 184: 135–149. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2016-184-135-149>; EDN: WCAMJT
19. Пищальник В.М., Дорофеева Д.В., Минервин И.Г., Шумилов И.В., Никулина И.В. **2019**. Межгодовая динамика аномалий ледовитости Татарского пролива с 1882 по 2018 г. *Известия ТИНРО*, 196: 114–122. EDN: ZAMGXJ
20. Багров Н.А. **1959**. Аналитическое представление последовательности метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих. *Труды Центрального института прогнозов*, 74: 3–24.
21. Ложкин Д.М., Шевченко Г.В. **2020**. Циклические вариации температуры поверхности Охотского моря и прилегающих акваторий по спутниковым данным в 1998–2018 гг. *Исследование Земли из космоса*, 1: 44–51. doi:10.31857/S0205961420010066; EDN: ADUJGR
22. Цхай Ж.Р., Шевченко Г.В. **2013**. Оценка температурных аномалий поверхности Охотского моря и прилегающих акваторий по спутниковым данным. *Исследование Земли из космоса*, 2: 50–61. EDN: PXLIDT
23. Rodionov S.N. **2004**. A sequential algorithm for testing climate regime shifts. *Geophysical Research Letters*, 31(9), L09204. <https://doi.org/10.1029/2004gl019448>
24. Ким С.Т., Ившина Э.Р., Заварзина Н.К. **2022**. Современное состояние сырьевых ресурсов рыб в северо-восточной части Японского моря. *Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН*, 4: 70–84. doi:10.34078/1814-0998-2022-4-70-84; EDN: LCSGJH

References

1. *Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas*. Vol. 8. *The Sea of Japan*. Issue 1. *Hydrometeorological conditions*. **2003**. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat, 398 p. (In Russ.).
2. Veselova L.E. **1963**. [Some features of water temperature regime off the southwestern coast of Sakhalin Island]. *Trudy DVNIGMI*, 13: 42–63. (In Russ.).
3. Djakov B.S. **2006**. Year-to-year variability of water circulation in the Tatar Strait in summer. *Izvestiya TINRO*, 144: 281–299. (In Russ.). EDN: HYZCZB
4. Djakov B.S. **2011**. Large-scale fluctuations in the ocean-atmosphere system and prospects of long-term forecasting for water temperature of the Japan Sea. *Izvestiya TINRO*, 165: 231–250. (In Russ.). EDN: OEUPVZ
5. Zuenko Yu.I. **2009**. *Vliyanie izmenenii klimata na okeanologicheskii rezhim i ekosistemu Yaponskogo moraya [Climate change effect on the oceanological regime and ecosystem of the Sea of Japan]*: extended abstr. of diss. ... Dr. Sci. (Geographic). SPb.: RGGMU, 39 p. (In Russ.).
6. Pishchal'nik V.M., Arkhipkin V.S., Leonov A.V. **2009**. Restoration of mean monthly thermohaline fields in Tatar Strait. *Water Resources*, 36(6): 632–644. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/s0097807809060037>
7. Pishchal'nik V.M., Arkhipkin V. S., Leonov A.V. **2010**. On water circulation in Tatar Strait. *Water Resources*, 37(6): 759–772. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/s0097807810060035>
8. Shevchenko G. V., Chastikov V. N. **2006**. Seasonal and interannual variations of oceanographic conditions in the southern Tatar Strait. *Russian Meteorology and Hydrology*, 3: 49–59. EDN: KUHMRX
9. Shevchenko G. V., Vilyanskaya E. A., Chastikov V. N. **2011**. Seasonal variability of oceanological conditions in the northern part of the Tatar Strait. *Russian Meteorology and Hydrology*, 36(1): 55–64. <https://doi.org/10.3103/s1068373911010080>
10. Andreev A.G. **2018**. Peculiarities of the water circulation in the Southern Tatar Strait. *Izv., Atmospheric and Ocean Physics*, 54(9): 1050–1056. <https://doi.org/10.1134/s0001433818090037>
11. Andreev A.G. **2020**. Impact of the Amur River discharge and coastal upwelling on the water circulation in the Tartar Strait (the Japan Sea). *Vestnik of the FEB RAS*, 1: 120–126. (In Russ.). doi:10.25808/08697698.2020.209.1.013
12. Shershneva O.V., Shevchenko G.V. **2005**. Forecast of thermal conditions in the Sakhalin and Kuril Regions

