

ISSN: 3034-1434

Том / Vol. **2**

№ / No. **2**

2 0 2 4



Арктика
и инновации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Мурманский арктический университет» (ФГАОУ ВО «МАУ»)
Federal State Autonomous Educational Institution
of Higher Education "Murmansk Arctic University" (FSAEI HE "MAU")

Научный журнал

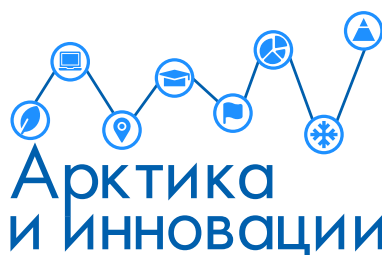
«Арктика и инновации»

Том 2 / № 2 / 2024

Scientific Journal

"Arctic and Innovations"

Vol. 2 / No. 2 / 2024



ФГАОУ ВО «МАУ»
FSAEI HE "MAU"



Том **2**
№ **2**
2 0 2 4

Периодичность

4 раза в год

Префикс DOI

<https://doi.org/10.21443>

ISSN

3034-1434

Учредитель, издатель, редакция

ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет»

Адрес

ул. Спортивная, д. 13, г. Мурманск,
Россия, 183010

Сайт

<https://www.arcainnov.ru/>

E-mail

arcainnov@mauniver.ru

Выход в свет

15 июня 2024

Копирайт

ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет», оформление, 2024

Цена

Распространяется бесплатно

Условия распространения материалов

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution
4.0 License.

Редакторы-корректоры

Пигулевская И.С., Зелексон Л.А.

Верстка

Храмова О.В.

Целью журнала является создание ведущей международной экспертно-аналитической площадки, на которой будут обсуждаться актуальные вопросы научного формирования и практической реализации арктических инновационных исследований и разработок, а также содействие развитию фундаментальных и прикладных знаний в области арктических инноваций и выявления критериев для их устойчивого развития.

Задачи журнала:

- освещение новейших результатов научной и научно-практической деятельности в области разработки и реализации арктических инноваций в разнообразных сферах обеспечения комфортного проживания человека в Арктике: социально-экономическое развитие, инновационные технологии, особенности международного арктического сотрудничества, мониторинг и сохранение природных экосистем, климат и космическая погода в полярных регионах, применение информационных технологий в арктических исследованиях, урбанизация и туризм, проблемы сохранения малочисленных коренных народов Севера, арктическое здоровье, сбережение, инновации в образовании и др.;
- создание единой научной экспертно-аналитической площадки для интеграции знаний и опыта ведущих ученых и практиков в этих областях;
- апробация научных исследований ученых и аспирантов, занимающихся арктическими инновационными исследованиями и работками.

Главный редактор

Шилин Михаил Борисович, доктор географических наук, профессор, Российский государственный гидрометеорологический университет (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Заместитель главного редактора

Щебарова Наталья Николаевна, доктор экономических наук, профессор, Мурманский арктический университет (Мурманск, Российская Федерация)

Редакционная коллегия

Ахмад Алаа Али, кандидат географических наук, эксперт по экологии Генеральной дирекции сирийских портов (Тартус, Сирийская Арабская Республика)

Дун Сянли, кандидат биологических наук, преподаватель, сотрудник лаборатории биологии и водной среды Чжэцзянского Океанического университета (Чжэцзян, Китайская Народная Республика)

Жигульский Владимир Александрович, кандидат технических наук, заслуженный эколог Российской Федерации, директор ООО «Эко-Экспресс-Сервис» (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Жигунова Галина Владимировна, доктор социологических наук, доцент, заведующий кафедрой философии и социальных наук, Мурманский арктический университет (Мурманск, Российская Федерация)

Зимин Алексей Вадимович, доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник Лаборатории геофизических пограничных слоев Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Истомин Евгений Петрович, доктор технических наук, профессор, и. о. директора Института информационных систем и геотехнологий Российского государственного гидрометеорологического университета (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Коренева Анастасия Вячеславовна, доктор педагогических наук, доцент, профессор кафедры филологии и медиакоммуникаций, Мурманский арктический университет (Мурманск, Российская Федерация)

Кузьмичева Татьяна Викторовна, доктор педагогических наук, доцент, профессор кафедры психологии и коррекционной педагогики, директор психолого-педагогического института, Мурманский арктический университет (Мурманск, Российская Федерация)

Огородов Станислав Анатольевич, доктор географических наук, МГУ им. М.В. Ломоносова, заведующий НИЛ геоэкологии Севера (Москва, Российская Федерация)

The Arctic is one of the largest territories of Russia that the state pays close attention to. It is proven by the number of strategic documents of innovative development that have been adopted or are being prepared for adoption. From the point of ensuring national security and stable development of the Russian Federation, it is vital for the country's geopolitics to explore the Arctic. Innovation in the Arctic as a driving factor of progress is of critical priority in modern scientific research. Without innovation, it would be impossible to advance.

The international scientific journal "Arctic and Innovations" is devoted to the specifics of innovations in the Arctic. The journal publishes articles on innovative activities in ensuring comfortable environment for people, Arctic economy and management, tourism, social development of territories, education, etc. The articles present both a complex inter- and multidisciplinary outlook on the processes taking place in the Arctic. Therefore, the research covering the issue from various perspectives such as geography, history, economics, political science, sociology, education, etc., is given priority.

The editorial board welcomes works that make significant difference to the theory and methodology of regional studies.

Editor-in-chief

Mikhail B. Shilin, Dr. Sc. (Geography), professor, Russian State Hydrometeorological University (Saint Petersburg, Russian Federation)

Deputy editor-in-chief

Natalja N. Schebarova, Dr. Sc. (Economy), professor, Murmansk Arctic University (Murmansk, Russian Federation)

Editorial board

Ahmad Alaa Ali, PhD in Geography, environmental expert at the General Directorate of ports in Syria (Tartus, Syria)

Xiangli Dong, PhD (Biology), lecturer, research fellow of the Laboratory of the biology and water environment, Zhejiang Ocean University (Zhejiang, China)

Vladimir A. Zhigulsky, Cand. Sci. (Technical), Honored ecologist of Russian Federation, director, Eco-Express-Service Ltd (Saint Petersburg, Russian Federation)

Galina V. Zhigunova, Dr. Sc. (Sociology), associated professor, head of the Chair of Philosophy and Social Sciences, Murmansk Arctic University (Murmansk, Russian Federation)

Alexey V. Zimin, Cand. Sci. (Phys. and Math.), Dr. Sc. (Geography), head of the Laboratory of geophysical boundary layers, Shirshov Institute of Oceanology of RAS; professor of the Department of oceanology, Saint Petersburg State University (Saint Petersburg, Russian Federation)

Yevgenij P. Istomin, Dr. Sc. (Technical), professor, head, Institute of Informational Systems and Geotechnology, Russian State Hydrometeorological University (Saint Petersburg, Russian Federation)

Anastasija V. Koreneva, Dr. Sc. (Pedagogic), associated professor at the Chair of philology and media-communications, Linguistic Institute, Murmansk Arctic University (Murmansk, Russian Federation)

Tatjana V. Kuzmicheva, Dr. Sc. (Pedagogic), associated professor, professor, Chair of psychology and correcting pedagogic, head, Psycho-Pedagogical Institute, Murmansk Arctic University (Murmansk, Russian Federation)

Stanislav A. Ogorodov, Dr. Sc. (Geography), professor, principal research fellow and head of the Laboratory of the geocology of the Northern region of the Department of geography at the Moscow State Lomonosov University (Moscow, Russian Federation)



Vol. **2**
2
2 0 2 4

Frequency

quarterly

DOI Prefix

<https://doi.org/10.21443>

ISSN

3034-1434

Founder, publisher, editorial office

Murmansk Arctic University

Address

183010, Russian Federation, Murmansk, Sportivnaya str., 13

Website

<https://www.arcainnov.ru/>

E-mail

arcainnov@mauniver.ru

The publication

15 June 2024

Copyright

Murmansk Arctic University, layout, 2024

Price

free

Distribution

The content is distributed under the Creative Common License CC BY

Editors and proofreaders

Irina S. Pigulevskaya, Lev A. Zelexon

Вёрстка

Olga V. Khranova

- 6** Принципы ландшафтно-биономического районирования Баренцева моря
Петров К.М.
- 18** Практическое применение инновационной технологии безразборного ремонта узлов морского, железнодорожного и автомобильного транспорта, а также промышленного оборудования в условиях Арктики
Павлов О.Г., Дунаев А.В., Лавров Ю.Г., Цейко А.П., Шарифуллин С.Н., Аратский П.Б., Шилин М.Б.
- 37** Литология поверхностных отложений Восточно-Сибирского моря по результатам геологического картирования
Рябчук Д.В., Ковалева О.А., Сергеев А.Ю., Жамойда В.А., Григорьев А.Г., Буданов Л.М., Нестерова Е.Н., Неевин И.А., Дронь О.В.
- 62** Оценка рефлекторных рисков для населения Мурманской области при ингаляционном воздействии вредных веществ
Фрумин Г.Т.
- 68** Характеристика степени тяжести раннего формирования атеросклеротического процесса при отдельных патологических формах ишемической болезни сердца у морских специалистов в условиях Арктического региона
Закревский Ю.Н., Герцев А.В.
- 82** Изучение миграций птиц в изменяющихся погодных условиях с целью сохранения арктических экосистем. Часть 1: Полярная крачка (*Sterna paradisaea*)
Хохлова Л.П., Мандрыка О.Н.
- 92** Перспективы применения древесины перекрестно-клееной в условиях Арктики
Агафонов С.А., Михеев П.Ю., Углов А.К.
- 102** Температурные тренды Арктики и Антарктики
Сапунов В.Б.

Principles of landscape-bionomic zoning of the Barents Sea <i>Kirill M. Petrov</i>	6
Innovative in-place repair technology for assemblies in marine, railway, and road transport, as well as industrial equipment in the Arctic: Practical application <i>Oleg G. Pavlov, Anatoly V. Dunaev, Yury G. Lavrov, Alexander P. Tseyko, Said N. Sharifullin, Pavel B. Aratsky, Mikhail B. Shilin</i>	18
Lithology of surface sediments in the East-Siberian Sea based on geological mapping <i>Daria V. Ryabchuk, Olga A. Kovaleva, Alexander Yu. Sergeev, Vladimir A. Zhamoida, Andrey G. Grigoriev, Leonid M. Budanov, Elena N. Nesterova, Igor A. Neevin, Oleg V. Dron'</i>	37
Assessment of reflex risks of inhalation exposure to harmful substances among the Murmansk oblast population <i>Grigory T. Frumin</i>	62
Characteristics of the severity of the early formation of the atherosclerotic process in certain pathological forms of coronary heart disease in marine specialists in the conditions of the Arctic region <i>Zakrevsky Yu.N., Gertsev A.V.</i>	68
Study of bird migrations under changing weather conditions to preserve arctic ecosystems. Part 1: Arctic tern (<i>Sterna paradisaea</i>) <i>Ljudmila P. Khokhlova, Olga N. Mandryka</i>	82
Prospects for the application of cross-laminated timber under Arctic conditions <i>Sergei A. Agafonov, Pavel Yu. Mikheev, Alexey K. Uglov</i>	92
Temperature trends in the Arctic and Antarctic <i>Valentin B. Sapunov</i>	102

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 574.62 (211-17)

ББК 26.22я73 Э 40

<https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-6-17>



Принципы ландшафтно-биономического районирования Баренцева моря

Петров К.М.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,
Санкт-Петербург, Россия

✉ k.petrov@spbu.ru

Аннотация. Ландшафтно-биономическое районирование раскрывает действие гидрологического и геоморфологического звеньев физико-географического процесса на биономическую дифференциацию дна Баренцева моря. Полярный фронт отделяет арктические водные массы и сообщества от субарктических; под влиянием ветвей теплого атлантического течения формируются экстрazonальные бореальные биомы. Геоморфологическое строение является литогенной основой, определяющей формирование биономических типов дна Баренцева моря: установлено, что каждой геоморфологической области соответствует одна группировка макрозообентоса.

Ключевые слова: ландшафтно-биономическое районирование, биономическая дифференциация, геоморфологическое строение, литогенная основа, группировки макрозообентоса

Конфликт интересов: автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Петров К.М. Принципы ландшафтно-биономического районирования Баренцева моря. *Арктика и инновации*. 2024;2(2):6–17. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-6-17>

Principles of landscape-bionomic zoning of the Barents Sea

Kirill M. Petrov

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

✉ k.petrov@spbu.ru

Abstract. Landscape-bionomic zoning reveals the effect of hydrological and geomorphological links of the physical-geographical process on the bionomic differentiation of the Barents Sea floor. The polar front separates the Arctic water masses and communities from the subarctic ones; under the influence of warm Atlantic Current branches, extrazonal boreal biomes are formed. The geomorphological structure represents the lithogenic basis that determines the formation of bionomic types of the Barents Sea floor. It was established that each geomorphological region corresponds to one macrozoobenthos group.

Keywords: landscape-bionomic zoning, bionomic differentiation, geomorphological structure, lithogenic basis, macrozoobenthos groups

Conflict of interests: the author declares no conflict of interest.

For citation: Petrov K.M. Principles of landscape-bionomic zoning of the Barents Sea. *Arctic and Innovations*. 2024;2(2):6–17. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-6-17>

Введение

Ландшафтно-биономическое районирование Баренцева моря обусловлено деятельностью двух звеньев физико-географического процесса: гидрологического и геоморфологического (морфоструктурного); третье, биономическое, звено зависит от действия двух первых. Схема биономического районирования, предложенная международной Арктической программой, отражает связь донных группировок с гидрологическими условиями и геоморфологическим строением дна Баренцева моря.

Гидрологическое звено

В Баренцево море теплые атлантические воды поставляют Норвежское, Западно-Шпицбергенское, Нордкапское и Западно-Гренландское течения. Холодные воды и льды выносятся из Арктики на юг Восточно-Гренландским и Лабрадорским течениями (рис. 1).

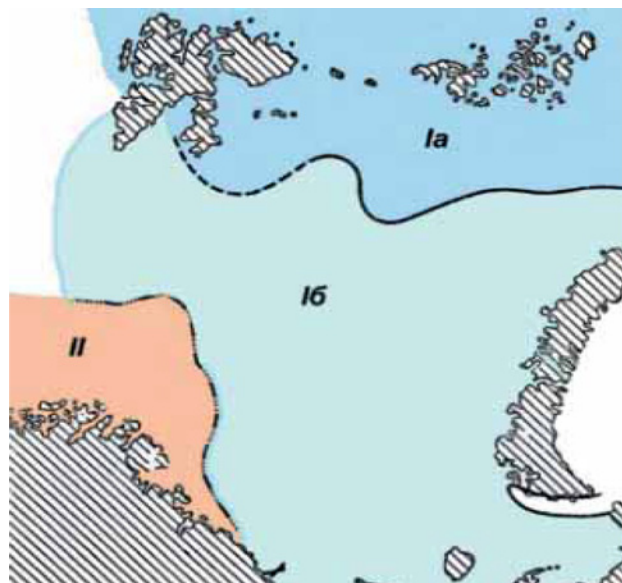


Рис. 2. Природные зоны поверхностных вод Баренцева моря. I — арктический пояс: Ia — арктическая зона; I6 — субарктическая зона; II — экстразональная баренцевоморская провинция boreальной зоны умеренного пояса

Fig. 2. Natural zones of surface waters of the Barents Sea. I — Arctic belt: Ia — Arctic zone; I6 — Subarctic zone; II — extrazonal Barents Sea province of the boreal temperate zone

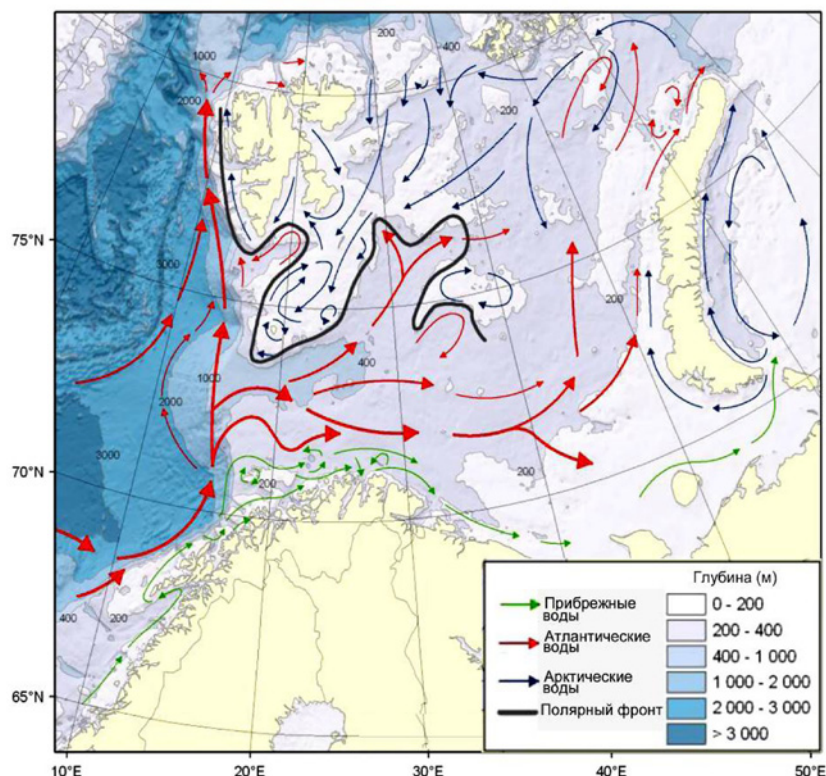


Рис. 1. Течения и водные массы Баренцева моря.
<https://triptonkosti.ru/21-foto/batimetricheskaya-karta-barenceva-morya.html>

Fig. 1. Currents and water masses in the Barents Sea.
<https://triptonkosti.ru/21-foto/batimetricheskaya-karta-barenceva-morya.html>

Под влиянием теплых течений из Атлантического океана находится вся юго-западная часть моря. Прибрежная ветвь — наиболее теплая (средняя годовая температура около 5 °C) — движется вдоль северной Норвегии и Мурманского побережья. Эта ветвь имеет ведущее значение для формирования на юго-западе Баренцева моря экстразональных boreальных ландшафтов.

Атлантические воды, встречаясь с арктическими, менее солеными и более холодными, опускаются вниз. На их место, на поверхность, выходят глубинные воды. Совокупности этих явлений дано название «полярный фронт»; он является зональной границей, отделяющей арктические воды от субарктических (рис. 2).

В зимнее время образуется покров морских льдов. Летом в субарктической зоне он исчезает с большей части акватории и остается только на севере в арктической зоне.

С начала XX века отмечается потепление Арктики, которое связано, во-первых, с доминированием зонального переноса воздушных масс в Атлантико-Европейском регионе, вызвавшего повышение циклонической активности в Баренцевом море; во-вторых, с увеличением приноса тепла течениями; в-третьих, с активизацией антициклонической деятельности в теплую часть года, способствовавшей повышению температуры воздуха и верхнего слоя моря за счет увеличения поступления солнечной энергии [4].

Геоморфологическое (морфоструктурное) звено

Геоморфологическое строение (морфоструктуры, выраженные в рельефе) является литогенной основой, на которой формируются подводные ландшафты Баренцева моря. По сравнению с другими арктическими морями баренцевоморский шельф более глубоководный, и при этом здесь нет монотонного возрастания глубины в сторону океана. Общие черты рельефа Баренцева моря отображены на геоморфологической карте, составленной А.Г. Зинченко (рис. 3).

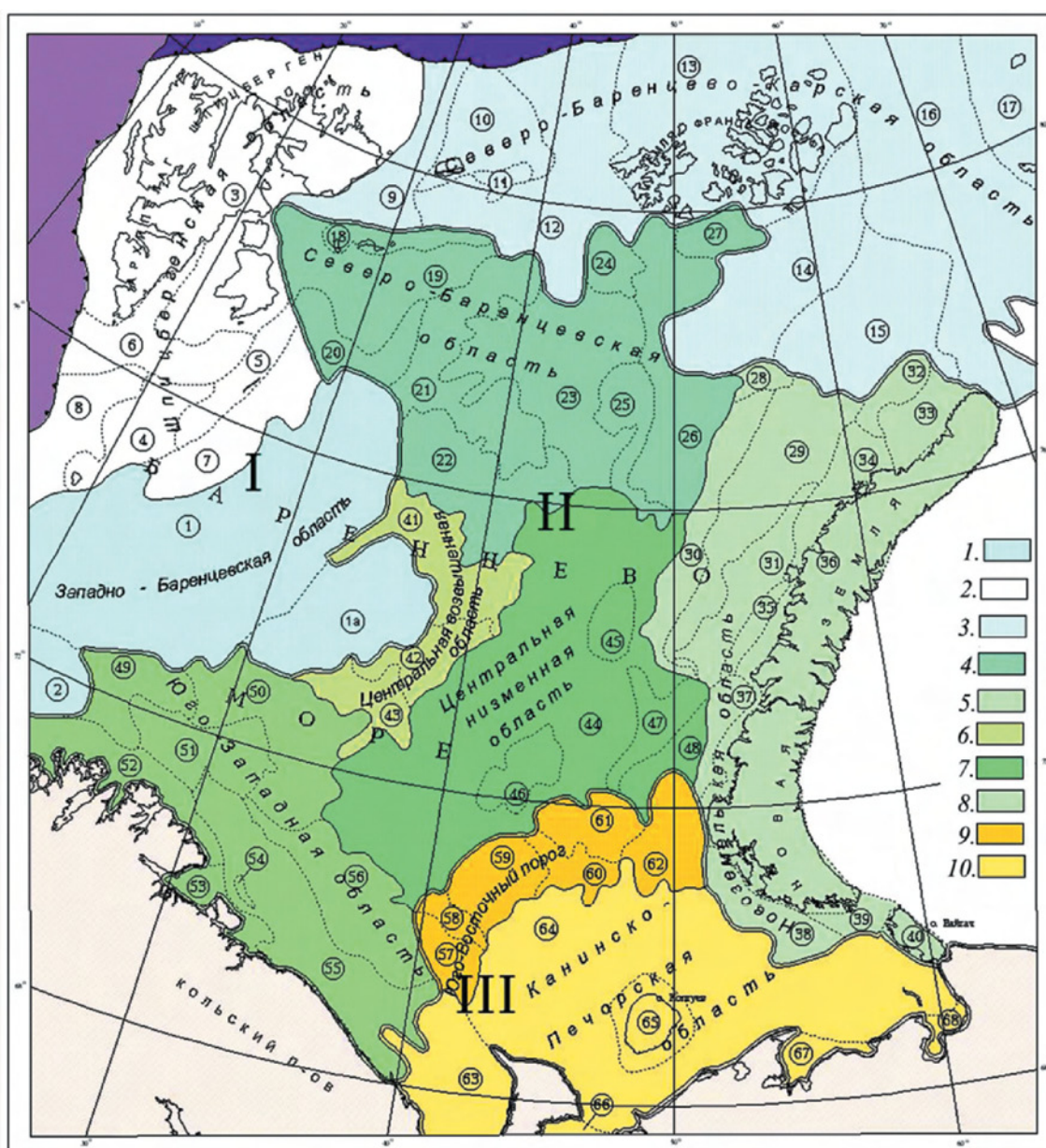


Рис. 3. Геоморфологическое районирование Баренцева моря. Масштаб 1:6 000 000 [2]

Fig. 3. Geomorphological zoning of the Barents Sea. Scale 1:6,000,000 [2]

I — Окраинно-шельфовая провинция. Западно-Баренцевская область желобов и впадин: 1 — Медвежинский желоб, 1а — Восточно-Медвежинская котловина; 2 — Желоб Ингей; Шпицбергенская возвышенная область: 3 — Шпицбергенское поднятие, 4 — Шпицбергенская банка, 5 — Надеждинское плато, 6 — Зюйдкапский желоб, 7 — Восточно-Шпицбергенский склон, 8 — Юго-западный Шпицбергенский склон. Северо-Баренцево-Карская область поднятий и желобов: 9 — Желоб Орла, 10 — Плато острова Белый, 11 — Плато Виктория, 12 — Желоб Франц-Виктория, 13 — Поднятие Земли Франца-Иосифа, 14 — Северо-Восточная возвышенность, 15 — Северо-Восточный желоб, 16 — Желоб Святой Анны.

II — Внутришельфовая провинция. Северо-Баренцевская равнинная область: 17 — Центрально-Карское плато, 18 — Возвышенность Короля Карла, 19 — Желоб Короля Карла, 20 — Седловина Персея, 21 — Возвышенность Персея, 22 — Желоб Персея, 23 — Северная равнина, 24 — Плато Альбакова, 25 — Возвышенность Кленовой, 26 — Впадина Альбакова, 27 — Желоб Альбакова. Новоземельская область линейных возвышенностей и желобов: 28 — Северо-восточная седловина, 29 — Западно-Новоземельская возвышенность, 30 — Адмиралтейский склон, 31 — Западно-Новоземельский желоб, 32 — Плато Литке, 33 — Желоб Литке, 34 — Западно-Новоземельский склон, 35 — Крестовая терраса, 36 — Новоземельское поднятие, 37 — Кармакульская терраса, 38 — Южно-Новоземельский желоб, 39 — Седловина Карских Ворот, 40 — Вайгачское поднятие. Центральная возвышенная область: 41 — Центральная возвышенность, 42 — Демидовский желоб, 43 — Демидовская возвышенность. Центральная низменная область: 44 — Центральная впадина, 45 — Безымянная возвышенность, 46 — Гусиная терраса, 47 — Восточная терраса, 48 — Моллеровский склон. Юго-Западная область преимущественно линейных возвышенностей и желобов: 49 — Нордкинское плато, 50 — Финмаркенская равнина, 51 — Нордкинская впадина, 52 — Скандинавский склон, 53 — Кольский склон, 54 — Рыбачье плато, 55 — Кольский желоб, 56 — Мурманская возвышенность.

III — Мелководная провинция. Канинско-Печерская область, Юго-Восточный порог: 57 — Южно-Канинское плато, 58 — Канинский желоб, 59 — Северо-Канинское плато, 60 — Гусиный желоб, 61 — Гусиное плато, 62 — Плато Моллера. Канинско-Печорская равнинная область: 63 — Канинская ступень, 64 — Печероморская ступень, 65 — Колгуевское поднятие, 66 — Чешская губа, 67 — Печерская губа, 68 — Хайпудырская губа.

I — Marginal-shelf province. West Barents region of troughs and depressions: 1 — Medvezhinsky trough, 1a — East Medvezhinsky basin; 2 — Ingey trough; Spitsbergen uplifted area: 3 — Spitsbergen uplift, 4 — Spitsbergen bank, 5 — Nadezhdinsky plateau, 6 — Zuydkap trough, 7 — East Spitsbergen slope, 8 — South-West Spitsbergen slope. North Barents-Kara region of rises and troughs: 9 — Orel Trough, 10 — Bely Island Plateau, 11 — Victoria Plateau, 12 — Franz-Victoria Trough, 13 — Franz Josef Land Uplift, 14 — Northeast Uplift, 15 — Northeast Trough, 16 — St. Anna Trough.

II — Intrashef Province. North Barents Plain Province: 17 — Central Kara Plateau, 18 — King Charles Uplift, 19 — King Charles Trough, 20 — Persey Saddle, 21 — Persey Uplift, 22 — Persey Trough, 23 — Northern Plain, 24 — Albakov Plateau, 25 — Klenova Uplift, 26 — Albakov Basin, 27 — Albakov Trough. Novozemelskaya area of linear uplands and troughs: 28 — Northeast Saddle, 29 — West Novozemelskaya Uplift, 30 — Admiralteisky Slope, 31 — West Novozemelskaya Trough, 32 — Litke Plateau, 33 — Litke Trough, 34 — West Novozemelskaya Slope, 35 — Krestovaya Terrace, 36 — Novozemelskaya Rise, 37 — Karmakul Terrace, 38 — South Novozemelsky Ridge, 39 — Kara Gates Saddle, 40 — Vaigach Rise. Central upland area: 41 — Central Upland, 42 — Demidovsky Trough, 43 — Demidovskaya Upland. Central lowland area: 44 — Central Depression, 45 — Bezymyannaya Upland, 46 — Gusinaya Terrace, 47 — Eastern Terrace, 48 — Mollerovsky Slope. Southwest area of predominantly linear uplands and troughs: 49 — Nordkinskoye Plateau, 50 — Finmarkenskaya Plain, 51 — Nordkinskaya Trough, 52 — Scandinavian Slope, 53 — Kola Slope, 54 — Rybachie Plateau, 55 — Kola Trough, 56 — Murmansk Upland.

III — Shallow Water Province. Kaninsko-Pecherskaya Province, South-Eastern Threshold: 57 — South Kaninskoye Plateau, 58 — Kaninsky Trough, 59 — North Kaninskoye Plateau, 60 — Gusiny Trough, 61 — Gusinoye Plateau, 62 — Mollera Plateau. Kaninsko-Pechorskaya plain region: 63 — Kaninskaya Stage, 64 — Pecheromorskaya Stage, 65 — Kolguyev Rise, 66 — Cheskaya Bay, 67 — Pecherskaya Bay, 68 — Khaipudirskaya Bay.

Наиболее крупные таксоны — это геоморфологические провинции.

Окраинно-шельфовая провинция объединяет формы или непосредственно граничащие с бровкой шельфа, или сопряженные с ней. Рассматриваемая провинция представляет собой зону транзита вещества, которое через глубокие окраинно-шельфовые желоба поступает на континентальный склон. В пределах окраинно-шельфовой провинции сосредоточена также группа покрытых ледниками гористых островов, объединяющихся в архипелаги, которые имеют обширные подводные цоколи. Перепад отметок от гор на островах до днищ желобов в ее пределах достигает 1000 м. Крупные замкнутые котловины для этой провинции не характерны. Провинция разделяется на три области. *Западно-Баренцевская* объединяет формы, тяготеющие

к Норвежско-Гренландскому глубоководному бассейну. *Баренцево-Северо-Карская* — к Арктическому, а *Шпицбергенская* — одновременно к ним обоим. При этом первая из названных областей является низменной, вторая — преимущественно возвышенной, а третья включает в себя как глубокие желоба, так и крупные островные и подводные возвышенности.

Внутришельфовая провинция объединяет те формы переуглубленного шельфа, которые не имеют непосредственного выхода к бровке. Перепад отметок здесь не так значителен. Во внутришельфовую область входит лишь одно крупное островное поднятие — Новоземельское. В составе провинции выделяются пять областей. *Северо-Баренцевская область*, представляющая собой сложно построенный порог, включает в себя положительные формы, замыкающие

с севера внутренний Центральный бассейн. Кроме того, в состав области входят заключенные между возвышенностями обширные равнины и впадины (преимущественно замкнутые). По желобу Персея Северо-Баренцевская область граничит с *Центральной возвышенной областью*, которая также представляет собой порог между бассейном низменных *Центральной* и *Западно-Баренцевской областей*. Почти вся она занята обширной Центральной впадиной Баренцева моря, которая представляет собой самый крупный почти полностью изолированный внутренний бассейн. Через узкий проход между *возвышенностями Кленовой* и *Адмиралтейства* она соединена с впадиной *Альбанова*, а с *Медвежьим желобом* — через *желоб Персея*. Дно желоба Персея состоит из нескольких ванн, разделенных перемычками. Со всеми окружающими ее возвышенностями Центральная впадина имеет общие склоны высотой до 150–200 м, сверху четко ограниченные бровками, а снизу — вогнутыми перегибами.

Новоземельская и Юго-Западная области отличаются от других областей внутришельфовой провинции тем, что входящие в них орографические формы отчетливо линейные и образуют систему, состоящую из узких желобов и сопряженных с ними возвышенностей. Обе области представляют собой сложные пороги: Новоземельская разделяет внутришельфовые бассейны Баренцева и Карского морей, а Юго-Западная область отчленяет бассейн Центральной впадины от потока осадков, поступающих с Балтийского щита. Обе рассматриваемые области включают в себя полностью замкнутые отрицательные формы, такие как впадина *Дьюпренна* и *Южно-Новоземельский желоб*.

Мелководная провинция является лишь относительно мелководной на фоне значительно переуглубленных окраинно- и внутришельфовой провинций. Глубины до 100 м в ее пределах для сибирских морей оцениваются как значительные. Граничащий с Центральной низменной областью Юго-Восточный порог может быть отнесен к ней, однако по глубинам он тяготеет к Канинско-Печорской области.

Показанные на карте особенности рельефа предлагается использовать в качестве морфоструктурного каркаса ландшафтно-биономического районирования Баренцева моря.

Биономическое звено

Биологические процессы в Баренцевом море осуществляются при участии трех главных трофических групп гидробионтов: фитопланктона, зоопланктона и зообентоса. Завершающим звеном пищевой цепи являются рыбы, птицы и млекопитающие (рис. 4).

Основная роль в продуцировании органического вещества в море принадлежит фитопланктону. В Баренцевом море за тот небольшой промежуток времени, когда фитопланктон имеет возможность вегетировать, создается огромная масса первичного органического вещества. Наиболее высокие значения первичной продукции отмечены в зоне смешения атлантических и собственно баренцевоморских вод. Здесь происходит обогащение фотической зоны биогенными элементами, которые поддерживают процесс продуцирования в летний период на высоком уровне. Вспышка развития фитопланктона — «цветение» моря — наблюдается у кромки тающих льдов.

Образование и таяние ледового покрова влияет на взаимодействие комплекса физических, химических и биологических факторов и может рассматриваться как функционирование особого водно-ледового ландшафта.

Морской лед создает особую среду обитания на своей поверхности, в толще и с нижней стороны, представляющей для ряда организмов подобие перевернутого дна. На нижней стороне старого пакового льда диатомовые (*Melosira arctica*) образуют «маты», на которых пасутся стаи зоопланктона. Для белых медведей морской лед — станция охоты; для тюленей — место отдыха, рождения и выращивания потомства [5].

Соотношение площади многолетних и сезонных льдов играет важную роль в экосистеме моря. Толща многолетнего льда представляет собой депо вмерзших в лед бактерий, водорослей, простейших, беспозвоночных, которые при таянии льда поступают в верхние слои воды, способствуя быстрому увеличению продуктивности планктона. Однако на протяжении последних десятилетий в связи с потеплением Арктики меняются свойства морских льдов и состав гидробионтов. По данным И.А. Мельникова (Barry, Horner, Mel'nikov et al., 1989), по сравнению с серединой 1970-х годов в последнее десятилетие существенно изменился

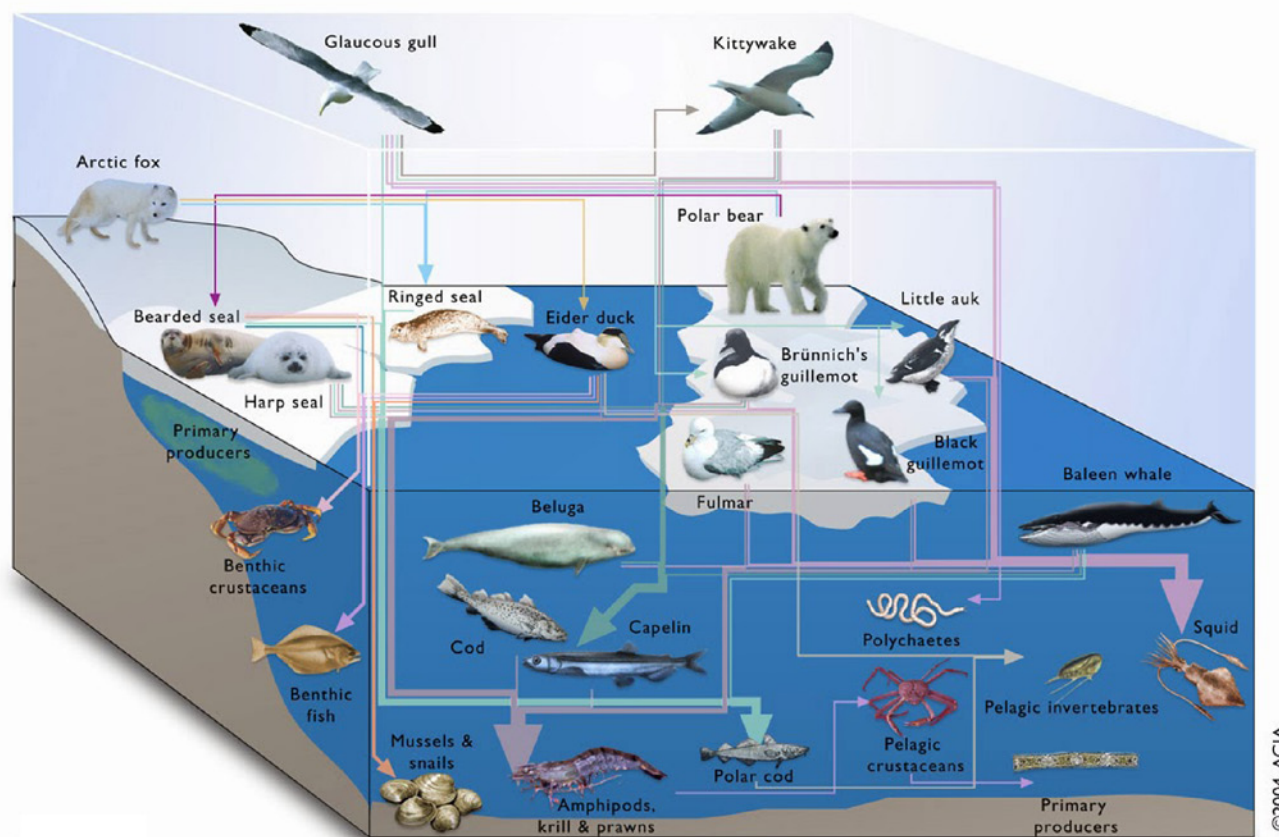


Рис. 4. Трофическая сеть в экосистеме Баренцева моря [6]
Fig. 4. Trophic network in the Barents Sea ecosystem [6]

качественный и количественный состав биоты: в общем списке ледовых водорослей в 1975–1982 гг. насчитывалось 172 таксона, а в 1997–2008 гг. — всего около 30 видов. Диатомовые водоросли, ранее преобладавшие в фитоценозе морских льдов, уступают доминирующую роль другим группам. Изменился и состав ледовой фауны: столь многочисленные в 1970-е гг. представители простейших и беспозвоночных (фораминиферы, тинтинниды, клещи, нематоды, турбеллярии, коловратки, копеподы и нематоды) ныне встречаются редко. Причины различий кроются, по мнению И. А. Мельникова, в особенностях формирования водно-ледового ландшафта.

В ледяном покрове Баренцева моря, даже на севере, в зоне перехода в акваторию Северного Ледовитого океана начинают доминировать сезонные льды, которые принципиально отличаются от многолетних: чем старше лед, тем он мощнее и преснее. Многолетний морской лед представляет собой целостную и устойчивую экологическую систему с постоянным видовым составом

флоры и фауны. Вертикальная структура биологических сообществ сохраняется в результате ледотаяния и ледообразования. Зимой лед нарастает снизу на уже существующий слой, толщина которого после летнего таяния сохраняется до 2 м, поэтому организмы, заселяющие эти слои, находятся в мягких температурных условиях, близких к температуре морской воды (около -2°C), что способствует их выживанию в зимний период.

В сезонных льдах экосистема неустойчива. Формирование сезонных льдов начинается на открытой воде при низкой температуре воздуха. Когда образуются первые слои льда, в его нижний слой из воды захватываются планктонные организмы. Поскольку в осенне-зимний период качественный и количественный состав планктона беден, то и число включенных в лед организмов невелико, к тому же они попадают в условия сильного охлаждения, и большинство организмов погибает. Таким образом, в современном арктическом ледяном покрове сосуществуют две разные по составу и функционированию

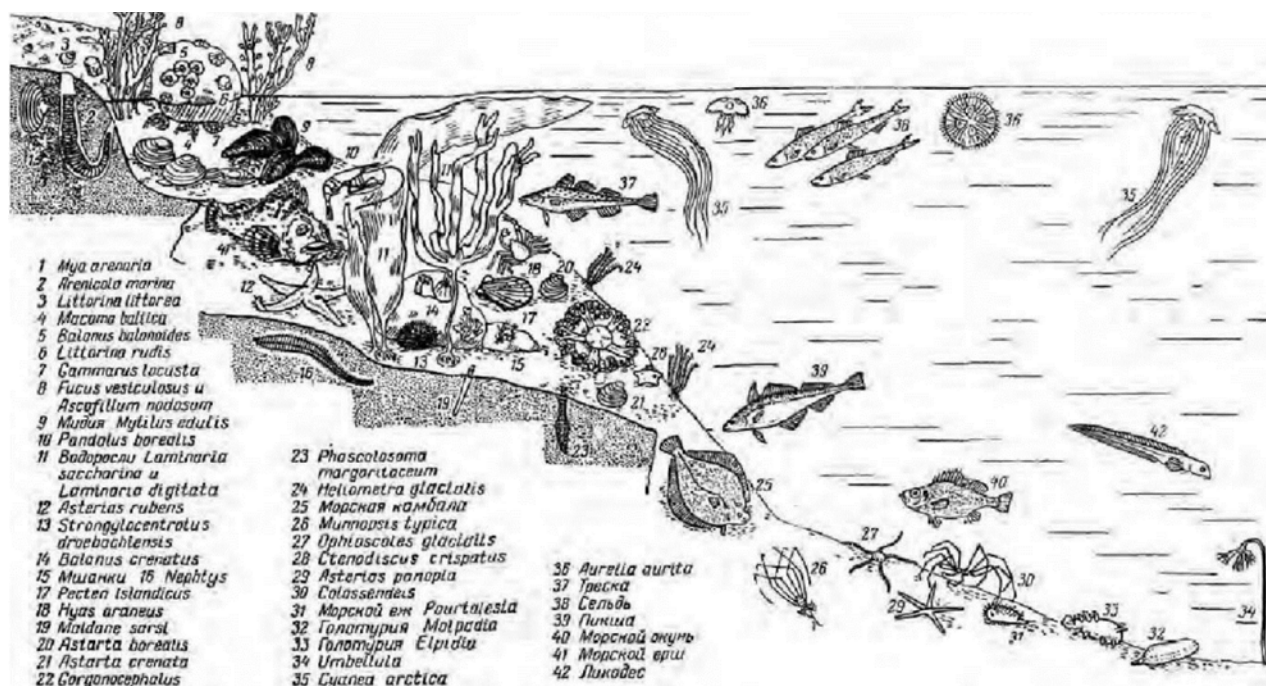


Рис. 5. Распределение доминирующих форм гидробионтов в Баренцевом море [1]

Fig. 5. Distribution of dominant forms of hydrobionts in the Barents Sea [1]

экологические системы — многолетне-го и сезонного льда, при этом доля второй возрастает. Такое развитие может привести к перестройке всей низшей трофической структуры арктических морей и отразиться на высших звеньях трофической цепи, включая рыб, птиц и млекопитающих.

Донная фауна Баренцева моря характеризуется большим качественным разнообразием (свыше 1500 видов) и обилием, главным образом за счет двустворчатых и брюхоногих моллюсков, полихет, иглокожих, ракообразных, губок, гидроидов, мшанок и асцидий (рис. 5).

Распределение сообществ макробентоса в Баренцевом море показано на карте (рис. 6).

Ландшафтно-биомическое районирование

Ведущим фактором распределения донных группировок является рельеф. Эта закономерность прослеживается на серии карт, на которых контуры донных сообществ наложены на геоморфологическую карту Баренцева моря (рис. 7 и 8).

Анализ карт показывает четкую связь донных группировок с геоморфологическими

областями. Каждому сообществу соответствует одна область.

В 1992 году была создана международная Арктическая программа (<https://www.arcticwwf.org>); через 30 лет одним из ее результатов стало биомическое районирование Баренцева моря (рис 9). Характерными признаками районов служат следующие.

1. Тесная связь группировок бентоса с геоморфологическим строением Баренцева моря.
2. Естественность: район, биотопы, населяющие их виды, находятся в естественном состоянии, не нарушенном антропогенной деятельностью.
3. Репрезентативность: регион включает большое разнообразие донных природных комплексов, экологических факторов, биотопов, видов, которые являются типичными и представительными для региона.
4. Биоразнообразие: регион обладает характерным для него биоразнообразием.
5. Продуктивность: регион обладает продуктивностью, позволяющей поддерживать устойчивость биоразнообразия и функционирования экосистемы в целом.

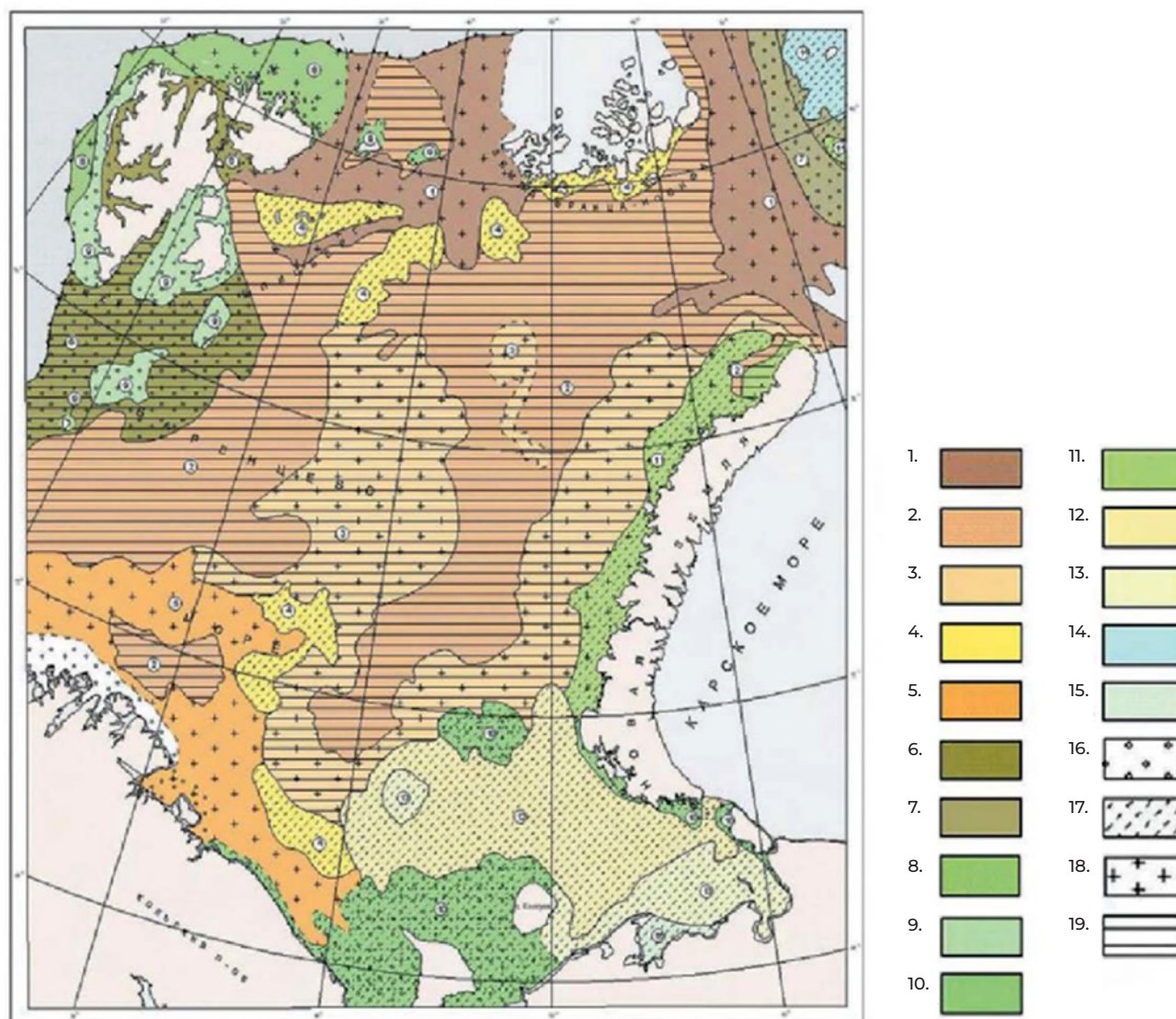


Рис. 6. Распределение сообществ макробентоса в Баренцевом море [3].

1–15 — сообщества макробентоса: 1 — глубоководное сообщество офиуры *Ophiopleura borealis* и фораминифер *Hormosina globulifera*; 2 — глубоководное сообщество грунтоедов: полихет и сипункулид р. *Golfingia*; 3 — сообщество голотурии р. *Trochostoma*; 4 — сообщество двусторчатых моллюсков сем. Astartidae (*Elliptica elliptica* и *Astarte crenata*); 5 — тепловодное сообщество морского ежа *Brisaster fragilis*; 6 — сообщество фауны шпицбергенских склонов и мягких грунтов; 7 — сообщество склоновой фауны желоба Святой Анны; 8 — сообщество морского ежа р. *Stongylocentretus* и офиуры *Ophiopholis aculeata*; 9 — сообщество неподвижных сестонофагов побережья Шпицбергена и близлежащих островов; 10 — прибрежное мелководное сообщество красных водорослей р. *Lithothamnion* и видов-обрастателей; 11 — сообщество фауны западного побережья архипелага Новая Земля и острова Визе; 12 — сообщество двусторчатого моллюска *Tridonta borealis*; 13 — сообщество двусторчатых моллюсков *Ciliatocardium ciliatum*, *Macoma calcaria* и *Serripes*; 14 — сообщество двусторчатых моллюсков Ушаковского плато; 15 — эстуарное сообщество двусторчатого моллюска *Macoma fusca*. 16–19 — районы приоритетного накопления загрязняющих веществ: 16 — хлороорганических соединений губками, 17 — Fe, Mg двусторчатками, 18 — Zn, Sn, Cu, Ni иглокожими, 19 — всех химических элементов грунтоедными

Fig. 6. Distribution of macrobenthos communities in the Barents Sea [3].