- on the base of satellite information. *Izvestiya TINRO*, 142: 161 – 187. (In Russ.). EDN: HPOKLN
13. Lozhkin D.M., Shevchenko G.V. **2019**. Trends in the sea surface temperature in the Sea of Okhotsk and adjacent basins based on the satellite data in 1998–2017. *Izv., Atmospheric and Ocean Physics*, 55(9): 1133–1137. <https://doi.org/10.1134/s0001433819090251>
 14. Pokudov V.V., Vlasov N.A. **1986**. [Temperature regime of coastal waters of Primorye and Sakhalin Island according to HMS data]. *Trudy DVNII*, 86: 109–118. (In Russ.).
 15. Rostov I.D., Rudykh N.I., Rostov V.I., Vorontsov A.A. **2016**. Tendencies of climatic and anthropogenic changes of the marine environments in the coastal areas of Russia in the Japan Sea for the last decades. *Izvestiya TINRO*, 186: 163–181. (In Russ.). EDN: WRJDNP
 16. Rostov I.D., Rudykh N.I., Rostov V.I., Vorontsov A.A. **2016**. Expressions of global climatic changes in coastal waters of the northern part of the Sea of Japan. *Vestnik of the FEB RAS*, 5: 100–112. (In Russ.). EDN: XHOEIN
 17. Moroz V.V., Shatilina T.A., Rudykh N.I. **2021**. The abnormally thermal regime forming in the north part of the Tatar Strait and Amur Liman under the influence of atmosphere processes. *Vestnik of the FEB RAS*, 6: 101–110. (In Russ.). doi:10.37102/0869-7698_2021_220_06_10; EDN: ITIPZE
 18. Tsypysheva I.L., Muktepavel L.S., Tsitsiashvili G.Sh., Shatilina T.A., Radchenkova T.V. **2016**. Features of the sea ice cover variability in the Tatar Strait (Japan Sea) in connection with the regional atmosphere circulation. *Izvestiya TINRO*, 185: 135–149. (In Russ.). <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2016-184-135-149>; EDN: WCAMJT
 19. Pishchalnik V.M., Dorofeeva D.V., Minervin I.G., Shumilov I.V., Nikulina I.V. **2019**. Year-to-year dynamics of the ice cover anomalies in the Tatar Strait for the period from 1882 to 2018. *Izvestiya TINRO*, 196: 114–122. (In Russ.). <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2019-196-114-122>; EDN: ZAMGXJ
 20. Bagrov N.A. **1959**. [Analytical representation of a sequence of meteorological fields by means of natural orthogonal components]. *Trudy Tsentral'nogo instituta prognozov*, 74: 3–24. (In Russ.).
 21. Lozhkin D.M., Shevchenko G.V. **2020**. Cyclical variations in the surface temperature in the Sea of Okhotsk and adjacent waters, according to 1998–2018 satellite data. *Izv., Atmospheric and Ocean Physics*, 56(12): 1621–1627. <https://doi.org/10.1134/s0001433820120464>
 22. Tshay Zh.R., Shevchenko G.V. **2013**. Estimation of surface temperature anomalies of the Sea of Okhotsk and adjacent areas based on satellite data. *Izv., Atmospheric and Ocean Physics*, 49(9): 952–962. <https://doi.org/10.1134/s0001433813090223>
 23. Rodionov S.N. **2004**. A sequential algorithm for testing climate regime shifts. *Geophysical Research Letters*, 31(9), L09204. <https://doi.org/10.1029/2004gl019448>
 24. Kim S.T., Ivshina E.R., Zavarzina N.K. **2022**. Current state of fish resources in the northeastern part of the Sea of Japan. *Bull. of the North-East Scientific Center FEB RAS*, 4: 70–84. (In Russ.). doi:10.34078/1814-0998-2022-4-70-84

Об авторах

Шевченко Георгий Владимирович (<https://orcid.org/0000-0003-0785-4618>), доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией океанографии, Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО); ведущий научный сотрудник лаборатории цунами, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, shevchenko_zhora@mail.ru

Ложкин Дмитрий Михайлович (<https://orcid.org/0000-0002-7073-681X>), кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории океанографии, Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), Южно-Сахалинск

Поступила 12.05.2023
Принята к публикации 3.07.2023

About the Authors

Shevchenko, Georgy V. (<https://orcid.org/0000-0003-0785-4618>), Doctor of Physics and Mathematics, Head of the Laboratory of oceanography, Sakhalin Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography; Leading Researcher of the Laboratory of tsunamis, Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, shevchenko_zhora@mail.ru

Lozhkin, Dmitry M. (<https://orcid.org/0000-0002-7073-681X>), Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Leading Researcher of the Laboratory of oceanography, Sakhalin Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk

Received 12 May 2023
Accepted 3 July 2023