1–15 — macrobenthos communities: 1 — deep-water community of the ophiura *Ophiopleura borealis* and foraminifera *Hormosina globulifera*; 2 — deep-water community of subsurface deposit feeders: polychaetes and sipunculids gen. *Golfingia*; 3 — community of holothuria gen. *Trochostoma*; 4 — community of bivalves of the Astartidae (*Elliptica elliptica* and *Astarte crenata*) family. Astartidae; 5 — warm-water sea urchin community *Brisaster fragilis*; 6 — community of fauna of Spitsbergen slopes and soft soils; 7 — community of slope fauna of St. Anna Trough; 8 — community of sea urchin gen. *Stongylocentretus* and ophiura *Ophiopholis aculeata*; 9 — community of immobile sestonophages of the Spitsbergen coast and neighboring islands; 10 — coastal shallow-water community of red algae gen. *Lithothamnion* and fouler species. Lithothamnion and species-feeders; 11 — community of the fauna of the western coast of Novaya Zemlya archipelago and Wiese Island; 12 - community of the bivalve *Tridonta borealis*; 13 — community of bivalves *Ciliatocardium ciliatum*, *Macoma calcaria*, and *Serripes*; 14 — bivalve community of Ushakovsky plateau; 15 — estuarine community of bivalve *Macoma fusca*. 16–19 — areas of priority accumulation of pollutants: 16 — of organochlorine compounds by sponges, 17 — of Fe, Mg by bivalves, 18 — of Zn, Sn, Cu, and Ni by echinoderms, 19 — of all chemical elements by subsurface deposit feeders; 19 — of all chemical elements by subsurface deposit feeders

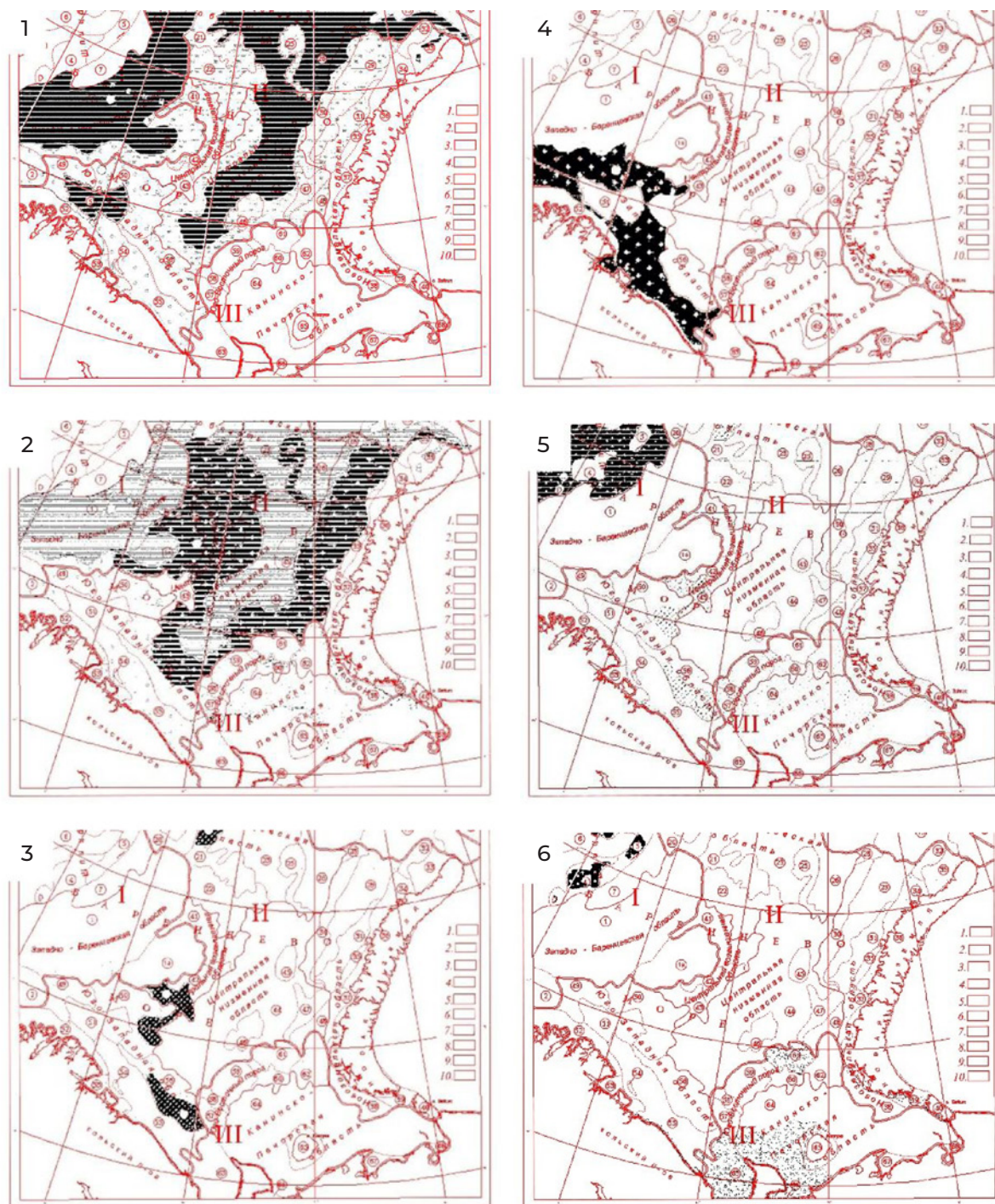


Рис. 7. Наложение контуров донных сообществ на карте О.А. Кийко [3] на геоморфологическую карту А.Г. Зинченко [2]. 1 — группировка глубоководных сообществ грунтоедов: полихет и сипункулид р. *Golfingia* в Западно-Баренцевской области; 2 — группировка голотурии р. *Trochostoma* в Центральной Возвышенной области; 3 — группировки двусторчатых моллюсков сем. Astartidae (*Elliptica elliptica* и *Astarte crenata*) в Юго-Западной области и Центральной Возвышенной области; 4 — тепловодные группировки морского ежа *Brisaster fragilis* в Юго-Западной области; 5 — группировка фауны Шпицбергенских склонов и мягких грунтов на архипелаге Шпицберген; 6 — группировка неподвижных сестонофагов побережья Шпицбергена и близлежащих островов

Fig. 7. Overlaying the contours of bottom communities on the map of O.A. Kiiko [3] on the geomorphologic map of A.G. Zinchenko [2]. 1 — Grouping of deep-water communities of subsurface deposit feeders: polychaetes and sipunculids gen. *Golfingia* in the Western Barents region; 2 — Grouping of holothuria p. *Trochostoma* in the Central Upland region; 3 — Groupings of bivalves of the Astartidae (*Elliptica elliptica* and *Astarte crenata*) family in the Southwestern Region and Central Upland Region; 4 — Warm-water groupings of the sea urchin *Brisaster fragilis* in the Southwestern Region; 5 — Grouping of the fauna of the Spitsbergen slopes and soft soils in the Spitsbergen Archipelago; 6 — Grouping of immobile sestonophages of the Spitsbergen coast and neighboring islands

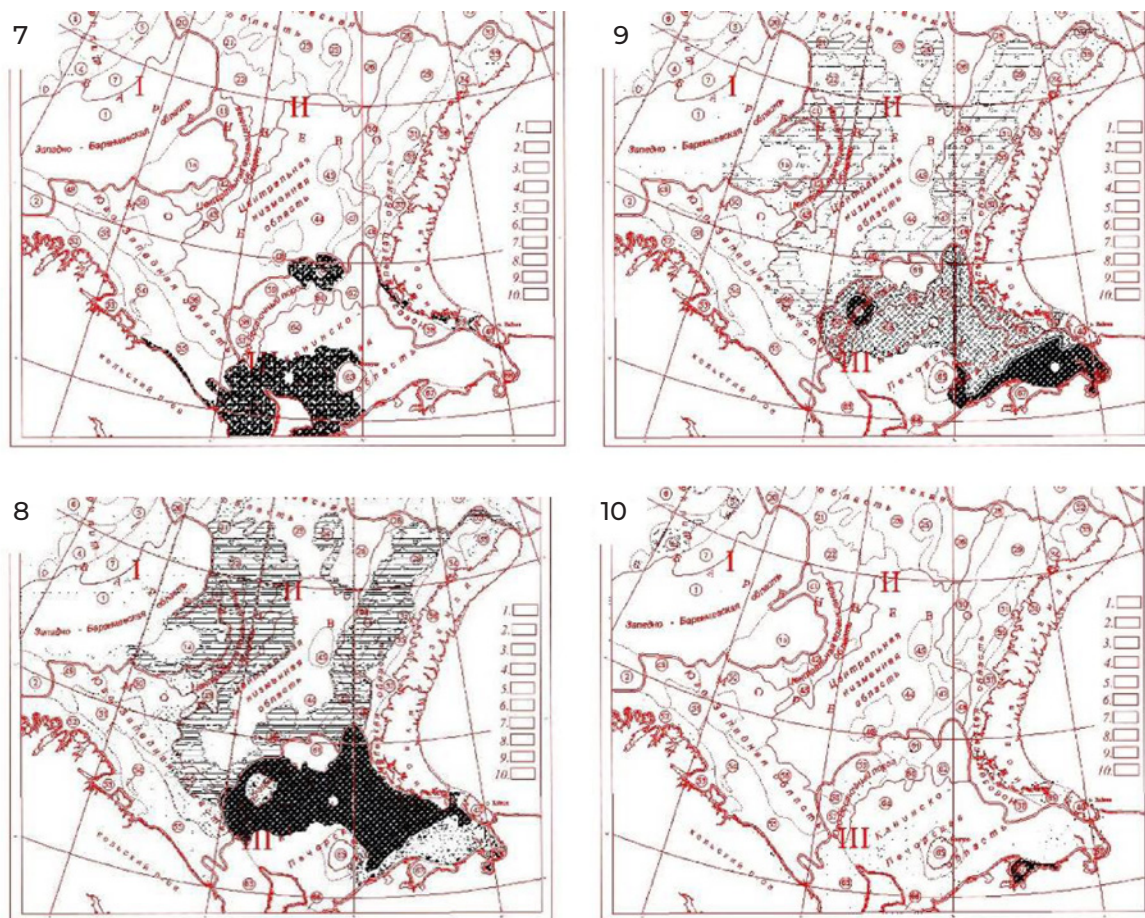


Рис. 8. Наложение контуров донных сообществ на карте О.А. Кийко [3] на геоморфологическую карту А.Г. Зинченко [2]. Продолжение. 7 — прибрежная мелководная группировка бурых и красных водорослей р. *Lithothamnion* и видов-обрастателей в береговой зоне Кольского полуострова; 8 — группировка двустворчатого моллюска *Tridonta borealis* в Канинско-Печорской области; 9 — группировки двустворчатых моллюсков *Ciliatocardium ciliatum*, *Macoma calcarea* и *Serripes* в Канинско-Печорской области; 10 — эстуарная группировка двустворчатого моллюска *Macoma fusca* в Канинско-Печорской области

Fig. 8. Overlaying the contours of bottom communities on the map of O.A. Kiiko [3] on the geomorphologic map of A.G. Zinchenko [2]. Continued. 7 — Coastal shallow-water grouping of brown and red algae gen. *Lithothamnion* and fouler species in the coastal zone of the Kola Peninsula. 8 — Grouping of the bivalve *Tridonta borealis* in the Kaninsko-Pechorskaya Oblast; 9 — Groupings of the bivalves *Ciliatocardium ciliatum*, *Macoma calcarea*, and *Serripes* in the Kaninsko-Pechorskaya Oblast; 10 — Estuarine grouping of the bivalve *Macoma fusca* in the Kaninsko-Pechorskaya Oblast

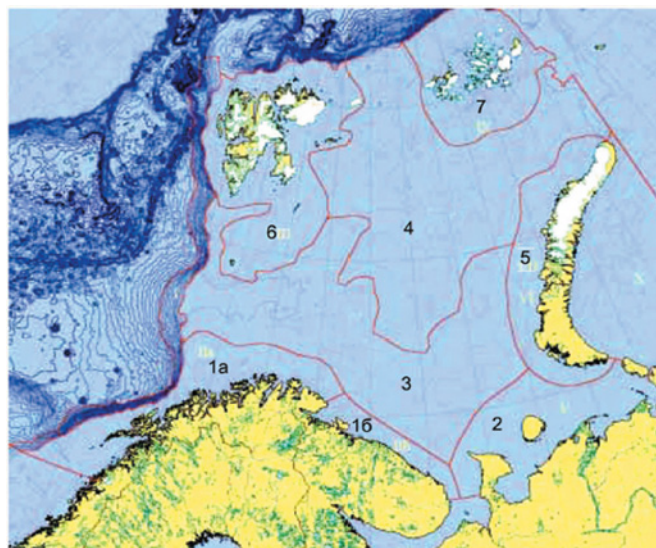


Рис. 9. Бионическое районирование Баренцева моря (по <https://www.arcticwwf.org>):

1 — побережье Норвегии (1а) и Кольского п-ва (16); 2 — Печорское море; 3 — Центральный субрегион к югу от полярного фронта (атлантические воды); 4 — Центральный субрегион к северу от полярного фронта (арктические воды); 5 — побережье Новой Земли (арктические воды с небольшим влиянием атлантических); 6 — архипелаг и банка Шпицбергена (арктические воды с небольшим влиянием атлантических на западе); 7 — Архипелаг Земли Франца-Иосифа (арктические воды)

Fig. 9. Barents Sea bionomic zoning (by <https://www.arcticwwf.org>):

1 — coast of Norway (1a) and Kola Peninsula (16); 2 — Pechora Sea; 3 — Central subregion south of the polar front (Atlantic waters); 4 — Central subregion north of the polar front (Arctic waters); 5 — Novaya Zemlya coast (Arctic waters with a slight Atlantic influence); 6 — Spitsbergen Archipelago and Spitsbergen Bank (Arctic waters with a slight Atlantic influence in the west); 7 — Franz Josef Land Archipelago (Arctic waters)

6. Важные функции жизнедеятельности: в регионе происходят процессы размножения/нереста, выращивания молоди, миграции, отдыха и т.п.

7. Уникальность: регион обладает неповторимыми свойствами донных природных комплексов. Здесь обитают эндемичные, редкие или исчезающие виды.

Заключение

Полярный фронт является зональной границей, отделяющей арктические воды от субарктических. Экстразональные борельные ландшафты на юго-западе Баренцева моря формируются под воздействием

прибрежной ветви теплого атлантического течения.

Наложение контуров донных сообществ на геоморфологическую карту Баренцева моря показывает, что ведущим фактором распределения донных группировок является рельеф: каждому сообществу соответствует одна геоморфологическая область.

Схема экорегионов Баренцева моря, созданная в рамках международной Арктической программы, учитывает связь биоморфических особенностей дна Баренцева моря с гидрологическими условиями и геоморфологическим строением.

Литература

1. Зенкевич Л.А. Фауна и биологическая продуктивность моря. Т. I. Мировой океан. Москва: Совет. наука; 1951.
2. Зинченко А.Г. Геоморфологическая основа комплексных ландшафтно-геоэкологических исследований Баренцева моря. В: Лисицын А.П. (ред.). Опыт системных океанологических исследований в Арктике. Москва: Научный мир, 2001, с. 476–481.
3. Кийко О.А., Погребов В.Б. Статистический анализ пространственно-временной структуры донного населения Баренцева моря и прилежащих акваторий. Биология моря. 1998;24(1):3–9.
4. Малинин В.Н., Вайновский П.А., Митина Ю.В. О потеплении Арктики 20-40-х годов. В: Труды II Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». СПб.: Химиздат; 2018, с. 422–426.
5. Петров К.М. Морская экология: экосистемы и подводные ландшафты. Москва: Ай Пи Ар Медиа; 2023. <https://doi.org/10.23682/126276>
6. ACIA. Arctic Climate Impact Assessment. ACIA Overview report. Cambridge University Press; 2005. Available at: <https://www.amap.no/documents/doc/Arctic-Arctic-Climate-Impact-Assessment/796>
7. Herman Y. (ed.). The Arctic Seas. Climatology, Oceanography, Geology, and Biology. Van Nostrand Reinhold Company New York; 1989. <https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0677-1>
8. Briggs J.C. Global Biogeography. Vol. 14. Developments in palaeontology and stratigraphy. Amsterdam: Elsevier; 1995.
9. Ekman S. Zoogeography of the Sea. London: Sidgwick and Jackson; 1953.
10. Forbes E. Map of the distribution of marine life. In: Johnston A.K. (ed). The physical atlas of natural phenomena. Blackwood, Edinburgh; 1856, p. 99–102.

References

1. Zenkevich L.A. Fauna and biological productivity of the sea. Vol. I. World ocean. Moscow: Sovetskaya nauka Publ.; 1951. (In Russ.).
2. Zinchenko A.G. Geomorphological basis for complex landscape-geoecological studies of the Barents Sea. Lisitsyn A.P. (ed.). Experience of systemic oceanological research in the Arctic. Moscow: Nauchnyi mir Publ.; 2001, p. 476–481. (In Russ.).
3. Kiyko O.A., Pogrebov V.B. Statistical analysis of the spatiotemporal structure of the bottom population of the Barents Sea and adjacent waters. Biologiya Morya. 1998;24(1):3–9. (In Russ.).
4. Malinin V.N., Vainovsky P.A., Mitina Yu.V. About the warming of the Arctic in the 20-40s. In: Proceedings of the II All-Russian Conference «Hydrometeorology and Ecology: Achievements and Development Prospects». St. Petersburg: Khimizdat Publ.; 2018, p. 422–426. (In Russ.).

5. Petrov K.M. Marine ecology: ecosystems and underwater landscapes. Moscow: Ai Pi Ar Media Publ.; 2023. (In Russ.). <https://doi.org/10.23682/126276>.
6. ACIA. Arctic Climate Impact Assessment. ACIA Overview report. Cambridge University Press; 2005. Available at: <https://www.amap.no/documents/doc/Arctic-Arctic-Climate-Impact-Assessment/796>
7. Herman Y. (ed.). The Arctic Seas. Climatology, Oceanography, Geology, and Biology. Van Nostrand Reinhold Company New York; 1989. <https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0677-1>
8. Briggs J.C. Global Biogeography. Vol. 14. Developments in palaeontology and stratigraphy. Amsterdam: Elsevier; 1995.
9. Ekman S. Zoogeography of the Sea. London: Sidgwick and Jackson; 1953.
10. Forbes E. Map of the distribution of marine life. In: Jhonston A.K. (ed.). The physical atlas of natural phenomena. Blackwood, Edinburgh; 1856, p. 99–102.

Сведения об авторе

Петров Кирилл Михайлович — доктор географических наук, профессор Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, почетный профессор Санкт-Петербургского государственного университета. 199178 Санкт-Петербург, 10 линия В.О., д. 33

Information about the author

Kirill M. Petrov — Dr. Sci. (Geography), Prof., Earth Science Institute, Saint Petersburg State University, Honorary Professor of Saint Petersburg State University. 33, 10th line VO., 199178 Saint Petersburg

Вклад автора

Автор подтверждает единоличную ответственность за концепцию и дизайн исследования, сбор и анализ данных, интерпретацию результатов, а также подготовку рукописи.

Author's contributions

The author confirms sole responsibility for the study conception and design, data collection, analysis and interpretation of results, and manuscript preparation.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 629.3.014.2.017

ББК 40.72

<https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-18-36>



Практическое применение инновационной технологии безразборного ремонта узлов морского, железнодорожного и автомобильного транспорта, а также промышленного оборудования в условиях Арктики

Павлов О.Г.¹✉, Дунаев А.В.², Лавров Ю.Г.³, Цейко А.П.⁴,
Шарифуллин С.Н.⁵, Аратский П.Б.⁶, Шилин М.Б.⁷

¹ ООО «С-Визард», Федерация космонавтики РФ, Санкт-Петербург, Россия

² ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Москва, Россия

³ ООО «НПТК «СУПРОТЕК», Санкт-Петербург, Россия

⁴ ООО «Ньюмэн», Санкт-Петербург, Россия

⁵ ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, Россия

⁶ ООО «ТВЭЛЛ», Санкт-Петербург, Россия

⁷ ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург, Россия

✉ opavlov2002@mail.ru

Аннотация. Триботехнические составы на основе серпентина имеют сорокалетнюю историю успешного применения на морских и речных судах, на железной дороге и сельскохозяйственной технике, на широком спектре промышленного оборудования, легковом и грузовом транспорте.

В статье изложены лишь некоторые практические результаты применения геомодификаторов трения на основе серпентинитов в технике, которая может быть использована при освоении Арктики, а также на судах Северного морского пути.

Ключевые слова: геомодификаторы трения, ресурсо- и энергосберегающие триботехнические составы, ремонт узлов и механизмов в режиме штатной эксплуатации, нанотехнологии восстановления поверхностей трения, серпентинит, безызносность

Конфликт интересов: авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Павлов О.Г., Дунаев А.В., Лавров Ю.Г., Цейко А.П., Шарифуллин С.Н., Аратский П.Б., Шилин М.Б. Практическое применение инновационной технологии безразборного ремонта узлов морского, железнодорожного и автомобильного транспорта, а также промышленного оборудования в условиях Арктики. *Арктика и инновации*. 2024;2(2):18–36. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-18-36>

Innovative in-place repair technology for assemblies in marine, railway, and road transport, as well as industrial equipment in the Arctic: Practical application

Oleg G. Pavlov¹✉, Anatoly V. Dunaev², Yury G. Lavrov³,
Alexander P. Tseyko⁴, Said N. Sharifullin⁵, Pavel B. Aratsky⁶,
Mikhail B. Shilin⁷

¹ S-Wizard LLC, Russian Federation of Cosmonautics, Saint Petersburg, Russia

² Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

³ SUPROTEC LLC, Saint Petersburg, Russia

⁴ Newmen LLC, Saint Petersburg, Russia

⁵ Kazan (Volga Region) Federal University

⁶ TVELL LLC, Saint Petersburg, Russia

⁷ Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia

✉ opavlov2002@mail.ru

Abstract. For forty years, serpentine-based tribological compounds have been successfully used in sea and river vessels, on railroads, in agricultural machinery, in a wide range of industrial equipment, as well as in passenger and freight road transport. The article presents only some practical results of using serpentine-based friction geomodifiers in technical equipment that can be used in the development of the Arctic, as well as in ships on the Northern Sea Route.

Keywords: friction geomodifiers, resource-saving tribological compounds, energy-saving tribological compounds, repair of assemblies and mechanisms under normal operation, friction surface restoration nanotechnology, serpentinite, wearlessness

Conflict of interests: the authors report no conflict of interests.

For citation: Pavlov O.G., Dunaev A.V., Lavrov Yu.G., Tseyko A.P., Aratsky P.B., Sharifullin S.N., Shilin M.B. Innovative in-place repair technology for assemblies in marine, railway, and road transport, as well as industrial equipment in the Arctic: Practical application. *Arctic and Innovations*. 2024;2(2):18–36. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-18-36>

Арктика невероятно богата природными ресурсами, использование которых в будущем может определить лидирующее положение любой из стран, начавшей активное освоение новых источников топлива-, энерго- и биоресурсов этой огромной, но все еще недостаточно изученной территории Земли. Нет никаких сомнений, что на изучение и освоение Арктической зоны будут потрачены колоссальные денежные средства и человеческие ресурсы. Страны, которые будут экономить на каждом этапе изучения и освоения природных богатств Арктики, быстрее придут к желаемому результату — к получению прибыли от потраченных усилий. Активное применение технологий ресурсо- и энергосбережения будет одним из факторов успеха в гонке за ресурсами Арктики [1].

Одной из таких технологий является технология безразборного ремонта узлов и агрегатов различной техники.

В статье, посвященной теоретическим аспектам применения инновационной технологии безразборного ремонта узлов морского, железнодорожного и автомобильного транспорта, а также промышленного оборудования в условиях Арктики [1], были описаны «причины» формирования защитной структуры (слоя) на поверхностях трения при добавлении геомодификаторов трения (ГМТ) в зону контакта двух поверхностей.

Важнейшими условиями для успешного формирования защитной структуры (слоя) являются высокая температура и давление,

а также скольжение со смещением двух металлических поверхностей друг о друга в присутствии третьего тела — технического масла или смазки.

В продолжение описания сложного физико-химического явления, к которому можно отнести образование защитного покрытия (ГМТ-покрытия) на поверхностях трения при добавлении тонкодисперсного серпентинита, остановимся на его структуре.

Структура и фазовый состав защитного ГМТ-покрытия

По заказу ООО «Неосфера» ФГУП ЦНИИМ и ООО «Центральный научно-исследовательский дизельный институт» провели исследование [2, 3], в котором была показана слоистость и аморфность структуры защитного слоя, образованного на поверхности гильзы цилиндра и кулачкового вала дизельного двигателя (тип 4Ч 9,5\11) в течение 154 часов работы двигателя после введения ГМТ (марки «РПМ», производство ООО «Неосфера») на основе серпентинита.

В статье [1] подробно описаны комплексные исследования [4–6], охарактеризован фазовый состав образованного защитного слоя, который состоит из FeC (Fe_3C), FeOOH , Fe_3O_4 , C , CO , CO_2 . В исследованиях, проведенных в Китае [4, 5], при анализе полученных результатов был сделан вывод о том, что защитные слои имеют похожие с алмазоподобными покрытиями (DLC) химические и физические характеристики и входят в группу DLC-подобных наноразмерных слоев. Основные характеристики таких слоев: низкий коэффициент трения, высокая прочность, микротвердость, теплопроводность и коррозионная устойчивость.

Предполагаемые механизмы формирования защитного DLC-покрытия при участии триботехнических составов, содержащих тонкодисперсный серпентинит

В результате процессов глассирующего скольжения (трения друг о друга) при наличии высокой температуры и давления на поверхностях трения путем полимолекулярного наслаивания образуется атомарная

слоистая DLC-структура, которая формируется с участием молекул серпентинита и комплекса углеводородов, а также продуктов износа, содержащихся в третьем теле (в техническом масле или в смазке).

Процесс трения-скольжения двух металлических поверхностей трибологи рассматривают как серию механических ударов пиков шероховатости поверхностей друг о друга. Такого рода удары вызывают сложную комбинацию деформационно-структурных химических, термических, электромагнитных и оптических процессов. Они включают возникновение и миграцию дефектов структуры (поверхностей) твердого вещества, его аморфизацию-кристаллизацию и быстрый локальный разогрев (до 3500°) во время удара. Одновременно рвутся химические связи при образовании новой поверхности и на ней появляются короткоживущие активные центры. В таких локально разогретых центрах происходят процессы пиролиза углеводородов, из которых состоят масла и смазки. Далее происходит процесс карбонизации трущихся металлических поверхностей, приводящий к образованию алмазоподобного защитного покрытия.

Известно свойство минералов, и в особенности тонкоизмельченных гидросиликатов магнезия, избирательно извлекать из воздушной среды CO_2 , CO_3^{2-} [7]. Возможно, это свойство серпентинита также определяет его способность катализировать процесс карбонизации и окисления металлической подложки с формированием карбидов и оксидов железа при наличии среды («третьего тела»), богатой углеводородами и углеродсодержащими веществами. Высокое процентное содержание углерода в сформированной структуре может быть объяснено в том числе и этим свойством тонкодисперсных слоистых силикатов.

Сформированная структура, обладающая свойством предотвращать износ и уменьшать потери на преодоление сил трения, может быть условно названа «металлокарбидным» слоем, так как основная кристаллическая матрица сформированного покрытия состоит из карбида железа [4, 6].

Сложность аморфно-кристаллической структуры защитного покрытия, образованного при участии ГМТ-составов, может быть

объяснена тем, что в месте контакта «пик-пик» при очень высокой локальной температуре и высоком локальном давлении формируется трибоплазма. В ходе этого процесса формируется несколько зон:

- 1 — зона контакта;
- 2 — «рядом» с зоной контакта;
- 3 — «недалеко» от зоны контакта.

Механизмы химических превращений и физико-механического взаимодействия веществ в этих зонах рассматриваются как отличающиеся друг от друга [8, 9].

Анализируя данные, представленные выше, можно предположить, что, попадая в узел трения, тонкодисперсный серпентинит разрушается под действием локальной высокой температуры и давления, магний (Mg) сгорает и тем самым обеспечивает (дополняет и усиливает) энергетическую составляющую процесса образования защитного слоя. В исследовании ФГУП ЦНИИМ показано [1], что продуктами разрушения серпентинита являются форстерит (Mg_2SiO_4) и кварц (SiO_2), которые обладают гораздо более высокой абразивностью (твердость около 6–7 по шкале Мооса), чем серпентинит (твердость 2,6–3,0 по шкале Мооса). Возможно, что они служат в данном процессе «разогревающими» факторами и, как Mg, обеспечивают энергией процесс формирования защитного DLC-покрытия.

Таким образом, частицы серпентинита являются многокомпонентным и многоступенчатым катализатором, необходимым для процесса формирования защитного алмазоподобного покрытия на металлических поверхностях узлов трения. Mg и продукты распада молекул серпентинита (предположительно форстерит и кварц [2]) являются энергетическими инициаторами (катализаторами) формирования защитного покрытия.

Каталитическим эффектом распада сложной молекулы серпентинита можно объяснить выраженные изменения характеристик узла трения при добавлении малого количества тонкоизмельченного минерала: катализатор инициирует процесс вовлечения в формирование защитного ГМТ-покрытия практически всего количества масла (или смазки), прошедшего через зону контакта двух трущихся поверхностей.

Наноразмерность процесса формирования защитного покрытия

Технологию применения ГМТ-составов на основе серпентинитов с большой долей уверенности можно назвать нанотехнологией. Наноразмерность процесса формирования защитного DLC-покрытия на металлических поверхностях узлов трения с участием серпентинита и третьего тела подтверждается следующим.

1. Защитное покрытие имеет слоистую структуру в виде полимолекулярных слоев [2, 4–6]:
 - процесс формирования DLC-подобного покрытия (защитного слоя) происходит в режиме полимолекулярного наслоения;
 - структура DLC-покрытия и размеры частиц, его составляющих, находятся в «наношкале» — от 0,5 до 40 nm, а толщина каждого слоя — не более 100 nm;
 - покрытие состоит из кристаллической металлокарбидной матрицы (Fe_3C) с размерами ячеек $1,9 \times 1,6$ ангстрем и DLC-подобных включений аморфной и кристаллической структур с размерами от 3 до 10 ангстрем.

2. Чистота поверхности защитного DLC-покрытия является практически зеркальной и соответствует 14-му классу (по ГОСТ 2789-59, $R_a = 0,06 \mu m$) чистоты, что может быть объяснено с наибольшей вероятностью тем, что слой состоит из наноразмерных структур.

Таким образом, технологию применения ГМТ на основе серпентинитов можно отнести к нанотехнологиям.

Итак, в результате целого ряда исследований было показано, что ввод тонкоизмельченного серпентинита в узел трения приводит к формированию на поверхностях трения защитного покрытия с очень сложной неоднородной структурой.

Для доставки активных компонентов ГМТ-составов в зону трения используются масла и смазки, совместимые с рабочими жидкостями и смазками обрабатываемого агрегата или узла.

На основании многолетнего практического применения ГМТ на основе серпентинита в различных узлах трения и анализа литературных данных можно предположить, что новая защитная структура формируется на поверхностях трения в местах их контакта поэтапно.

1-й этап — удаление частиц деформированного поверхностного слоя подложки, окислов и отложений с металлических поверхностей трения (происходит подготовка — активация — поверхностей трения). На этом этапе триботехнические ГМТ-составы работают как мягкий абразив, твердость которого выше твердости деформированного поверхностного слоя узла трения. Размеры частиц, входящих в составы, в зависимости от геометрических параметров зазоров узлов трения различны: от 0,5 до 20 микрон. Попадая в зону трения, самые большие частицы сразу разрушаются между микровыступами контртел в зоне их контакта. Процесс ведет к увеличению площади контакта двух поверхностей трения, уменьшению шероховатости и увеличению микротвердости поверхностей. В зонах контактов «пик — пик» на поверхностях пар трения формируется трибоплазма с очень высокими локальными температурами.

2-й этап — построение на кристаллической решетке металла подложки новых структур (защитного слоя). Материалом для строительства являются продукты износа (в том числе микрочастицы, «снятые» на первом этапе деформации наружного слоя подложки), компоненты ГМТ и углерод из разрушенных молекул углеводородов смазки. Высокое содержание углерода в новом защитном покрытии определяет его прочность и пластичность, а также высокую устойчивость к нагрузкам, трению и износу.

3-й этап — формирование защитной структуры (покрытия) происходит в так называемом режиме «самоорганизации». Это означает, что трибосистема (трибосопряжение) работает в том режиме формирования защитного покрытия, который ей «выгоден» (энергетически менее затратен) при данном режиме трения. Параметрами для управления процессом формирования защитного покрытия являются: химический состав геомодификатора, относительная скорость скольжения двух поверхностей, удельное давление, исходный материал поверхностей трения, смазка, температура, шероховатость, адгезионные и электрохимические свойства поверхностей, толщина сформированного слоя, пористость, микротвердость, упругость и др.

При этом надо учитывать, что защитный слой формируется только в условиях достаточно высоких локальных температур и на-

грузок в зоне контакта поверхностей трения. Отсюда следует, что не на всех парах трения можно получить ГМТ-покрытие, сколько бы состава туда ни добавляли.

Как уже отмечалось в статье [1], защитный слой обладает высокой маслоудерживающей способностью: масло (смазка) «прилипает» к новой поверхности, что можно охарактеризовать как постоянный масляный клин, сохраняющийся долгое время после остановки механизма.

Защитное покрытие устойчиво во времени, что качественно отличает его от защитных металлических и органических пленок, а также от множества других трибосоставов, эффект от которых исчезает через короткое время или не восстанавливается после смены масла.

Это уникальное свойство вновь сформированной защитной структуры имеет большое значение при использовании технологии в экстремальных режимах работы, к которым относится эксплуатация технических устройств в условиях низких температур, требующих непрерывной работы дизель-генераторов и дизелей судовой, колесной и гусеничной техники. Арктика является именно тем местом, в котором возникают экстремальные условия эксплуатации любой техники.

Результаты формирования защитного ГМТ-покрытия

Результаты формирования защитного ГМТ-покрытия могут быть сформулированы следующим образом.

1. Снижение механических потерь на преодоление сил трения износа при «холодном пуске», уменьшение вероятности появления задиров. Это достигается за счет смещения характеристик трения в область гидродинамического режима (рис. 1).
2. Многократное снижение скорости изнашивания поверхностей узлов трения за счет создания защитных покрытий, прочно удерживающих слой масла и мельчайшие частицы продуктов износа.

На гистограмме слева (рис. 2) показано, что колодочка из алюминиевого подшипникового сплава АО20-1 (одно из трущихся контртел машины трения) после добавления

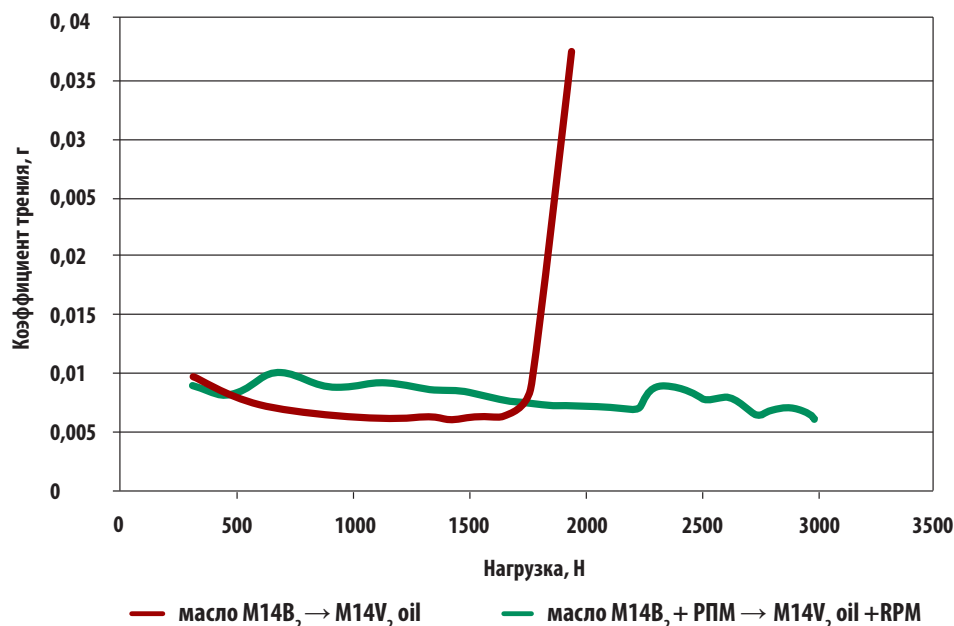


Рис. 1. График зависимости коэффициента трения ($K_{тр}$) от нагрузки. Эксперимент проведен в лаборатории ВНИИЖТ (Москва, 2006 г.) на машине трения СМЦ-2. Красная линия — кривая роста $K_{тр}$ без обработки ГМТ-составом (резкий рост $K_{тр}$ — задир — наблюдался при нагрузке 1700 Н); зеленая линия — кривая изменения $K_{тр}$ на паре трения, обработанной ГМТ на основе серпентинита: роста не наблюдалось даже на максимально возможной нагрузке в 3000 Н

Примечание: ВНИИЖТ — Всесоюзный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. Сейчас имеет название АО «НИИЖТ».

Fig. 1. Friction coefficient (C_{fr}) vs. load. The experiment was conducted in the laboratory of VNIIZHT (Moscow, 2006) using a SMTs-2 friction machine. Red line — C_{fr} growth curve without treatment with a friction geomodifier compound (a sharp increase in C_{fr} —galling—was observed at a load of 1700 N); green line — C_{fr} curve in a friction pair treated with a serpentine-based friction geomodifier: no growth was observed even at the maximum possible load of 3,000 N.

Note: VNIIZHT — the All-Union Railway Research Institute (currently known as the Railway Research Institute of Russian Railways).

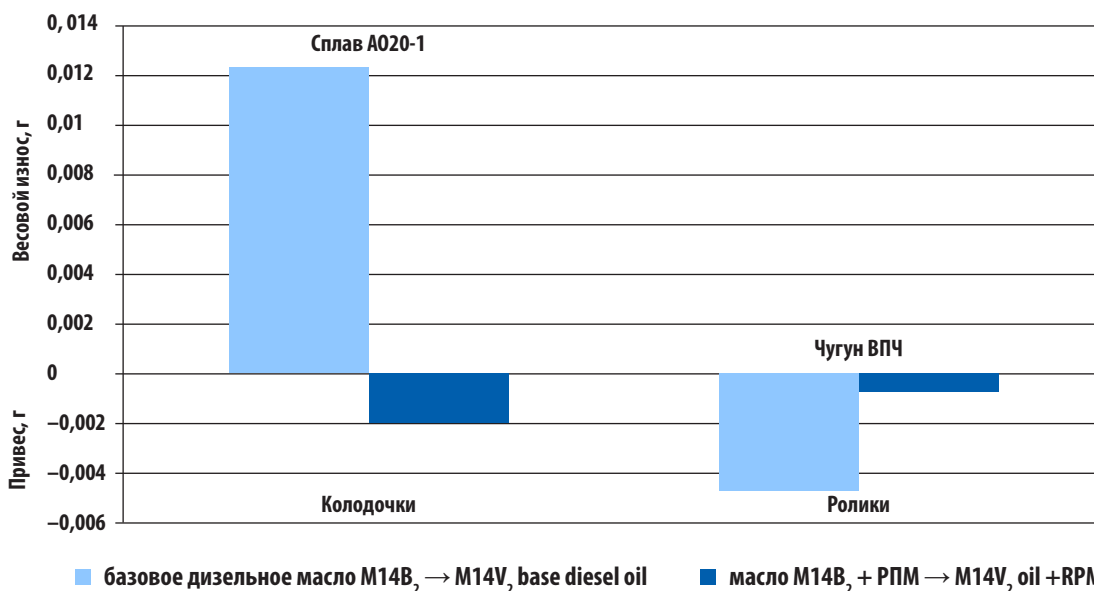


Рис. 2. Гистограмма износостойкости пары трения «чугун марки ВПЧ — подшипниковый сплав АО20-1» до и после добавления в моторное дизельное масло M14B₂ ГМТ на основе серпентинита (при испытании был использован триботехнический состав «РПМ» производства ООО «Неосфера»). Эксперимент проведен в лаборатории ВНИИЖТ (Москва, 2006 г.) на машине трения СМЦ-2

Fig. 2. Histogram showing the wear resistance of the “high-strength cast iron — AO20-1 bearing alloy” friction pair prior to and after adding a serpentine-based friction geomodifier to M14V₂ diesel oil (the test used an RPM tribological compound produced by Neosphere). The experiment was conducted in the laboratory of VNIIZHT (Moscow, 2006) using the SMTs-2 friction machine.

ГМТ в масло не имела износа, а, наоборот, приобрела незначительный привес, в то время как в процессе испытания пары трения без ГМТ потеря веса колодочки была заметной. Прибавление в весе колодочки можно объяснить формированием на ее поверхности новой структуры, которая проявила себя как защищающая от износа.

Второе контртело узла трения — ролик, изготовленный из высокопрочного чугуна марки ВПЧ, — также имело некоторый привес после добавления в масло триботехнического состава «РПМ» (рис. 2, гистограмма справа).

Прирост в весе ролика, наблюдаемый в процессе испытания с применением дизельного масла без ГМТ-состава, объясняется перемещением и закреплением частиц износа колодочки на поверхности ролика.

Таким образом, наращивание веса контртел узла трения сопровождается заметным снижением интенсивности износа в процессе испытания вплоть до его прекращения на исследуемом отрезке времени.

3. Уплотнение узлов «кольцо — втулка цилиндра», «кольцо — поршневая канавка» за счет толщины новой структуры (покрытия). Это приводит к повышению «компрессии», ее выравниванию в разных цилиндрах двигателя, а также к снижению расхода масла на угар.

4. Восстановление изношенных поверхностей трения, «залечивание» микрорадиусов, микророзд и т.д.

Время формирования слоя в разных узлах трения варьирует от 3 до 50 часов работы агрегата: чем выше нагрузка на узел трения и дольше время его работы без остановки сразу после ввода ГМТ-состава, тем быстрее сформируется новое защитное покрытие.

Несмотря на то что защитное покрытие по показателю «износостойкость» в несколько раз превосходит поверхность, на которой он сформировался, при его отсутствии в масле слой со временем все равно изнашивается [2, 10–12]. В связи с тем что его толщина не превышает 5–20 мкм, то, в зависимости от условий эксплуатации (например, эксплуатации двигателя), слой может полностью стереться за 500–700 часов работы. Чтобы компенсировать износ, следует еще раз обработать объект.

Основным преимуществом ГМТ-составов по сравнению с большинством триботехнических препаратов является их способность приводить «систему трения» к стабильным и качественным изменениям условий трибоконтакта, в то время как задачей большинства антифрикционных и противоизносных композиций (так называемой подкапотной автокосметики) является улучшение характеристик смазочного материала.

Все перечисленные свойства новых поверхностей (защитных структур), определяющие интенсивность износа техники, меняются динамично вместе с изменениями условий работы узла трения.

Для эксплуатации техники в экстремальных условиях Севера и Арктики большое значение имеют все перечисленные эффекты от применения ГМТ на основе слоистых гидросиликатов, но наиболее существенный выигрыш может иметь облегчение «холодного запуска» дизельных и бензиновых агрегатов, а также снижение содержания вредных для экологии веществ в отработанных газах, выбрасываемых двигателями в атмосферу.

Практическая польза от применения ГМТ на основе серпентинита

Применение трибосоставов на основе серпентинитов позволяет создать предпосылки к «безыносности» дорогостоящих агрегатов и механизмов, которые являются основными узлами транспорта и стационарной промышленной техники.

Прогрессивные интеллектуальные технологии, к которым относится технология использования ГМТ на основе серпентинитов, отличаются от общепринятых технологий возможностью получения качественно новых наноразмерных поверхностей трения с физико-механическими характеристиками «макроразмерного мира».

Технологии применения ГМТ-составов позволяют существенно экономить материальные ресурсы и денежные средства, так как эффект от их применения выражается (1) в снижении расхода топлива и электроэнергии; (2) в экономии на ремонте самой разной техники; (3) в предоставлении возможности проводить «безразборный» ремонт, не выводя технику из штатной

эксплуатации и не привлекая высокооплачиваемых специалистов.

Как уже отмечалось выше, активное применение серпентинитовых ГМТ началось еще в 90-е годы прошлого века. Технология развивалась преимущественно в России, так как ее корни находятся в Санкт-Петербурге. Почти все зарубежные компании, включая китайские, являлись дочерними структурами российских фирм и выступали как активные и самостоятельные конкуренты родоначальникам ГМТ-технологии, внедряя технологию в разных странах.

Однако кажущаяся простота методик обработки узлов трения и агрегатов сыграла отрицательную роль в распространении эффективной технологии ресурс- и энергосбережения. Простота обработки вызывала и вызывает до сих пор недоверие. Как так?! Один-два грамма какого-то порошка могут вызвать такой заметный эффект!?

В действительности именно так и происходит. Например, обработка двигателя легкового или грузового автомобиля выглядит предельно просто (рис. 3–6).



Рис. 3. Обработка двигателя легкового автомобиля (пробег 350 000 км) — фото слева и такси (пробег 720 000 км) — фото справа. Сингапур, 2012. Смесь находится в самодельной «капельнице» и через катетер подается в двигатель, работающий на холостом ходу

Fig. 3. Treatment of the engine of a passenger car with a kilometrage of 350,000 km (left photo) and a taxi with a kilometrage of 720,000 km (right photo). Singapore, 2012. The mixture is in a homemade “drip feed” and is introduced through a catheter into an idling engine



Рис. 4. Обработка двигателя легкового автомобиля Mercedes с пробегом 210 000 км — фото слева и двигателя грузового автомобиля ISUSU (пробег 245 000 км) — фото справа. Санкт-Петербург, 2009. На фото слева видно, что обработка двигателя происходит путем добавления через щуповое, на фото справа — через маслозаливное отверстие смеси ГМТ-состава и моторного масла. На фото видно, что для подачи состава в узел трения используется шприц или обычная пластиковая емкость.

Fig. 4. Treatment of the engine of a Mercedes passenger car with a kilometrage of 210,000 km (left photo) and the engine of an ISUSU truck with a kilometrage of 245,000 km (right photo). Saint Petersburg, 2009. The left photo shows that the engine is treated by adding a mixture of the friction geomodifier compound and engine oil through the dipstick hole, while in the right photo, it is fed through the oil filler port. The photo shows that a syringe or a regular plastic container is used to supply the compound to the friction assembly.

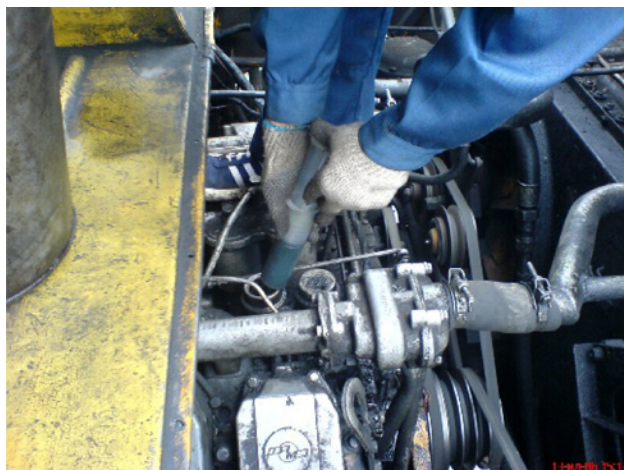


Рис. 5. Обработка АРТ-составами (производства ООО «Неосфера») ДВС карьерного самосвала «БЕЛАЗ», принадлежащего ОАО «Угольная Компания «Кузбассразрезуголь», филиал «Кедровский угольный разрез». Испытательная лаборатория горюче-смазочных материалов, 2006 г.

Fig. 5. ICE treatment of a BELAZ haul truck owned by Kuzbassrazrezugol Coal Company OJSC, Kedrovsky Coal Mine branch using ART compounds (Neosphere LLC). Testing Laboratory of Fuels and Lubricants, 2006



Рис. 6. Фото слева — обработка АРТ-составами (вводятся через щуповое отверстие) дизельного ДВС одного из грузовиков компании «Транс-Арт», Санкт-Петербург, 2008. Справа представлен Акт о результатах применения триботехнического состава марки «АРТ», из которого видно, что экономия топлива составила почти 11 % с заметным улучшением других параметров работы двигателя

Fig. 6. Diesel ICE treatment of a Trans-Art truck, Saint Petersburg, 2008 (left photo) with ART compounds (introduced through the dipstick hole). Report on the results of using the ART tribological compound showing a fuel saving of nearly 11%, with a noticeable improvement in other engine parameters (right photo).

Trans-Art

Forwarding, cargo and maintenance services

195299 г.Санкт-Петербург
ул. Кирилловская 27а, оф. 608
тел./факс +7 812 5947600
тел./факс +7 812 5947714
тел./факс +7 812 5311425
мобильн. +7 812 9730803
мобильн. +7 911 9161515
E-mail transart@skylink.spb.ru

АКТ

О результатах применения АРТ-технологии

Настоящий акт составлен о том, что в период с 26.04.06 г. по 05.05.06 г. специалистами ООО «Неосфера» была проведена обработка с применением АРТ-технологии двигателя (модель DSC11, 320 л.с.) автомобиля SCANIA гос. № X 795 ОА 78, находящегося в эксплуатации компании «Транс-Арт».

Для оценки технического состояния двигателя до и после обработки с применением АРТ-технологии были выбраны следующие параметры:

1. Давление сжатия, P_c
2. Полный вакуум, P_1
3. Остаточный вакуум, P_2
4. Давление масла, kg/cm^2
5. Расход топлива, $л/100km$

Замеры давления сжатия, полного и остаточного вакуума были выполнены приборами: компрессметр LTR, АПЦ-2. Давление масла и расход топлива замерялись штатными приборами автомобиля.

Результаты контрольных замеров приведены в таблице:

Измеряемые параметры, двигателя, № инв.либра	До применения АРТ-технологии "26" апреля 2006 г.						После применения АРТ-технологии "05" мая 2006 г.						Улучшение параметров и процентов (усредненные данные)
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Давление сжатия, kg/cm^2	25.0	25.0	24.5	26.0	25.0	25.0	26.0	26.5	25.5	27.0	26.0	26.0	4.17
Полный вакуум, P_1	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.88	0.90	4.26
Остаточный вакуум, P_2	0.16	0.16	0.16	0.14	0.16	0.14	0.14	0.14	0.14	0.12	0.12	0.14	13.07
Давление масла, kg/cm^2	4.0						5.0						20.00
Расход топлива, $л/100km$	37.0						33.0						10.81

Тем же образом, применение АРТ-технологии на двигателе DSC11, автомобилями SCANIA позволило:

- увеличить давление сжатия на 4.17%;
- уменьшить полный вакуум P_1 на 4.26%;
- уменьшить остаточный вакуум P_2 на 13.07%;
- увеличить давление масла на 20.00%;
- уменьшить расход топлива на 10.81%.

От ООО «Транс-Арт»:

Генеральный директор

Механик рез. Зоны

От ООО «Неосфера»:

Зам. Генерального директора

Ведущий менеджер



Иванов Г.Н.

Генеральный Директор

Соболев С.Г.

Посадский А.В.

Исполнитель: ООО «НПТК «СУПРОТЕК»
194044, г. Санкт-Петербург, пр-т Философов, дом 4 А, офис 811
ИНН 780 234 4810, РС 407 028 104 65 000000 674
в ОАО «Санкт-Петербург», 194044, СПб.
Финансовый пр., дом 4 А
К/С 301 018 109 0000 0000 790, БИК 044 030 790
ОГРН 106 784 715 2273

Заказчик: ООО «АГРОТРАНС»
430001, г. Саранск, ул. Пролетарская, дом 126 А
ИНН 43 26205968, РС 40702810620000000437 в Мордовском региональном филиале ОАО «Россельхозбанк»
К/С 3010181090000000750, БИК 048952750
ОГРН 1081326001525

АКТ Сдачи-Приемки
автотранспорта, прошедшего восстановительный ремонт по технологии «СУПРОТЕК»

Настоящий Акт составлен о том, что в период с 15 ноября 2010 года по 26 ноября 2010 года специалистами ООО «Супротек» был произведен восстановительный ремонт двигателей в режиме штатной эксплуатации 11 единиц автотранспортной техники, принадлежащей ООО «АГРОТРАНС»:

1. А/м КАМАЗ 54115, № А 206 РН 21 (двиг. ЯМЗ 238Д);
2. А/м КАМАЗ 54115, № Т 652 ВВ 21 (двиг. ЯМЗ 238Д);
3. А/м КАМАЗ 54115, № А 622 ОО 21 (двиг. ЯМЗ 238Д);
4. А/м МАЗ 544069, № У 086 АР 199 (двиг. MAN –D2866);
5. А/м МАЗ 437043, № У 080 ЕК 21 (двиг. Д245.12С);
6. А/м МАЗ 437043, № С 062 ЕК 21 (двиг. Д245.12С);
7. А/м ЗИЛ 432930, № У 605 ВХ 21 (двиг. Д245.12);
8. А/м ЗИЛ 432930, № У 641 ВХ 21 (двиг. Д245.12);
9. А/м ГАЗ 3302, № М 694 ЕА 21 (двиг. ЗМЗ-406);
10. А/м ГАЗ 3302, № М 695 ЕА 21 (двиг. ЗМЗ-406);
11. А/м ГАЗ 2217, № У 192 УУ 21 (двиг. ЗМЗ-406).

Для определения эффективности восстановительного ремонта по технологии «СУПРОТЕК» были произведены до и после обработки составами «Супротек» замеры следующих контрольных параметров:

1. Давление сжатия (компрессия в цилиндрах, кг/см²);
2. Полный вакуум (P₁, кг/см²);
3. Остаточный вакуум (P₂, кг/см²);
4. Давление масла на холостых оборотах (кг/см²);
5. Расход топлива на холостых оборотах (л/час.);
6. Расход масла (л/1000 км).

Замеры контрольных параметров 1., 2., 3. производились прибором АГЦ-2, давление масла – штатными приборами, расход топлива и расход масла – объемно-весовым методом. Замеры всех параметров до и после восстановительного ремонта составами «Супротек» производились Исполнителем в присутствии представителей Заказчика.

Данные замеров до и контрольных замеров после (Акты замеров по каждому автомобилю прилагаются) восстановительного ремонта двигателей 11 автомобилей показывают, что применение технологии «СУПРОТЕК» позволило:

снижить расход топлива от 9,4% до 25,0%.	В среднем по 11 а/м:	расход топлива уменьшился на 14,6%.
увеличить давление масла от 12,5 до 75%.		давление масла увеличилось на 30,3%.
снижить расход масла на угар от 25% до 91,7%.		расход масла снизился на 61,0%.
увеличить компрессию от 3,6% до 63,3%.		компрессия увеличилась на 14,8%.
снижить остаточный вакуум P ₂ от 10,0% до 43,9%.		P ₂ снизился на 17,0%.
увеличить полный вакуум P ₁ от 3,8% до 14,4%.		P ₁ увеличился на 7,5%.

Таким образом, на основании контрольных замеров, свидетельствующих о существенном улучшении рабочих параметров двигателей, можно сделать вывод, что технология «СУПРОТЕК» позволяет восстановить рабочие параметры обработанных двигателей и заметно снизить расход топлива и расход масла на угар.

От ООО «НПТК «СУПРОТЕК»:
Генеральный директор
Директор по развитию, к.б.и.

От ООО «Агротранс»:
Генеральный директор
Директор ОСП

Зеленьков С.М.
Павлов О.Г.
Быков А.Ф.
Захаров Г.В.

1

Рис. 7. Сводный акт о результатах применения (восстановительного ремонта) триботехнических составов на 11 ДВС различного типа. После обработки наблюдалось существенное улучшение по всем шести основным параметрам работы ДВС. Испытания организованы ООО «НПТК «Супротек», использовались методики и ГМТ-составы, разработанные и произведенные ООО «С-Визард»

Fig. 7. Summary report on the results of using tribological compounds in 11 internal combustion engines of various types (restorative repair). After treatment, a significant improvement was observed in all six main ICE parameters. The tests were organized by SUPROTEC LLC; the tests used procedures and friction geomodifier compounds developed and produced by S-Wizard

При соблюдении методических рекомендаций по соблюдению точного расчета количества ГМТ-состава и режима обработки для каждого конкретного двигателя ощутимые положительные изменения наблюдались практически на всех обработанных агрегатах, как бензиновых, так и дизельных. На рисунке 7 приводятся усредненные результаты обработки одиннадцати ДВС, бензиновых и дизельных. Полученные результаты наглядно свидетельствуют о высокой эффективности применения ГМТ-технологии на разных типах ДВС.

Обработка промышленного оборудования не отличается принципиально от обработки ДВС автомобилей (рис. 8, 9).

Рис. 8. Процесс обработки цепей конвейера ПЭТ-линии, пивоваренная компания «БАЛТИКА». В отверстие масляной системы с помощью шприца вводится концентрированный триботехнический состав (ТС) производства ООО «НПТК «Супротек». Санкт-Петербург, 2011 г.

Fig. 8. Treatment of PET-line conveyor chains, BALTIKA Brewing Company. A concentrated tribological compound produced by SUPROTEC LLC is injected into the hole of the oil system using a syringe. Saint Petersburg, 2011





Рис. 9. Процесс обработки составами ГМТ, произведенными ООО «Неосфера», нагнетателя № 418 типа Н 750-23-6 (два верхних фото) и насосного агрегата № 315 типа Д6300/27-А4-85/62-8УЗ (два нижних фото). Государственное унитарное предприятие «ВОДОКАНАЛ Санкт-Петербурга», филиал «Правобережный Водоканал», 2006 г.

Fig. 9. Treatment of supercharger No. 418 of type N 750-23-6 (top two photos) and pump unit No. 315 of type D6300/27-A4-85/62-8UZ (bottom two photos) with friction geomodifier compounds produced by Neosphere LLC. VODOKANAL of Saint Petersburg, branch of Pravoberezhny Vodokanal, 2006



Рис. 10. Обработка дизель-генератора Denyo (фото слева). Уровень нагрузки определялся разными режимами мощности промышленного кондиционера (фото посередине). На фото справа — процесс измерения параметров работы дизель-генератора при разных режимах нагрузки. Сингапур, 2012. Для обработки использовались триботехнические составы производства ООО «С-Визард», Санкт-Петербург

Fig. 10. Treatment of a Denyo diesel generator (left photo). The load level was determined by different power modes of an industrial air conditioner (center photo). The right photo shows the process of measuring the parameters of the diesel generator under different load conditions. Singapore, 2012. Tribological compounds produced by S-Wizard (Saint Petersburg) were used for the treatment



Рис. 11. Процесс обработки ГМТ-составом дизель-генератора (фото слева) сухогрузного судна общего назначения «Омский-140» (фото справа). Санкт-Петербург, 2013 г. Использовались составы производства ООО «С-Визард»

Fig. 11. Process of treating the diesel generator (left photo) of the Omsky-140 general-purpose dry cargo vessel (right photo) with a friction geomodifier compound. Saint Petersburg, 2013. Compounds produced by S-Wizard were used for the treatment

Методики применения триботехнических ГМТ-составов на большинстве объектов промышленности и транспорта можно считать универсальными, за редким исключением, которые могут быть продиктованы особенностями масляной системы обрабатываемого узла, то есть большие дизель-генераторы и очень большие судовые двигатели обрабатываются таким же образом, как и двигатели автотранспорта, стационарные дизель-генераторы и дизели речных судов (рис. 10–12).

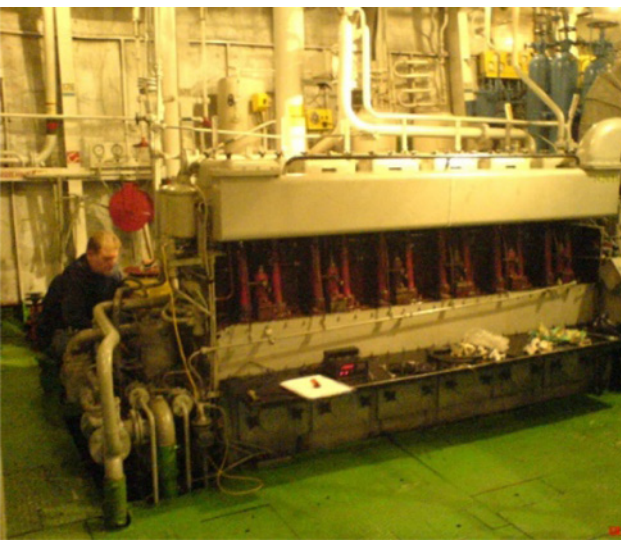
Во всех представленных случаях методика обработки заключалась в добавлении в систему смазки предварительно рассчитанного количества геомодификатора трения. Далее следовало только выждать, пока защитный слой сформируется в процессе работы агрегата.

Очень непросто объяснить потенциальному заказчику, насколько сложные процессы происходят при добавлении «щепотки» тонкоизмельченного минерала в агрегат, насколько кропотливо производятся расчеты необходимого количества ГМТ-состава для того, чтобы был получен положительный эффект. В таких расчетах берется во внимание большое количество характеристик, описывающих текущее состояние агрегата, подлежащего обработке. К основным из них можно отнести компрессию, температуру агрегата, состояние цилиндро-поршневой группы (ЦПГ), кривошипно-шатунного механизма (КШМ), давление и расход масла, конструктивные особенно-

сти узла трения и характеристики смазочной среды (масла или смазки), параметры масляного фильтра и т.д. Чем больше характеристик будет учтено, тем более точным будет расчет количества активных компонентов ГМТ-состава и выбор наиболее подходящего режима обработки. Потребителю такие расчеты обычно не показывают, поэтому кажется, что надо всего лишь засыпать в некоторое количество масла порошок из тонкоизмельченного минерала, немного потрясти емкость со смесью, залить полученную смесь в технологическое отверстие и... ждать, когда расход топлива снизится, уменьшится расход масла на угар, снизится содержание окиси углерода — «угарного газа» (CO) и токсичных углеводородов (СН) в отработанных газах.

Не менее десятка компаний Санкт-Петербурга и других регионов России имели большой опыт обработки ГМТ-составами крупных силовых агрегатов морских и речных судов, различного колесного и гусеничного транспорта, а также техники, применяемой в промышленности. Но сегодня на рынке активно работают лишь единицы.

В сельском хозяйстве России применяется очень много агропромышленной техники: тракторы, комбайны, дизель-генераторы, автомобильный и специализированный транспорт. Вся эта техника является объектом применения технологии использования ГМТ на основе серпентинитов [10, 12].



Общество с ограниченной ответственностью «Неосфера»
Юридический адрес: 191119, г. Санкт-Петербург, ул. Кулаковского, д. Мангони 3-Н, этаж: 4, к. 17 (812) 315-43-84, 713-82-43, 495-14-13, e-mail: info@neo-sfera.ru, neo-sfera@neo-sfera.ru
Фактический адрес: 191121, г. Санкт-Петербург, ул. Бухарина, д. 17, лит. А, этаж 2, пом. 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000.

АКТ
О результатах применения АРТ-технологии

Настоящий акт составлен о том, что в период с 06.06.06 г. по 30.06.06 г. специалистами ООО «Неосфера» была проведена обработка с применением АРТ-технологии главного двигателя Skoda 6-27, 5A2L, № 07820110, и дизель-генератора Skoda 6S160 - № 31890031, теплохода «VIRMA», принадлежащего компании «INOK N.V.».

Для оценки технического состояния обрабатываемых двигателей и результатов применения АРТ-технологии были выбраны следующие параметры:

1. Давление сжатия, P_c ; 2. Давление вспышки, P_v ; 3. Расход топлива, kg/h ; 4. Давление масла, kg/cm^2 .

Замеры контрольных параметров работы двигателей были выполнены на прицепном стояке к причалу судне, в следующих режимах работы:

двигатель Skoda 6-27, 5A2L, № 07820110, режим работы - «самый малый ход»;

дизель-генератор Skoda 6S160 - № 31890031, режим работы - без нагрузки при 700 об/мин.

Замеры контрольных параметров проводились прибором: максиметром H.Maihak AG, расходомером топлива OP-10. Места снятия замеров расхода топлива показаны на схеме 1 и 2 (стр. 2).

Результаты замеров контрольных параметров приведены в Таблицах 1 и 2:

Таблица 1. Главный двигатель Skoda 6-27, 5A2L № 07820110 (прямой)

Измеряемые параметры двигателя	До применения АРТ-технологии "06" июня 2006 г.						После применения АРТ-технологии "30" июня 2006 г.						Улучшение параметров в процентах (усредненные данные)
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Давление сжатия, P_c	62,0	63,0	61,0	64,0	62,0	62,0	63,0	69,0	62,0	64,0	62,5	69,0	3,99
Давление вспышки, P_v	36,5	36,5	36,0	36,0	36,0	34,0	36,5	36,5	37,0	36,0	36,0	35,0	6,94
Давление масла, kg/cm^2													4,76
Расход топлива, kg/h													7,52

Таблица 2. Дизель-генератор Skoda 6S160 № 31890031 (левый)

Измеряемые параметры двигателя	До применения АРТ-технологии "07" июня 2006 г.						После применения АРТ-технологии "30" июня 2006 г.						Улучшение параметров в процентах (усредненные данные)
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Давление сжатия, P_c	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Давление вспышки, P_v	66,4	63,7	65,1	58,4	66,2	70,4	66,6	64,2	66,0	65,5	68,0	72,0	3,01
Давление масла, kg/cm^2													13,04
Расход топлива, kg/h													7,97

Таким образом, применение АРТ-технологии позволило:

на ДГ Skoda 6-27, 5A2L № 07820110:

- снизить расход топлива на 7,52 %;
- увеличить давление масла на 4,76 %;
- увеличить давление сжатия, P_c на 0,94 %;
- увеличить давление вспышки, P_v на 3,99 %.

на ДГ Skoda 6S160 № 31890031:

- снизить расход топлива на 7,97 %;
- увеличить давление масла на 13,04 %;
- увеличить давление сжатия, P_c на 3,01 %.

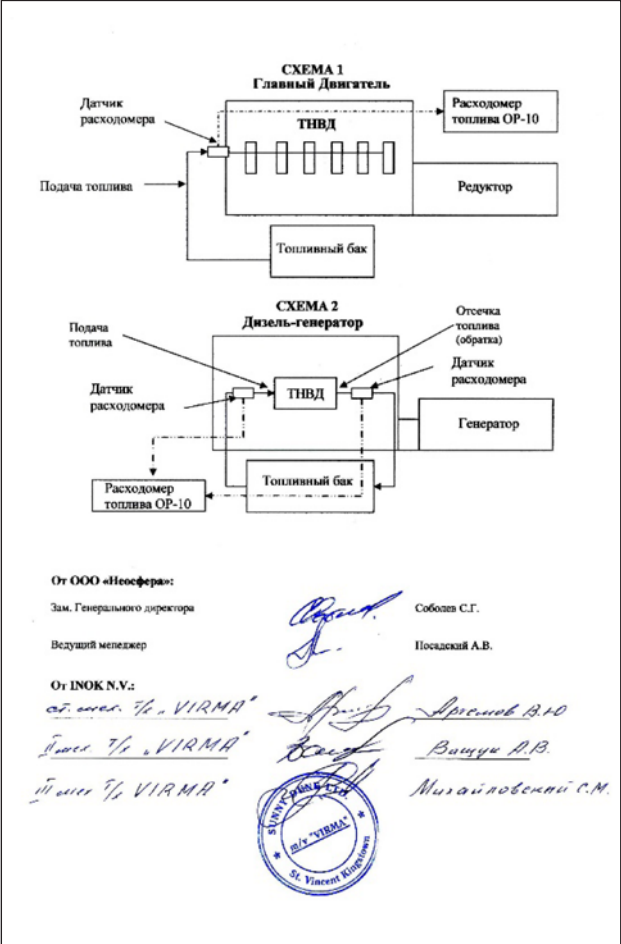


Рис. 12. Обработанный главный двигатель Skoda 6-27, 5A2L (фото слева) сухогруза VIRMA (фото справа), 2006 г. Под фотографиями приводится акт о результатах применения ГМТ-составов, из которого видно, что после обработки триботехническими составами марки АРТ, произведенных ООО «Неосфера», уменьшение расхода топлива как на главном двигателе, так и на дизель-генераторе теплохода VIRMA превысило 7,5 %. В акте также показана упрощенная схема подключения расходомеров, с помощью которых проводился контроль потребления топлива до и после обработки

Fig. 12. Treated main engine (Skoda 6-27, 5A2L; left photo) of the VIRMA dry cargo vessel (right photo), 2006. Below the photos is a report on the results of using friction geomodifier compounds, which shows that following treatment with tribological compounds, the decrease in fuel consumption both for the main engine and diesel generator of VIRMA exceeded 7.5 %. The report also shows a simplified connection diagram for flowmeters that were used to monitor fuel consumption prior to and after treatment

На розничном рынке триботехнических композиций на основе серпентинитовых ГМТ уже более 20 лет лидером является ООО «НПТК «Супротек». Составами их производства обработаны сотни тысяч узлов трения легковых и грузовых автомобилей.

ООО «Ньюмэн», являясь одним из родоначальников коммерческого направления ГМТ, сосредоточилось на поиске решений по использованию комбинированных составов, но ультрадисперсные порошки из слоистых силикатов являются в них основным компонентом.

ООО «Неофера» прекратила свое существование еще в 2009 г., но за годы своей деятельности накопила богатый научный и практический материал, который лишь небольшой частью изложен в этой статье.

Применение технологии ГМТ на судах, работающих в суровых климатических и эксплуатационных условиях Арктики, гарантирует:

- снижение удельного расхода дизельного топлива не менее чем на 5 % в течение одного года эксплуатации;
- увеличение срока эксплуатации смазочных материалов не менее чем в 2 раза;
- повышение надежности работы дизель-генераторов и главных двигателей (снижение объемов внеплановых ремонтов) за счет образования новых поверхностей, более стойких к механическому разрушению и коррозии, чем металл деталей;
- увеличение межремонтного срока деталей кривошипно-шатунных механизмов (КШМ) и агрегатов цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) агрегатов в 2 раза.

Пример расчетов, демонстрирующий эффективность и целесообразность применения ГМТ-технологии на судовых дизелях, представлен в таблице 1.

Для расчетов были взяты результаты, полученные в разное время при обработке конкретных дизель-генераторов и главных судовых двигателей.

По сравнению с судовыми агрегатами, установленными на курсирующих по Северному морскому пути танкерах, контейнеровозах, сухогрузах и ледоколах, двигатели, включенные в таблицу, можно назвать небольшими.

Однако расчеты, приведенные в таблице 1, показывают, что и на таких относительно небольших дизелях применение ГМТ-технологии приводит к значительной экономии денежных ресурсов.

Следует отметить, что в расчет был взят всего лишь один параметр — расход топлива по нижней границе выраженности эффекта экономии в 5 %, хотя экономия, полученная на десятках судовых дизелей различных марок, составляет в среднем 7,5–8,0 % (рис. 7, 12), а на автотехнике даже выше. Также следует учесть, что экономия от продления ресурса агрегата, от снижения уровня шума, от снижения экологической нагрузки, от снижения уровня вибрации и шумов не учитывалась совсем.

Таким образом, реальный совокупный экономический эффект от применения ГМТ-составов может быть в несколько раз выше.

Предлагаемые области применения технологии применения ГМТ:

- морской и речной транспорт;
- тяжелая, специальная, военная и сельскохозяйственная техника;
- железнодорожный транспорт и пары «рельс — колесо»;
- станочный парк предприятий;
- легковой и грузовой транспорт;
- объекты горнодобывающей и нефтедобывающей промышленности;
- объекты муниципальных и частных предприятий (горводоканалы, ТЭЦ, ЦБК, горэлектротранспорт, автотранспортные предприятия, типографии, перерабатывающие заводы и фабрики).

Триботехнические составы группы ГМТ могут эффективно применяться в:

- двигателях всех типов и размеров, дизель-генераторах;
- подшипниках качения и скольжения, ШРУС (шарниров равных угловых скоростей);
- насосах, компрессорах, ресиверах, нагнетателях;
- трансмиссиях;
- редукторах;
- гидравлических узлах и гидроусилителях рулей (ГУР).

Улучшенные за счет применения ГМТ-составов параметры стабильно сохраняются в течение одного года и позволяют получить высокий экономический эффект: на один

Таблица 1. Расчет экономической эффективности применения GMT-технологии для некоторых судовых двигателей на 10. 2012 год
Table 1. Cost-effectiveness analysis of using the friction geomodifier technology in certain marine engines as of October 2012

№ No.	Модель двигателя Diesel engine model	Расход топлива при мощности 50 % (кг/час) Fuel consumption at 50% power (kg/h)	Стоимость применения ГМТ- технологии (долл. США) Cost of using the friction geomodifier technology (US dollars)	Экономия расхода топлива и денежных средств (из расчета 5 %) Fuel and capital savings (calculated at 5%)							
				1500 м/часов 1,500 m/h		3000 м/часов 3,000 m/h		4500 м/часов 4,500 m/h		6000 м/часов 6,000 m/h	
				Топливо (кг) деньги (\$) fuel (kg) money (\$)	Экономия (\$) AMOUNT SAVED (\$)	Топливо (кг) деньги (\$) fuel (kg) money (\$)	Экономия (\$) AMOUNT SAVED (\$)	Топливо (кг) деньги (\$) fuel (kg) money (\$)	Экономия (\$) AMOUNT SAVED (\$)	Топливо (кг) деньги (\$) fuel (kg) money (\$)	Экономия (\$) AMOUNT SAVED (\$)
1	64 12\14 (59 кВт)	11-13 (5 % — 0,6 кг)	420	900 \$700	280	1800 \$900	480	2700 \$1350	930	3600 \$1800	1380
2	Skoda 160 (88 кВт)	17-20 (5 % — 0,9 кг)	600	1350 \$1045	445	2700 \$1350	750	4050 \$2025	1425	5400 \$2700	2100
3	64 18\22 (100 кВт)	20-22 (5 % — 1,05 кг)	800	1575 \$1220	420	3150 \$1575	775	4725 \$2363	1563	6300 \$3150	2350
4	Skoda 275 (515 кВт)	100-105 (5 % — 5,1 кг)	3800	7650 \$5925	2125	15 300 \$7650	3850	22 950 \$11 475	7675	30 600 \$15 300	11 500
5	6NVD 48 A2U (640 кВт)	125-128 (5 % — 6,3 кг)	4500	9450 \$7320	2820	18 900 \$9450	4950	28 350 \$14 175	9675	37 800 \$18 900	14 500
6	Г60 (662 кВт)	135-140 (5 % — 6,9 кг)	4800	10 350 \$8010	3210	20 700 \$10 350	3550	31 050 \$15 525	8725	41 400 \$20 700	13 900
7	Г70 (882 кВт)	175-180 (5 % — 8,9 кг)	6500	13 350 \$10 335	3835	26 700 \$13 350	6850	40 050 \$20 025	13 525	53 400 \$26 700	20 200
	ТХ «Омский-140» (3 ДГ + 2 Д)	Σ = 290 (5 % — 14,4кг)	Σ = \$10 260	21 600 \$16 700	6440	43 200 \$21 600	11 340	64 800 \$32 400	22 140	86 400 \$43 200	32 940

Расчет экономии топлива производился по следующей формуле: $\Sigma_t = (C_{\text{дв}} \cdot t_m \cdot P_t \cdot 0,05) - E_{\text{т}}$, где $C_{\text{дв}}$ — расход топлива при мощности 50 % (кг/час); t_m — количество моточасов; P_t — цена за тонну (\$); $E_{\text{т}}$ — стоимость применения технологии.
 $C_{\text{дв}} = C_{\text{т}} \cdot P_{\text{кВт}}$, где $C_{\text{т}}$ — удельный расход топлива двигателя при нагрузке 50 %; $P_{\text{кВт}}$ — мощность двигателя. 1 кг топлива — 24 рубля; 1 доллар США = 31 рубль.
Fuel savings were calculated using the following formula: $\Sigma_t = (C_{\text{engine}} \cdot t_m \cdot P_{\text{ton}} \cdot 0,05) - E_{\text{tech}}$, where C_{engine} — fuel consumption at 50% power (kg/h); t_m — number of motor hours; P_{ton} — price per ton (\$); E_{tech} — cost of technology application.
 $C_{\text{engine}} = C_{\text{specific}} \cdot P_{\text{кВт}}$, where C_{specific} — specific engine fuel consumption at 50% load; $P_{\text{кВт}}$ — engine power. One kilogram of fuel — 24 rubles; 1 USD = 31 rubles.

рубль, вложенный в применение технологии, предприятие получает до 12 рублей экономии в год.

Особенности новой защитной структуры, образованной в результате взаимодействия системы трения «поверхность — смазка — поверхность» и компонентов ГМТ-составов, позволяют достичь следующих положительных эффектов (отмечены значком ✓).

При обработке ДВС всех типов и размеров:

- ✓ увеличивается ресурс ДВС в 1,5–2 раза;
- ✓ снижается расход топлива на 8–12 %;
- ✓ уменьшается расход масла на угар до 3 раз;
- ✓ снижается содержание вредных выбросов в отработавших газах: по СО и СН до 50 %;
- ✓ снижается уровень шумов (на 10–15 дБ) и вибрации (до 2-х раз);
- ✓ увеличивается ресурс масла до 2-х раз;
- ✓ при аварийной потере смазки двигатель может работать в безопасном режиме значительное время.

При обработке компрессоров:

- ✓ увеличивается ресурс деталей ЦПГ и КШМ до 2 раз;
- ✓ восстанавливаются параметры компрессора по давлению и производительности;
- ✓ снижается расход электроэнергии до 20 %;
- ✓ уменьшается расход масла в сжимаемую среду до 3 раз;
- ✓ снижается уровень шумов и вибрации;
- ✓ при аварийной потере смазки компрессор может работать в безопасном режиме определенное время.

При обработке редукторов и трансмиссий:

- ✓ восстанавливается геометрия рабочих поверхностей трения;
- ✓ увеличивается ресурс обработанного узла до 2 раз;
- ✓ снижаются потери на преодоление сил трения вплоть до 50 %;
- ✓ при аварийной потере смазки узел может работать в безопасном режиме определенное время.

При обработке насосов, нагнетателей:

- ✓ восстанавливается геометрия рабочих поверхностей трения;

- ✓ восстанавливаются рабочие параметры агрегатов вплоть до номинальных;
- ✓ увеличивается ресурс агрегатов до 2 раз;
- ✓ повышается устойчивость к абразивному изнашиванию трущихся узлов агрегатов.

При обработке станков различных типов:

- ✓ снижается расход электроэнергии до 25 %;
- ✓ снижается уровень шумов и вибрации;
- ✓ уменьшаются зазоры в парах качения;
- ✓ повышается точность обработки деталей.

При всем накопленном за многие годы научном и практическом материале успешного применения геомодификаторов трения на основе серпентинита к началу третьего десятилетия XXI века активность их применения начала угасать.

Причин этому несколько. К самым веским из них можно отнести:

- отсутствие ГОСТов на содержание компонентов, включаемых в ГМТ-составы, как и отсутствие общепринятого регламента применения в различных узлах и агрегатах при разных режимах эксплуатации;
- постепенное отступление всеми производителями ГМТ от ими же утвержденных технических условий ТУ как по составу, так и по размерам частиц;
- отсутствие у производителей надлежащего выходного контроля изготавливаемых ГМТ.

Свободных от примесей «мономинеральных» серпентиновых пород в природе не встречается. Процентное содержание разнообразных примесей в серпентинитах может достигать до 50 %. Их состав и количество изменяются не только в пределах одного месторождения, но и в пределах очень малых объемов горных пород. Отсюда — нестабильность проявления эффекта обработки ГМТ-составами.

Авторы статьи выражают надежду, что ускорение развития Арктического региона с расширением возможностей Северного Морского пути поможет преодолеть эти препятствия, а эффективная технология применения энерго- и ресурсосберегающих триботехнических составов на основе слоистых силикатов займет достойное место в стратегии укрепления экономики Российской Федерации.

Список литературы

1. Павлов О.Г., Дунаев А.В., Лавров Ю.Г., Цейко А.П., Шилин М.Б. Теоретическое обоснование инновационной технологии безразборного ремонта узлов морского, железнодорожного и автомобильного транспорта, а также промышленного оборудования в условиях Арктики. Арктика и Инновации. 2024;2(1):27–44. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-27-44>
2. Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт материалов» (ФГУП ЦНИИМ). Предварительная оценка эффективности использования АРТ-составов в качестве антифрикционного покрытия для узлов трения. Научно-технический отчёт. Санкт-Петербург; 2006.
3. ООО «Центральный научно-исследовательский дизельный институт». Моторные испытания «АРТ-технологии» на дизель-генераторе 4Ч 9.5/11. Технический Отчёт. Санкт-Петербург; 2007.
4. Jin Y., Yuang H., Wang F., Minfray C., Li S. Phase structure and lubricity of in-situ generated protective layer on worn metal surfaces in presence of $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$. In: World Tribology Congress III. Vol. 2. Washington; 2005, p. 449–450. <https://doi.org/10.1115/wtc2005-63927>
5. Li Shenghua, Yang He, Wang Feng. ART-technology. China, Beijing; 2004.
6. Jin Y., Li S. Superlubricity of *In Situ* Generated Protective Layer on Worn Metal Surfaces in Presence of $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$. In: Erdemir A., Martin J.-M. (eds.). Superlubricity. Elsevier Science B.V.; 2007, p. 445–469. <https://doi.org/10.1016/b978-044452772-1/50055-x>
7. Калинин А.М., Калинин Е.В. Магма в ступке. Природа. 2005;(4):3–8.
8. Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Караулов А.К. Поверхностная прочность материалов при трении. Киев: Техніка; 1976.
9. Jin Yuansheng, Li Shenghua, Zhang Zhengye, Yang He, Wang Feng. In situ mechanochemical reconditioning of worn ferrous surfaces. Tribology International. 2004;37(7):561–567. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2003.12.005>
10. Дунаев А.В., Филиппова Е.М. Нетрадиционная триботехника для повышения ресурса автотракторной техники. Итоги 25-летнего развития. Москва: Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 2017.
11. Дунаев А.В., Павлов О.Г., Пустовой И.Ф., Рыжов В.Г. Механизмы образования триботехнических покрытий при использовании геомодификаторов трения. Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Минск, 7–8 июня 2017 г. Минск: БГАТУ; 2017. с. 112–122.
12. Дунаев А.В., Лялякин В.П., Голубев И.Г. Технологические рекомендации по повышению ресурса, надежности и экономичности самоходных сельскохозяйственных машин инновационными присадками. Москва: Росинформагротех; 2019.

References

1. Pavlov O.G., Dunaev A.V., Lavrov Yu.G., Tseyko A.P., Shilin M.B. Theory behind an innovative non-disassembly repair technology for assemblies in marine, railway, and motor transport, as well as industrial equipment in the Arctic. Arctic and Innovations. 2024;2(1):27–44. (In Russ.) <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-27-44>
2. Federal State Unitary Enterprise «Central Research Institute of Materials» (FSUE TsNIIM). Preliminary assessment of the effectiveness of using ART compositions as an antifriction coating for friction units. Scientific and technical report. Saint Petersburg; 2006 (In Russ.).
3. LLC «Central Research Diesel Institute». Motor tests of ART-technology on diesel generator 4Ch 9.5/11. Technical Report. Saint Petersburg; 2007. (In Russ.).
4. Jin Y., Yuang H., Wang F., Minfray C., Li S. Phase structure and lubricity of in-situ generated protective layer on worn metal surfaces in presence of $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$. In: World Tribology Congress III. Vol. 2. Washington; 2005, p. 449–450. <https://doi.org/10.1115/wtc2005-63927>
5. Li Shenghua, Yang He, Wang Feng. ART-technology. China, Beijing; 2004.
6. Jin Y., Li S. Superlubricity of *In Situ* Generated Protective Layer on Worn Metal Surfaces in Presence of $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$. In: Erdemir A., Martin J.-M. (eds.). Superlubricity. Elsevier Science B.V.; 2007, p. 445–469. <https://doi.org/10.1016/b978-044452772-1/50055-x>
7. Kalinkin A.M., Kalinkina E.V. Magma in mortar. Priroda. 2005;(4):3–8. (In Russ.).

8. Kostetsky B.I., Nosovsky I.G., Karaulov A.K. Surface strength of materials under friction. Kyiv: Tekhnika Publ.; 1976. (In Russ.).
9. Jin Yuansheng, Li Shenghua, Zhang Zhengye, Yang He, Wang Feng. In situ mechanochemical reconditioning of worn ferrous surfaces. Tribology International. 2004;37(7):561–567. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2003.12.005>
10. Dunaev A.V., Filippova E.M. Unconventional tribotechnics to increase the resources of automotive technology. Results of 25-year development. Moscow: Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 2017. (In Russ.).
11. Dunaev A.V., Pavlov O.G., Pustovoy I.F., Ryzhov V.G. Mechanisms of formation of three-botechnical coatings when using friction geomodifiers. In: Modern problems of mastering new equipment, technologies, organization of technical service in the agro-industrial complex: materials of the International scientific-practical conf., Minsk, June 7–8, 2017. Minsk: BGATU; 2017, p. 112–122. (In Russ.).
12. Dunaev A.V., Lyalyakin V.P., Golubev I.G. Technological recommendations for improving the resource, reliability and efficiency of self-propelled agricultural machines with innovative techniques. Moscow: Rosinformagrotech; 2019. (In Russ.).

Сведения об авторах

Павлов Олег Геннадиевич — кандидат биологических наук, ООО «С-Визард», Федерация Космонавтики РФ, Санкт-Петербург, Россия
[e-mail: opavlov2002@mail.ru](mailto:opavlov2002@mail.ru)

Дунаев Анатолий Васильевич — доктор технических наук, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Москва, Россия

Лавров Юрий Георгиевич — кандидат технических наук, ООО «НПТК «СУПРОТЕК», Санкт-Петербург, Россия

Цейко Александр Павлович — ООО «Ньюмэн», Санкт-Петербург, Россия

Шарифуллин Саид Насибуллович — доктор технических наук, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, Россия

Аратский Павел Борисович — кандидат технических наук, ООО «ТВЭЛЛ», Санкт-Петербург, Россия

Шилин Михаил Борисович — доктор географических наук, профессор кафедры прикладной информатики ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»,

Information about the authors

Oleg G. Pavlov — Cand. Sci. (Biol.), S-Wizard LLC, Russian Federation of Cosmonautics, Saint Petersburg, Russia
[e-mail: opavlov2002@mail.ru](mailto:opavlov2002@mail.ru)

Anatoly V. Dunaev — Dr. Sci. (Eng.), Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

Yury G. Lavrov — Cand. Sci. (Eng.); SUPROTEC LLC, Saint Petersburg, Russia

Alexander P. Tseyko — Newmen LLC, Saint Petersburg, Russia

Said N. Sharifullin — Dr. Sci. (Eng.), Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

Pavel B. Aratsky — Cand. Sci. (Eng.), TVELL LLC, Saint Petersburg, Russia

Mikhail B. Shilin — Dr. Sci. (Geog.), Prof., Department of Applied Informatics, Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia

Вклад авторов

Павлов О.Г. — разработка основной идеи и структуры статьи, обобщение теоретических и практических разработок авторов по теме статьи, подготовка иллюстративного материала;

Authors' contributions

Oleg G. Pavlov — main idea and structure of the article, generalization of theoretical and practical developments of the authors on the topic of the article, preparation of illustrations;

Дунаев А.В. — проведение научных и экспериментальных исследований, анализ результатов их внедрения в практику;
Лавров Ю.Г. — проведение научных и экспериментальных исследований, анализ результатов их внедрения в практику;
Цейко А.П. — проведение экспериментальных исследований, анализ результатов их внедрения на легковом и грузовом транспорте;
Шарифуллин С.Н. — проведение научных и экспериментальных исследований, анализ результатов их внедрения в практику;
Аратский П.Б. — проведение научных и экспериментальных исследований, анализ результатов их внедрения в практику;
Шилин М.Б. — техническое редактирование и подготовка текста статьи к печати.

Anatoly V. Dunaev — scientific and experimental studies, analysis of their practical implementation;
Yury G. Lavrov — scientific and experimental studies, analysis of their practical implementation;
Alexander P. Tseyko — scientific and experimental studies, analysis of their implementation in passenger and freight transport;
Said N. Sharifullin — scientific and experimental studies, analysis of their practical implementation;
Pavel B. Aratsky — scientific and experimental studies, analysis of their practical implementation;
Mikhail B. Shilin — technical editing and preparation of the text for publication.

Благодарности

Авторы статьи выражают глубокую благодарность разработчикам и практикам ГМТ-технологии, не упомянутым в статье, а именно: Тишакову В.И., Кобыльскому И.П., Любимову Д.Н., Долгополову К.Н., Подчуфарову С.Н., Новикову В.И., Герману А.Ю., Рыжову В.Г., Гительману Д.В. Ольховацкому А.К., Лисенкову Д.В., Ладикову В.В., Мироненко А.В., Бондаренко В., Хазову С.П., Аблятову Р.А., Рубаненко А., Табакову П.А., Байнову А.А., Иксар И.А., Чечету В.А., Гвоздеву А.А., Соболеву С.Г., Посадскому А.В. и другим.

Acknowledgments

The authors of the article express deep gratitude to the developers and practitioners of the friction geomodifier technology not mentioned in the article: V.I. Tishakov, I.P. Kobylskov, D.N. Lyubimov, K.N. Dolgoplov, S.N. Podchufarov, V.I. Novikov, A.Yu. German, V.G. Ryzhov, D.V. Gitelman, A.K. Olkhovatsky, D.V. Lisenkov, V.V. Ladikov, A.V. Mironenko, V. Bondarenko, S.P. Khazov, R.A. Ablyatov, A. Rubanenko, P.A. Tabakov, A.A. Baynov, I.A. Iksar, V.A. Chechet, A.A. Gvozdev, S.G. Sobolev, A.V. Posadsky and others.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 552.5:551.35:550.8:528 (268.55)

ББК 26.371.1

<https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-37-61>



Литология поверхностных отложений Восточно-Сибирского моря по результатам геологического картирования

Рябчук Д.В.✉, Ковалева О.А., Сергеев А.Ю.,
Жамойда В.А., Григорьев А.Г., Буданов Л.М.,
Нестерова Е.Н., Неевин И.А., Дронь О.В.

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический
институт им. А.П. Карпинского», Санкт-Петербург, Россия

✉ Daria_Ryabchuk@mail.ru

Аннотация. Новые данные о литологии поверхностных отложений прибрежных районов Восточно-Сибирского моря (между о-вами Врангеля и Новая Сибирь), полученные в рамках работ по государственному геологическому картированию масштаба 1:1 000 000, позволили существенно уточнить информацию о распределении гранулометрических типов, минеральном составе и геохимии поверхностных донных отложений. Рассмотрены основные источники осадочного материала и закономерности осадконакопления прибрежной части Западного и Восточного секторов Восточно-Сибирского моря. Установлено, что важным фактором перераспределения осадочного материала на морском дне, нарушающим закономерности механической дифференциации вещества, является выпадение дрейфующими льдами поверхности дна до глубин 50 м.

Ключевые слова: Восточно-Сибирское море, литология донных отложений, минеральный состав, ледовое воздействие

Конфликт интересов: авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Рябчук Д.В., Ковалева О.А., Сергеев А.Ю., Жамойда В.А., Григорьев А.Г., Буданов Л.М., Нестерова Е.Н., Неевин И.А., Дронь О.В. Литология поверхностных отложений Восточно-Сибирского моря по результатам геологического картирования. *Арктика и инновации*. 2024;2(2):37–61. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-37-61>

Lithology of surface sediments in the East-Siberian Sea based on geological mapping

Daria V. Ryabchuk✉, Olga A. Kovaleva, Alexander Yu. Sergeev,
Vladimir A. Zhamoida, Andrey G. Grigoriev,
Leonid M. Budanov, Elena N. Nesterova, Igor A. Neevin,
Oleg V. Dron'

Karpinsky Russian Geological Research Institute, Saint Petersburg, Russia

✉ Daria_Ryabchuk@mail.ru

Abstract. New data on the lithology of surface sediments in the coastal areas of the East-Siberian Sea (between Wrangel and Novaya Sibir islands), obtained within the framework of the state geological mapping at the scale of 1:1M, was used to clarify the distribution of granulometric types, mineral composition, and geochemistry of surface seabed sediments in this area. The main sources of sedimentary material and sedimentation patterns of the coastal part of the Western and Eastern sectors of the East-Siberian Sea were considered. An important factor determining sediment redistribution along the seabed, violating the regularities of mechanical differentiation of matter, consists in the plowing of the seabed surface by drifting ice to depths of 50 m.

Keywords: East-Siberian Sea, surface sediment lithology, mineral composition, ice impact

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Ryabchuk D.V., Kovaleva O.A., Sergeev A.Yu., Zhamoida V.A., Grigoriev A.G., Budanov L.M., Nesterova E.N., Neevin I.A., Dron' O.V. Lithology of surface sediments in the East-Siberian Sea based on geological mapping. *Arctic and Innovations*. 2024;2(2):37–61. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-37-61>

Введение

В силу географического положения и природных условий, наиболее суровых в Российской Арктике, прибрежные районы Восточно-Сибирского моря являются одной из самых слабоизученных морских акваторий России и характеризуются наименьшей плотностью сети поверхностного донного пробоотбора и геофизических исследований, позволяющих получать информацию о поверхностном покрове донных осадков. До начала реализации в 2018 г. проекта ГК-1000/3 (листы S-55 (о. Новая Сибирь), S-56 (о. Вилькицкого), R-56 (р. Алазея), R-57 (Черский), R-58 (Билибино), R-59 (Певек) и R-60 (Полярный)) литологические карты масштаба 1:1 000 000 и крупнее на исследуемую акваторию отсутствовали.

Материковый берег Восточно-Сибирского моря протягивается от м. Святой Нос (западная граница пролива Дмитрия Лаптева и Санникова) до м. Якан (западная граница пролива Лонга). В пределах изучаемой акватории расположены о-ва Новая Сибирь, Медвежий, Айон и западная часть о-ва Врангеля (рис. 1). Климат Восточно-Сибирского моря — полярный морской с признаками континентальности. Основными факторами, определяющими климатические условия Восточно-Сибирского моря и оказывающими доминирующее воздействие на осадконакопление, является положение в высоких широтах, непосредственная близость обширного континента и свободное сообщение с Центральным арктическим бассейном [Григорьев и др., 2006].

Восточно-Сибирское море находится в зоне соприкосновения атмосферного воз-

действия Атлантического и Тихого океанов. В сезон динамической активности морей градиент атмосферного давления над акваториями в целом направлен с севера на юг. В августе–сентябре, т.е. когда в прибрежной полосе Восточно-Сибирского моря возможна генерация ветрового волнения, преобладающие ветры направлены с северо-востока. Скорость северо-восточных ветров, генерирующих в основном морское волнение, обычно небольшая, до 10 м/с, однако 6 % составляют ветры от 10 до 20 м/с. Повторяемость штормовых ветров у побережья в отдельных районах достигает 5–11 %. В районе Новосибирских о-вов преобладают юго-восточные ветры. Средняя летняя скорость ветра 4–6 м/с, максимальные значения достигают 25–28 м/с. Наиболее часто повторяются западные (14–27 %), северо-восточные (12–26 %) и восточные (12–22 %) ветры [Григорьев и др., 2006]. Среднемноголетняя повторяемость (%) ветров со скоростью более 10 м/с в береговой зоне Восточно-Сибирского моря приведена в таблице 1.

Восточно-Сибирское море — самое ледовитое из морей Российской Арктики — полностью покрыто льдом с октября–ноября по июнь–июль. Из-за значительной ледовитости Восточно-Сибирского моря волнение здесь развито слабо по сравнению с другими арктическими морями. В западной части моря, где полоса чистой воды более широкая, максимальная высота волн может достигать 4 м. В восточной его части, где южная кромка льдов находится близко к берегу, высота волн не превышает 1,5–2 м [Павлидис, Леонтьев, 2000].

Таблица 1. Среднегодовое повторение (%) ветров со скоростью более 10 м/с в береговой зоне Восточно-Сибирского моря в июле–сентябре [Климатологический..., 1961]

Table 1. Mean annual frequency of occurrence (%) of winds with a speed greater than 10 m/s in the coastal zone of the East Siberian Sea in July–September [Climatological..., 1961]

	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Устье р. Индигирки — устье р. Колымы	0,3	4,6	3,3	0,5	0,6	2,1	2,0	1,2
Устье р. Колымы — о. Айон	0,2	4,2	4,5	0,8	0,6	1,6	1,7	1,4
о. Айон — м. Биллингса	0,3	1,8	7,2	1,6	0,4	0,8	1,9	1,3
м. Биллингса — м. Шмидта	0,6	0,9	3,7	1,9	0,2	0,4	2,1	4,6

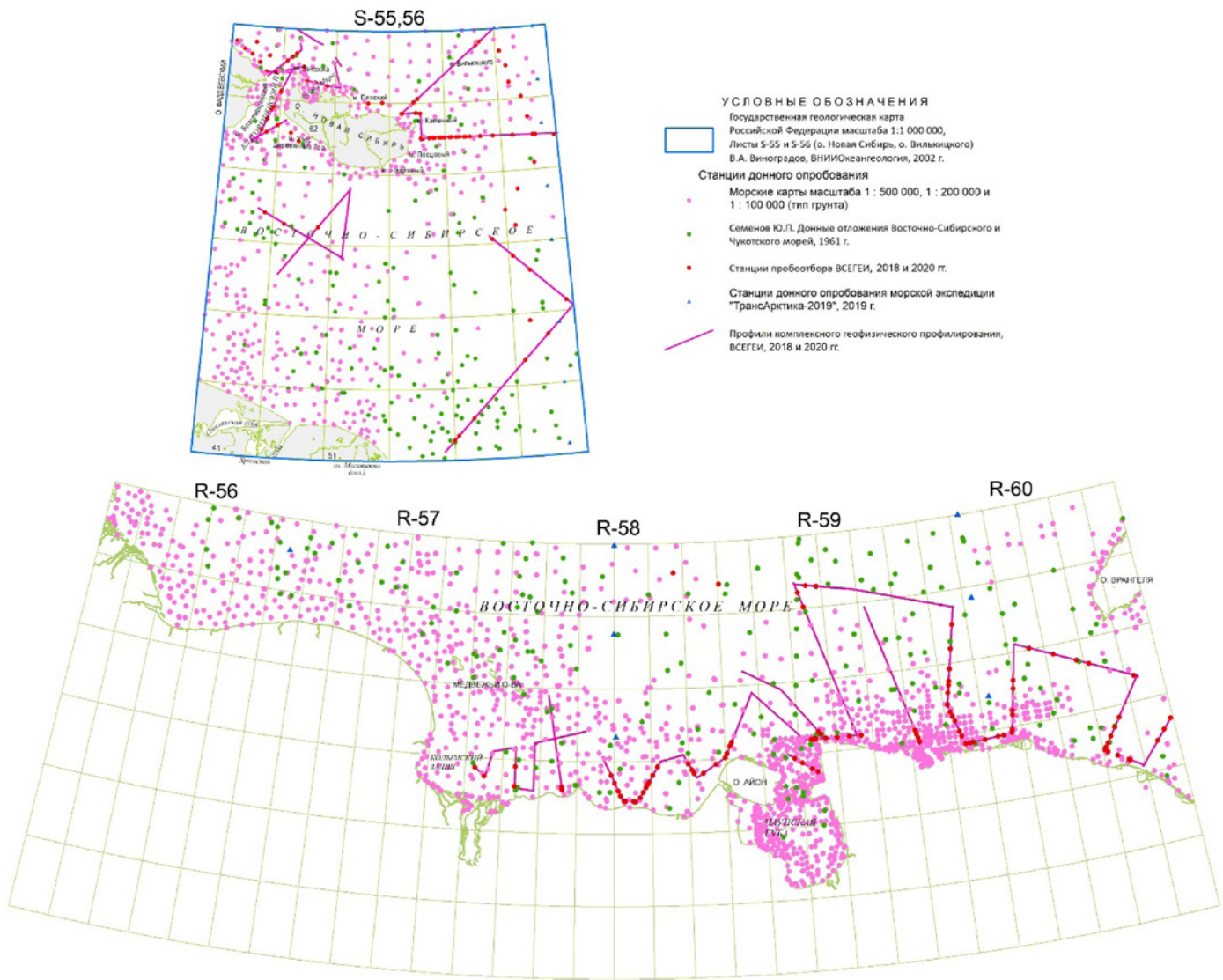


Рис. 1. Карта фактического материала

Fig. 1. Map of actual material

Постоянные течения на поверхности Восточно-Сибирского моря образуют слабо выраженную циклоническую циркуляцию. Вдоль материкового побережья выражен устойчивый перенос вод с запада на восток. У м. Биллингса часть из них направляется на север и северо-запад, выносится к северным окраинам моря, где включается в поток, идущий к западу. При разных синоптических ситуациях изменяется и движение вод. Постоянные течения часто нарушаются ветровыми, которые нередко бывают сильнее постоянных. Влияние приливных течений относительно невелико [Добровольский, Залогин, 1982].

Дно исследуемых районов Восточно-Сибирского моря полностью покрыто четвертичными отложениями, характеристика которых приведена в наших работах [Буданов и др., 2022; Сереев и др., 2023; Петров и др., 2023].

Материковый сток в Восточно-Сибирском море сравнительно невелик, около $250 \text{ м}^3/\text{км}$, что составляет всего 10 % общего объема речного стока всех арктических морей. Самая крупная из впадающих рек — Колыма за год приносит около 130 км^3 воды, а вторая по величине река — Индигирка — 60 км^3 воды в год, дельты этих рек расположены в пределах изучаемой акватории.

На предварительном этапе исследований был выполнен сбор и анализ всего доступного объема опубликованной и архивной информации о донных отложениях исследуемого района. Отбор проб поверхностных осадков в пределах рассматриваемой площади выполнялся экспедициями НИИГА-ВНИИОкеангеология с 1934 по конец 1980-х гг. Исследуемая площадь входит в неопубликованный Атлас донных осадков окраинных и внутренних морей СССР под ред. А.М. Ивановой (1992). В доступных для анализа отчетных материалах о прибрежных районах Восточно-Сибирского моря от устья р. Индигирки до о-ва Врангеля содержится информация о результатах 172 гранулометрических анализов по 139 станциям донного пробоотбора и о 123 станциях, для которых имеется информация о минеральном составе легкой и тяжелой фракций [Семенов, 1961; Кошелева, Яшин, 1999; Яшин, 2000 и др.]. Кроме того, в неопубликованном отчете В.А. Калиничева и соавторов (1988) по ГСШ-200 для листа R-57-XVIII (Колымский залив)

приводятся результаты гранулометрического анализа для образцов, отобранных на 87 станциях.

Изучение донных отложений выполнялось в 1950–1960-х гг. в ходе экспедиций ААНИИ и НИИГА. Сведения о геологическом строении приповерхностной части разреза на прибрежных площадях содержатся также в ряде неопубликованных отчетов, выполненных специалистами ВНИИМоргео (Ю.С. Маслов и др., 1971; Г.А. Громатович и др., 1974, 1975; В.В. Васильев и др., 1977; В.А. Воробьев, 1977, 1980; Ю.П. Безродных и др., 1981), Чаунской ГРЭ (В.А. Лаштабег, 1977); ПГО «Севморгеология» и НИИГА (И.М. Зайцев и др., 1979; В.К. Дорофеев и др., 1979; Е.К. Серов и др., 1981; Э.Ф. Гринталь и др., 1985). Однако перечисленные выше отчеты, несмотря на высокий уровень организации работ и результирующих картографических материалов, были направлены почти исключительно на поиск россыпей олова и золота в прибрежных и пляжевых отложениях, что ограничивает возможность их использования для составления литологической карты дна акватории и анализа условий седиментации.

С конца 1990-х годов в Восточно-Сибирском море осуществляются исследования ТОИ ДВО РАН. Для отобранных в 1999–2009 гг. образцов поверхностных отложений осуществлен гранулометрический анализ и исследования глинистых минералов методом рентгеновской порошковой дифрактометрии [Дударев и др., 2005; Dudarev et al., 2022] и песчано-алевритовых фракций [Николаева и др., 2008; 2013]. В последние годы значительный вклад в понимание закономерностей седиментационных процессов внесли геохимические исследования специалистов ДВО РАН [Астахов и др., 2018; Astakhov et al., 2019; Аксентов и др., 2023; Sattarova et al., 2023]. Кроме того, в исследуемом районе работали экспедиции ИО РАН.

В ходе экспедиционных исследований, выполненных специалистами Института им. Карпинского в 2018 и 2020 гг., имеющийся банк данных о гранулометрическом, минеральном и химическом составе поверхностных донных осадков был существенно пополнен. Кроме того, впервые для района исследований было выполнено геофизическое профилирование (гидролокация

бокового обзора (ГЛБО) и многолучевое эхолотирование (МЭ)). Обобщение и анализ всей полученной информации позволили впервые для мелководных участков дна Восточно-Сибирского моря составить литологическую карту дна акватории, а также уточнить и дополнить существующие представления о закономерностях седиментационных процессов.

Материалы и методы исследований

В 2018 и 2020 гг. в рамках работ по составлению государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 были проведены морские экспедиционные геолого-геофизические работы на НИС «Иван Киреев» и «Капитан Воронин» по изучению акватории Восточно-Сибирского моря. Для составления литологической карты дна акватории были использованы результаты гидролокации бокового обзора, многолучевого эхолотирования (3200 км каждым методом), донного пробоотбора с применением бокс-корера (191 станция) и подводных видеонаблюдений (110 станций). С помощью гравитационной ударной трубки отобрано 29 грунтовых колонок (длиной от 0,25 до 2,5 м). Из бокс-кореров отбиралось по два образца — поверхностный слой (0–2 см) и 5–10 см на гранулометрический и геохимический анализы. На минералогический анализ отбирались большеобъемные пробы (на 65 станциях). Для колонок донных отложений выполнялся послойный гранулометрический (каждый 1 см) и геохимический (каждые 3 см) анализ. Результаты изучения колонок донных отложений позволили получить данные о скоростях седиментации на отдельных участках дна прибрежного шельфа. Восемь проб поверхностных осадков, отобранные в 69-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (22 августа — 3 октября 2017 г.), были любезно предоставлены ВСЕГЕИ сотрудниками ИО РАН для аналитических исследований.

Для отобранных проб были выполнены гранулометрический, минералогический и геохимический анализы. Ситовой анализ 144 проб песчаных отложений и миктитов заключался в просеивании пробы песчаного осадка через набор сит аналитической просеивающей машины AS 200 с управлением «g» фирмы Retsch. В ходе анализа (в процессе отмучивания) фракция

<0,01 мм собиралась в пластиковые емкости с последующим анализом методом лазерной дифракции. Для 111 образцов поверхностных илов был выполнен гранулометрический анализ с использованием лазерного анализатора частиц «Микросайзер 201А» (производства «ВА Инстал») методом лазерной дифракции.

Полный полуколичественный минералогический анализ (гранулометрические фракции <0,16, 0,16–0,315 и 0,315–0,5 мм) тяжелых фракций неравномернотекстурных шлихов рыхлых пород, включая предварительное фракционирование, выполнен в Центральной лаборатории Института им. Карпинского.

Химический анализ был выполнен на масс-спектрометре Elan 6100 DRC в Центральной лаборатории Института им. Карпинского методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) (Cr, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Sn, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, W, Th, U, Co, Ni, Sb, Te, Pb, Bi, As); атомно-абсорбционным методом (AAS) (Au, Sn) и в лаборатории отдела Региональной геоэкологии и морской геологии рентген-флуоресцентным спектральным методом (Спектроскан-МАКС) (Sr, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Co, Fe₂O₃, MnO, Cr, V, TiO₂, Br).

Кроме того, для составления литологической карты дна использовалась собранная в ходе выполнения проекта база данных предыдущих исследований ААНИИ и НИИГА, которая содержит результаты гранулометрического анализа для 182 станций, 85 минералогических анализов (легкой и тяжелой фракций), минералогического анализа тяжелой фракции для 223 станций поверхностного пробоотбора.

Получение максимально детальной батиметрической модели дна имеет принципиально важное значение при литологическом картировании. Для создания цифровой батиметрической модели, необходимой для геоморфологического анализа и интерпретации геолого-геофизической информации при составлении карты четвертичных образований и палеогеографических реконструкций, были использованы морские навигационные карты масштаба 1:500 000 и 1:200 000. В программе ArcGIS оцифрованы точки промеров глубин и изобаты, с помощью модуля ArcGIS

«Spatial analyst» выполнена интерполяция методом «Topo to raster». В программе ArcGIS оцифрованы точки промеров глубин и изобаты, на основе которых создана база данных для дальнейшей работы с рельефом морского дна. Для получения дополнительной информации о характере поверхностных донных отложений с батиметрических карт были также оцифрованы данные о типах грунтов.

Для определения региональных морфологических элементов поверхности дна (впадин, равнин, возвышенностей) был применен метод вычисления так называемого батиметрического индекса позиции — Bathymetric position index (BPI) [Wilson et al., 2007]. Его особенностью является анализ поверхности дна по заданным критериям, зависящим от детальности цифровой модели рельефа, и выделения (подсветки) неровностей с их условной классификацией.

Результаты

Распределение поверхностных донных отложений различных гранулометрических типов

В западной части исследуемой акватории между устьем р. Индигирки и северной периферией о-ва Новая Сибирь (листы S-55, 56) (рис. 2) доминирующим типом донных отложений являются пелитовые алевриты (более 50 % площади дна), формирующиеся в пределах выровненных, относительно пониженных участков дна.

В наиболее глубоководных частях палеодолины р. Индигирки, а также проливе Благовещенский, разделяющем о-ва Новая Сибирь и Котельный, развиты алевритовые пелиты и (локально) пелиты. Осадки имеют текучую консистенцию и цвет, характерный для зоны окисления (рыжевато-серый, коричневатосерый, буроватый). Песчаные алевриты формируют крупные поля в прибрежной части акватории между материковым побережьем и о-вом Новая Сибирь на глубинах до -16 м, а также представлены к югу от п-ва Фаддеевский. Алевритовые пески образуют достаточно протяженные поля по периферии о-ва Новая Сибирь (к северу и западу), которые окаймляют о. Фаддеевский, развиты в дельтах Омуляхской и Хромской губ. Пески развиты на поверхности подводных валов, расположенных на прибрежных мел-

ководьях о-ва Новая Сибирь (глубины моря 10–20 м) на расстоянии до 30 км от берега и представляющих собой голоценовые морские аккумулятивные образования [Сергеев и др., 2022]. Пески хорошо сортированы (So 1,04–1,10) мелкозернистыми (вес модальной фракции 0,1–0,25 мм составляет 92–93 %), примесь грубообломочного материала в осадках отсутствует, содержание частиц <0,01 мм не превышает 0,5 %. Поверхность гряд эрозионного происхождения [Сергеев и др., 2022], расположенных мористее по периферии о-ва Новая Сибирь, сложена алевритами. Миктиты различного гранулометрического состава развиты на описываемой части дна акватории незначительно.

Поверхностный осадочный покров в пределах листа R-56 (рис. 3) достаточно однообразен: от береговой линии в сторону моря последовательно развиты поля песчаных алевритов, алевритов и пелитовых алевритов. Поверхность локальных подводных поднятий также сложена алевритовыми отложениями. Отложения, слагающие реликтовые подводные бары (преимущественно слабодифференцированные миктиты) на поверхности дна, судя по имеющимся данным, не обнажаются, поверхность их полностью перекрыта пелитовыми алевритами. Отложения ложбин характеризуются более высоким содержанием пелитовой фракции и с некоторой долей условности обозначены на карте как поля алевритовых пелитов.

В пределах листа R-57 (рис. 3) доминирующее положение также занимают пелитовые алевриты (в северной части листа) и алевриты (Колымский залив, акваториальная периферия Медвежьих островов). Отложения устьевой части и конуса выноса р. Колымы представлены песками. Мористее выделяется широкая полоса алеврито-песчано-пелитовых и песчано-пелито-алеваевритовых миктитов. Понижение рельефа в палеодолине р. Колымы заполняют пелитовые алевриты и алевритовые пелиты. На площади листа R-57 выявлены локальные поля развития железомарганцевых конкреций.

Преобладающим типом поверхностных отложений дна в пределах листа R-58 (рис. 3) являются илы пелито-алеваевритового и алеврито-пелитового состава. В то же время выделенные при картировании на относительно поднятых участках дна осадки, обогащенные песчаными частицами (песчаные алевриты,

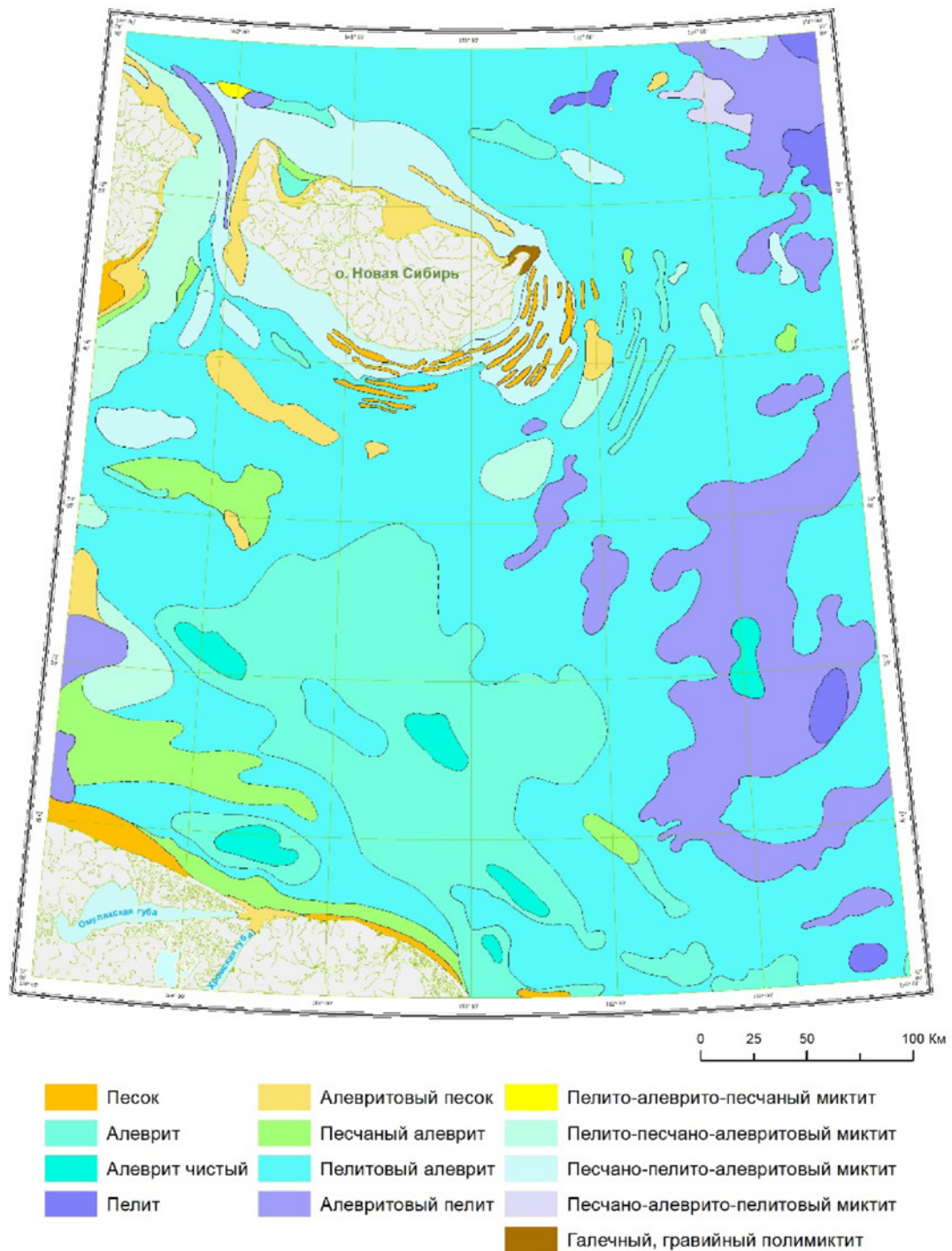


Рис. 2. Литологическая карта дна акватории листов S-55, 56

Fig. 2. Lithologic map of the seabed of sheets S-55, 56

миктиты, пески) свидетельствуют о наличии локальных зон неустойчивого осадконакопления и (по периферии Медвежьих островов) подводного размыва, где на поверхности дна развиты песчаные и алевро-песчаные отложения. Распределение наиболее тонкозернистых (алеврито-пелитовых и пелитовых) илов контролируется рельефом дна и приурочено к палеодолине

р. Колымы, ложбинам, разделяющим реликтовые подводные бары в западной части листа, и понижению рельефа дна в западной части листа. Локальные зоны размыва выделяются на прибрежных мелководьях к западу от м. Большой Баранов и по периферии м. Бараниха. На площади листа установлены отдельные находки железистых конкреций, не образующие крупных полей.

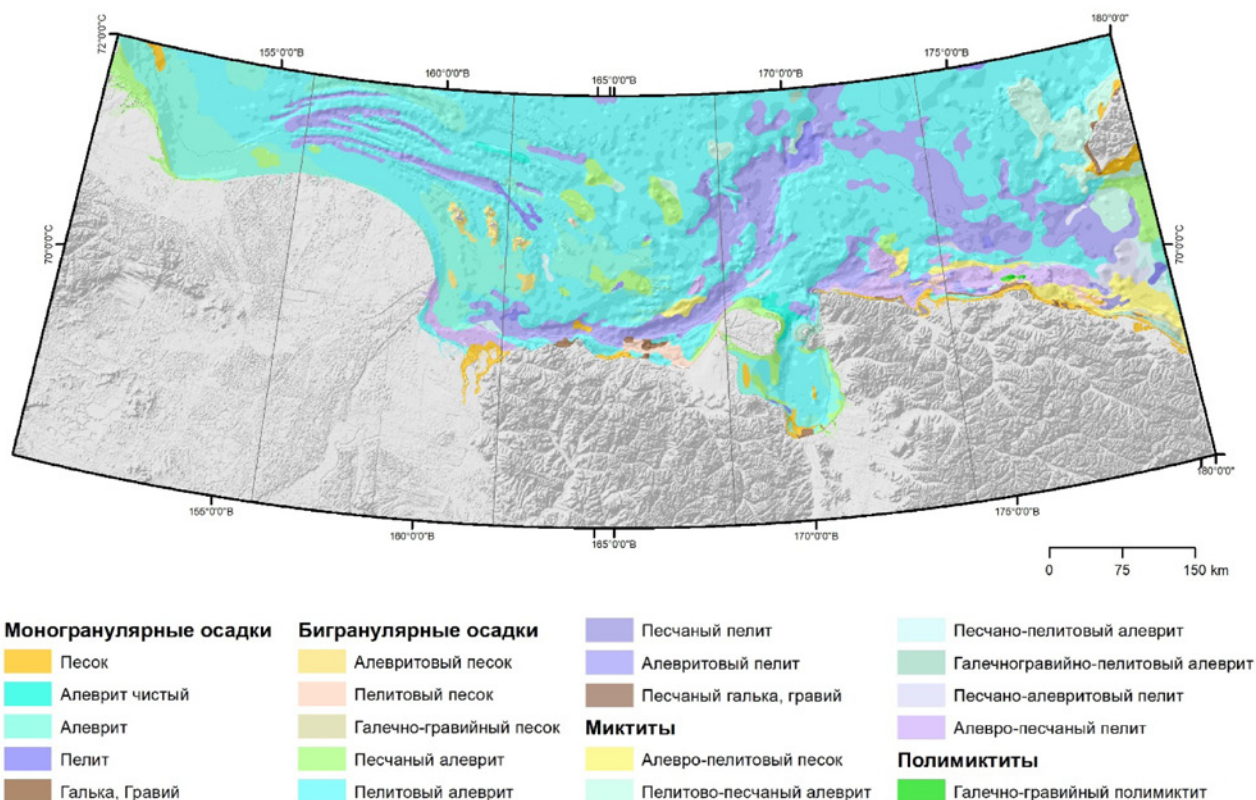


Рис. 3. Литологическая карта дна акватории листов R56–60 (от устья р. Индигирки до пролива Лонга)

Fig. 3. Lithologic map of the seabed of sheets R56–60 (from the mouth of the Indigirka River to Longa Strait)

В пределах листа R-59 (рис. 3) наблюдается четкий батиметрический контроль залегания алеврито-пелитовых и пелитовых илов, приуроченных к палеодолине р. Колымы и вытянутому понижению рельефа в восточной части листа. Эти осадки характеризуются крайне незначительной мощностью (2–3 см), представлены разжиженным окисленным наилком. Наибольшие площади дна акватории (на относительно батиметрически приподнятых участках дна) занимают поля пелитовых алевритов. Кроме того, локальные поля алевро-пелитовых илов, по данным гранулометрического анализа, покрывают поверхность дна локальных понижений рельефа морских аккумулятивных равнин на выходе из Чаунской губы. Зоны подводного размыва картируются локально вдоль материкового берега. Пелитовые пески и миктиты пространственно связаны с зонами преобладания процессов волнового и криогенного выветривания абразионно-денудационных берегов либо с вытаиванием материала в результате ледового разноса. В Чаунской губе прибрежные осадки представлены грубообломочными отложениями и песками, далее в сторону центральной части губы они последовательно сменяются песчаными алевритами, алевритами и пелитовыми алевритами. По периферии острова Айон поверхность дна

покрыта преимущественно песчаными алевритами. Осадочный покров прибрежных участков дна характеризуется наиболее мозаичным строением. Во вдольбереговой полосе выделяются поля грубообломочных и песчаных отложений. Мористее развиты миктиты различного гранулометрического состава, пелитовые пески, алевриты. Донные отложения губы Нольде представлены песками и песчаными пелитами.

Определенный батиметрический контроль наблюдается и в распределении типов поверхностных осадков в пределах листа R-60: от грубообломочных и песчаных по периферии материкового побережья и берегов о-ва Врангеля до преимущественно алевритовых (на основной части листа) и алеврито-пелитовых в депрессиях рельефа дна. Песчаные отложения (мелко- и среднезернистые пески) встречаются локально и приурочены к высокоэнергетическим условиям придонной среды (в пределах листа — в зонах волновой сепарации частиц на подводном береговом склоне). Достаточно широким распространением пользуются поля алевро-пелитовых и пелитовых илов, приуроченные к наиболее глубокой центральной части впадины донного рельефа, пространственно

связанной с прогибом Лонга и ложбиной СЗ-ЮВ направления (западная часть листа R-60). Кроме того, локальные поля алевро-пелитовых илов покрывают поверхность дна локальных понижений рельефа морских аккумулятивных равнин у подножия подводного берегового склона к западу от м. Биллингса. Пелитовые алевриты являются преобладающим типом донных отложений северной части листа. Исключительным разнообразием характеризуется поверхностный осадочный покров подводного берегового склона к востоку от м. Биллингса. Распределение донных отложений здесь весьма мозаично, выделяются осадки широкого гранулометрического спектра (от гравийно-галечных отложений до пелитовых песков) (рис. 3). Для подводных склонов материка и острова Врангеля характерен фациальный переход от грубообломочных отложений к пескам и миктитам.

Минералогия поверхностных донных отложений

Породообразующими минералами алевритовой фракции на всей исследуемой площади являются кварц и полевые шпаты. По данным анализа имеющейся базы данных в минеральном составе легкой фракции всех гранулометрических типов доминируют кварц (42,5–43,4 %) и калиевые полевые шпаты (36,8–40,5 %). Среди плагиоклазов преобладают кислые (4,2–7,05 %), средние и основные плагиоклазы присутствуют в количествах от 0,5 до 1,6 %, также для всех типов донных отложений характерно наличие слюд (биотит, мусковит) и хлорит. Наиболее разнообразны по составу легкой фракции миктиты.

По результатам районирования поверхностных донных осадков по содержанию глинистых минералов, выполненного ТОИ ДВО РАН [Дударев и др., 2005], площадь листа R56–57 отнесена к Оягосско-Колымскому участку, где содержание иллита варьирует от 53 до 64 %, хлорита — от 22 до 58 %, смектита — от 1 до 24 %. Площадь листа R-58 относится к Колымско-Чаунской зоне, характеризующейся наибольшей изменчивостью соотношений глинистых минералов. Содержание как иллита, так и хлорита в донных отложениях варьирует от 22 до 58 %, смектита — от 1 до 24 %.

Выход тяжелой фракции шлиха в осадках в открытой части акватории изменяется в интервале от 0,4 до 8 %. Высокий выход тяжелой фракции от 15 до 28 % характерен для прибрежных мелководий восточной части исследуемой площади, на расстоянии от берега менее 8–15 км и глубинах не более 10–25 м, а также на прибрежной периферии о. Новая Сибирь в пределах распространения полей алевритовых песков, песчаных алевритов и песчано-пелито-алевритовых миктитов на глубинах моря не более 10–15 м.

Доминирующими минералами тяжелой фракции являются эпидот-цоизит, амфиболы, черные рудные (ильменит, магнетит), обыкновенная роговая обманка (составляющие от 62,8 % в западной части исследуемой площади до 67,5 % в восточной). Встречаются также моноклинные пироксены, апатит, циркон, лейкоксен, хлорит, гранат, титаносодержащие минералы, гидроокислы железа (рис. 4).

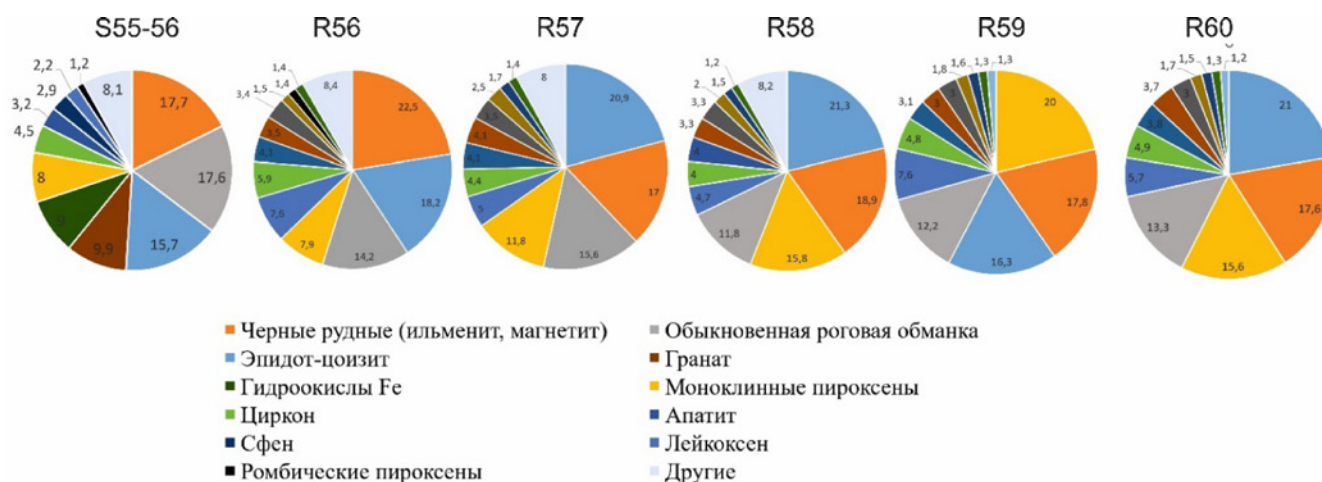


Рис. 4. Средние содержания минералов тяжелой фракции в поверхностных отложениях Восточно-Сибирского моря

Fig. 4. Mean levels of heavy fraction minerals in surface sediments of the East Siberian Sea

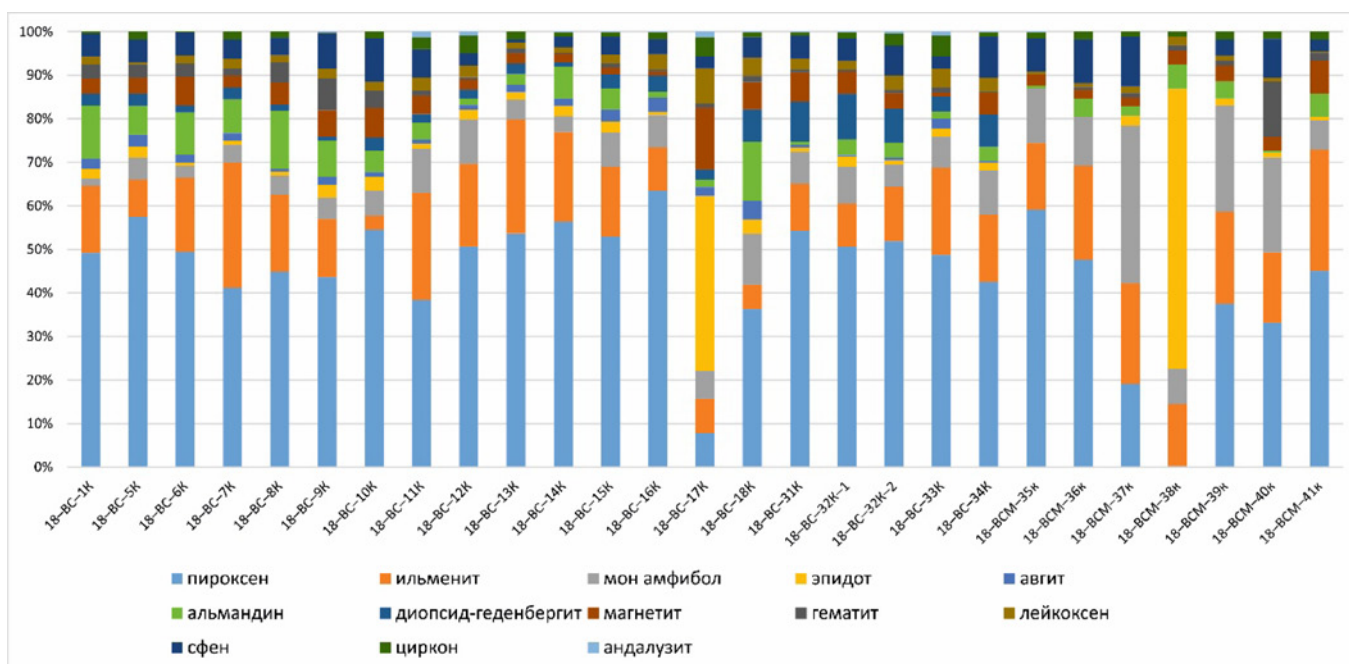


Рис. 5. Содержание минералов тяжелой фракции в образцах прибрежных отложений листа R-60

Fig. 5. Mineral content of heavy fraction in samples of coastal sediments of sheet R-60

Наиболее разнообразным минеральным составом характеризуются прибрежные фации отложений на участке от о-ва Айон до м. Якан (рис. 5). К северо-западу от о-ва Айон в составе тяжелой фракции доминируют ильменит (29 %), эпидот (23,8 %), ортопироксен (21,7 %), альмандин (5,9 %). Присутствуют магнетит, циркон, моноклинные амфиболы, диопсид, пирит, апатит, сфен, лейкоксен, гематит.

Пелитовые пески, отобранные на входе в Чаунскую губу (к северу от о-ва Б. Роутан, напротив устья р. Апапельгын), характеризуются преобладанием в составе тяжелой фракции моноклиновых амфиболов (46,1 %), апатита (28,7 %), циркона (9,3 %) и ильменита (6,5 %). Турмалин присутствует в количестве 3 %, ортопироксен — 2,3 %, циркон и диопсид — 1,4 и 1,3 % соответственно, в количестве менее 1 % установлены альмандин, касситерит, магнетит, биотит. В образцах, отобранных по периферии м. Шелагский доминирует биотит (53,3–75,3 %), в количествах от 5 до 10 % установлены моноклиновые амфиболы, авгит, ильменит, сидерит; от 1 до 5 % — ромбические пироксены, альмандин, эпидот, гематит, турмалин; менее 1% — пирит, диопсид, сфен, магнетит, циркон.

Отложения, отобранные на подводном береговом склоне к востоку от м. Шелагский,

характеризуются наличием ортопироксенов, моноклиновых амфиболов и ильменита в количестве от 13 до 25 %, эпидота, биотита и диопсида — от 8 до 13 %. Содержание обломков пород, турмалина, гематита, альмандина варьирует в пределах от 5 до 8 %; апатита, сфена, магнетита, циркона, известняка, лейкоксена — 1–3 %. В прибрежной зоне исключительно высокие концентрации минералов тяжелой фракции отмечаются на двух участках. Первый расположен восточнее мыса Якан, где содержание тяжелой фракции распределено крайне неравномерно и колеблется в интервале от 1 до 28 %. Второй участок расположен в западной части площади, к западу от м. Биллингса до устья р. Пегтымель.

Геохимия донных отложений

Донные осадки изученной части акватории Восточно-Сибирского моря характеризуются следующими ассоциациями химических элементов:

а) входящих в группу тяжелых металлов: Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ag (в некоторых районах к ним добавляются Pb, V, Sc);

б) редкоземельных элементов (РЗЭ): La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Y, Yb, Lu (в некоторых районах к ним добавляются Th, U);

в) элементы золотомышьяковой ассоциации: As, Au или ассоциации (As, Mn, Mo, Sb).

Распределение химических элементов в донных осадках Восточно-Сибирского моря неоднородно. Как правило, повышение концентрации химических элементов связано с увеличением содержания алевро-пелитовых фракций. Это показывает, как сопоставление положения выделенных ореолов с распространением различных литологических разностей осадков по площади, так и результаты факторного анализа. Исключение представляет самый восточный участок на границе с Чукотским морем, где литохимические ореолы Au, Sn, комплексные ореолы тяжелых металлов и ореолы золотомышьяковой ассоциации зачастую приурочены к более крупнозернистым фракциям вплоть до галечно-гравийных.

В западной части акватории, восточнее о-ва Новая Сибирь, фиксируются контрастные ореолы Au, контролируемые полями пелитовых алевритов и алевритовых пелитов. Южнее в пределах полей алевропелитов и пелитов, приуроченных к палеодолине р. Индигирка, фиксируются в значительной степени совпадающие по своим контурам ореолы Au, РЗЭ, тяжелых металлов и ассоциации (As, Mn, Mo, Sb). В пределах Колымского залива, южнее Медвежьих островов, выделен ряд литохимических ореолов золота с концентрациями от 0,051 до 0,075 ppm, связанных преимущественно с алевритовыми, реже с пелито-алевритовыми осадками.

Восточнее Колымского залива вдоль побережья преимущественно в пределах развития полей алевритовых пелитов протягивается цепочка литохимических аномалий различного состава, вероятно, обусловленных широко развитой на побережье олово-золоторудной минерализацией. На самом западе площади в районе м. Медвежий расположенные практически совпадающие по своим контурам аномалии РЗЭ и тяжелых металлов, приуроченные к алевритовым пелитам и частично к пелитам.

Мористее, в районе Медвежьих островов, выявленные повышенные концентрации Au тяготеют как к алевро-пелитовым, так и к алевритовым осадкам. На участке м. Баранов — устье ручья Милькера в алеврито-

вых пелитах и пелитовых алевритах выделяются частично совпадающие по своим контурам ореолы Au, РЗЭ и тяжелых металлов. Еще восточнее, в районе о. Айон, аналогичные ореолы связаны с полем алевритовых пелитов с включением железистых конкреций.

Восточнее Чаунской губы, по периферии м. Шелагский, в пределах поля алевро-пелито-песчаных миктитов картируется ореол золотомышьяковой ассоциации — As, Au. Мористее м. Козьмина в пределах полей пелитовых алевритов и алевритовых пелитов расположена литохимическая аномалия Au с концентрациями 0,001–0,008 ppm. Внутри контура аномалии Au расположен ореол тяжелых металлов.

Восточная часть Восточно-Сибирского моря заметно отличается по особенностям взаимоотношения связи распределения ряда химических элементов с литологическим составом осадков. В данном случае повышенные концентрации рассматриваемых химических элементов в основном приурочены к более крупнозернистым фракциям вплоть до галечно-гравийных. Севернее м. Лялэран в пределах полей алевритовых, алевро-пелитовых и галечно-гравийных отложений картируется ореол редкоземельных элементов. Несколько северо-западнее в области распространения алевропелитов и алевро-песчано-пелитовых миктитов отмечен ореол золотомышьяковой ассоциации — As, Au.

Восточнее и мористее м. Вевман в пределах полей распространения разнотипных осадков, включающих пелиты, песчаные пелиты, алевритовые пески, полимиктовые отложения различного состава, вплоть до галечно-гравийных, песчаной гальки и гравия, сначала в широтном, а затем меридиональном направлении протягивается ореол золотомышьяковой ассоциации. Несколько мористее м. Энмыгагын вдоль побережья вплоть до лаг. Кантыгтокынмангкы протягивается мощный ореол Au, приуроченный главным образом к алеврито-пелито-песчаным миктитам, пескам и частично к песчаным пелитам и алевропелитам. Своей восточной частью ореол захватывает отложения (галечно, гравийно)-пелито-алевритовых миктитов и песчано-галечно-гравийных отложений. Ореол по своим контурам близок к шлиховому ореолу золота,

и следует предположить их генетическую связь. В пределах контура юго-восточной части ореола выделяется область повышенных концентраций золотомышьковой ассоциации, контролируемая полями (галечно, гравийно)-пелито-алевритовых миктитов и песчано-галечно-гравийных отложений. Также в пределах контура ореола Au мористее м. Якан выделяется ореол тяжелых металлов, приуроченный к пескам, пелитовым пескам и алеврито-пелито-песчаным миктитам. В проливе Лонга преимущественно в полях распространения алевро-пелитовых осадков в субширотном направлении протягивается достаточно протяженный узкий ореол золота.

Ледовое воздействие на поверхность дна

Важным фактором перераспределения осадочного материала на морском дне, нарушающим закономерности механической дифференциации вещества, является выпаживание дрейфующими льдами (торосы, ледовые плотины). Профильные исследо-

вания с использованием гидролокации бокового обзора и многолучевого эхолотирования показали высокую частоту следов проявления экзарации морского дна. На некоторых участках вся поверхность дна была изборождена бороздами. В среднем встречаемость борозд составила 5–6 на 1 км. Ширина единичных борозд варьирует в широких пределах: от первых метров до 100 м и более (рис. 6).

Глубина борозд по данным многолучевого эхолотирования и НСАП достигает 3 м, хотя обычно не превышает 1–1,5 м (рис. 7, 8). Некоторые борозды имеют «свежий» облик с хорошо проявленными бортиками обваловки. Иногда они практически занесены донными осадками. Наиболее часто встречаются относительно широкие борозды или даже их серии, образуемые как результат перемещения торосов. Существенно реже фиксируется множественный след тонких борозд («царапин»), которые являются результатом воздействия на дно ледяной плотины под напорным воздействием.

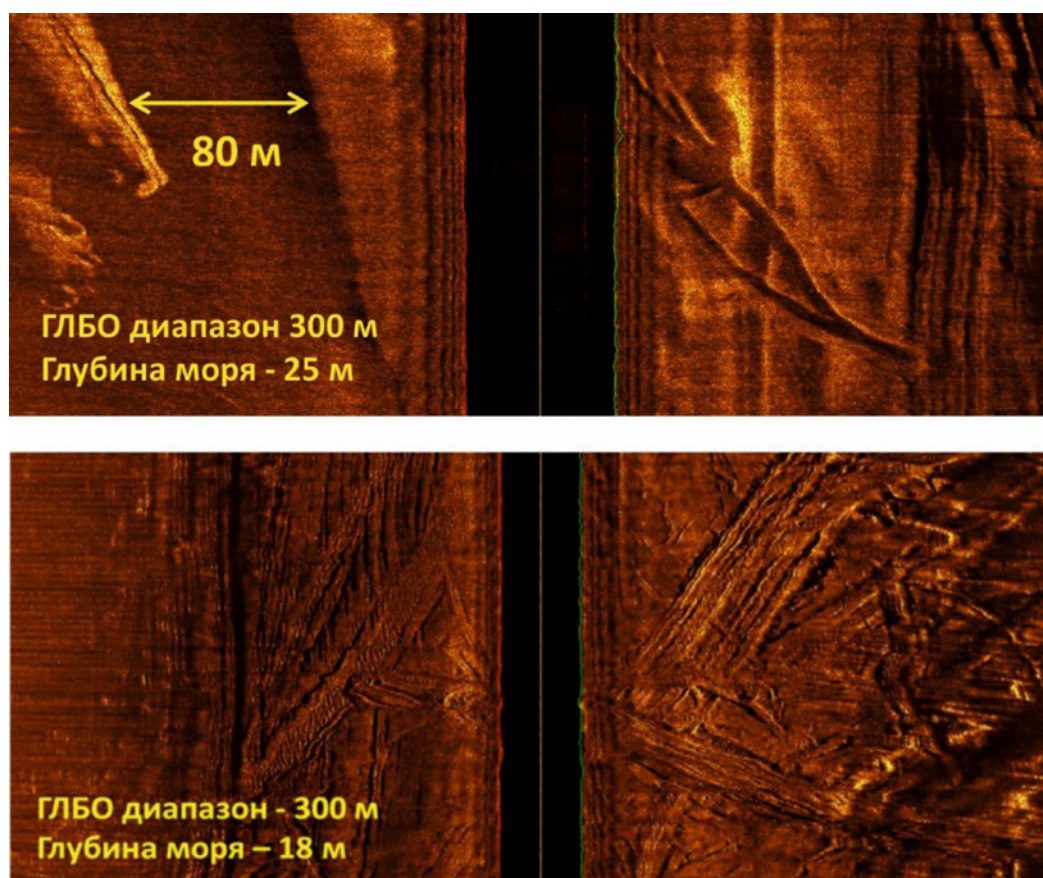


Рис. 6. Следы ледового воздействия на поверхности дна по данным ГЛБО

Fig. 6. Traces of ice impact on the seabed surface according to side-scan sonar data

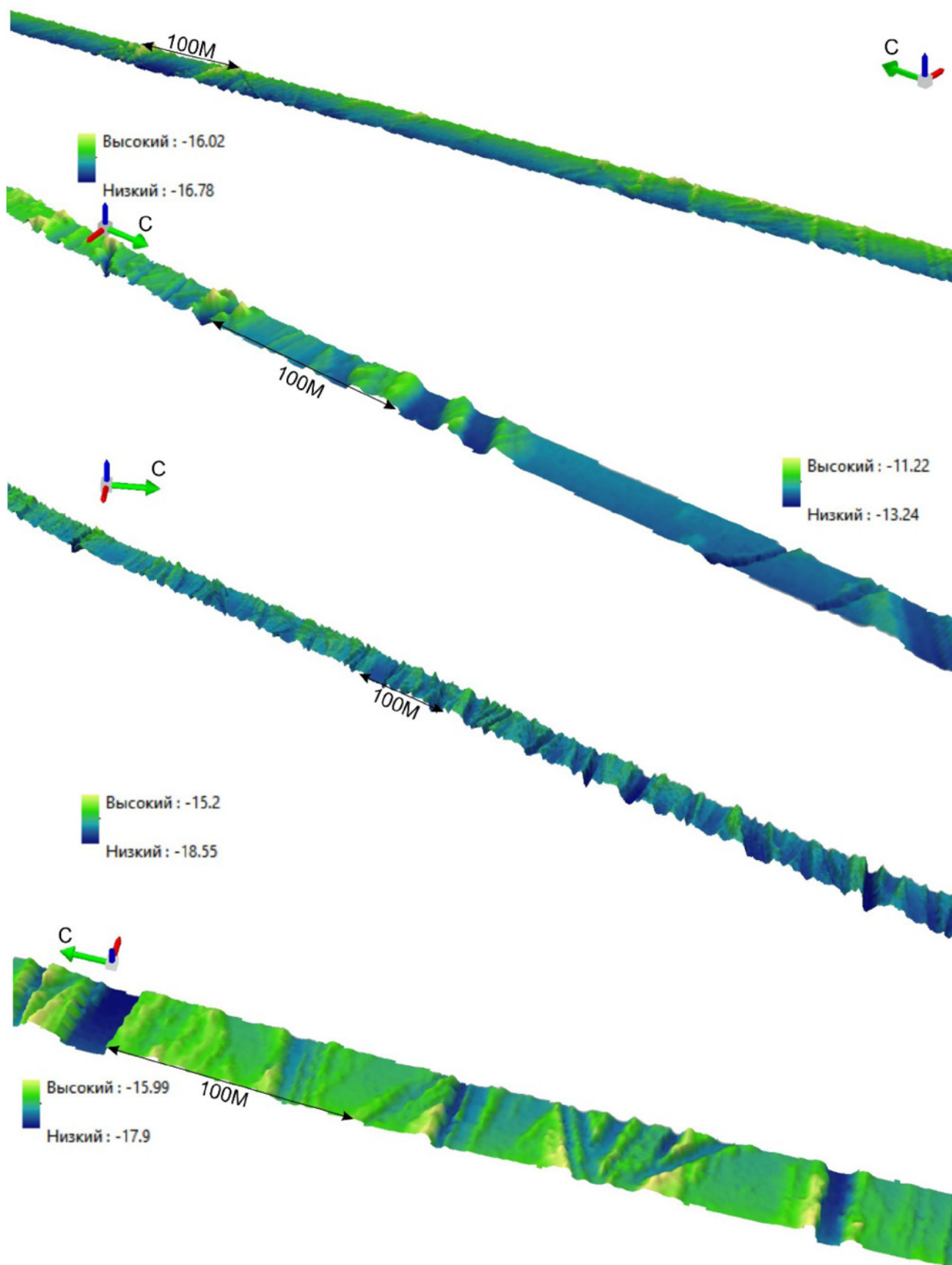


Рис. 7. Следы ледового воздействия на поверхности дна по данным многолучевого эхолотирования

Fig. 7. Traces of ice impact on the seabed surface by multibeam echo sounding data

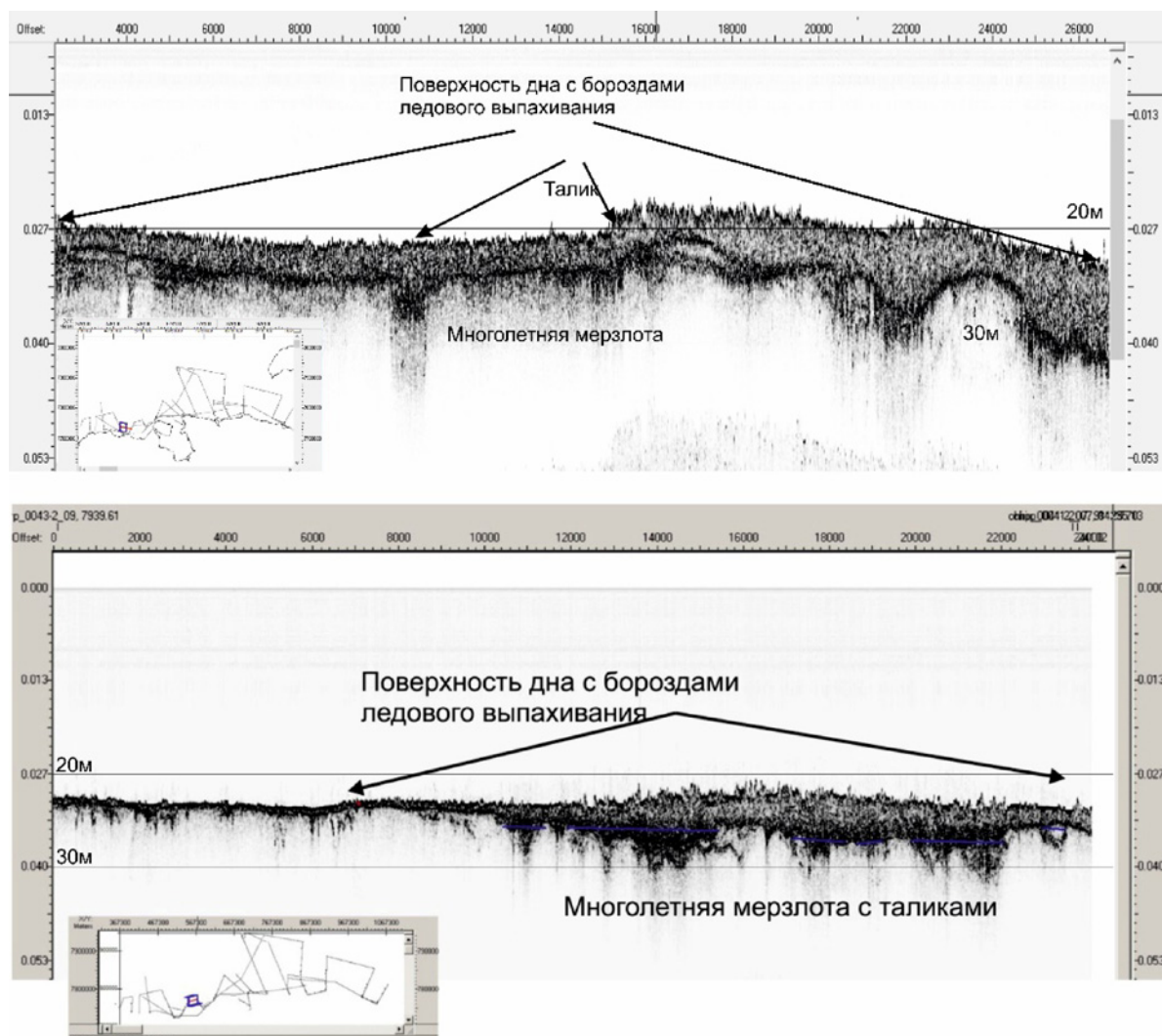


Рис. 8. Профили высокочастотного НСАП 0042-2_08 (лист R-59) и НСАП 1-03 (R-60) со значительным нарушением поверхности дна ледовым выпаживанием

Fig. 8. Profiles of high-frequency NSAP 0042-2_08 (sheet R-59) and NSAP 1-03 (R-60) with significant disturbance of the seabed surface by ice plowing

Исключительно высокая степень переработки поверхности дна льдом, выявленная в ходе проведенных исследований, позволяет предположить, что в условиях Восточно-Сибирского моря ледовое выпаживание, по крайней мере на протяжении всего голоцена, было одним из ведущих геологических процессов, перемещающих гигантские объемы осадочного вещества на глубину по разрезу иногда до 3–5 м. Важно отметить, что на записях профилографа осадки, переработанные льдом, выявлены до 12 м глубины по разрезу. Следы ледовых борозд выявлены до глубин моря 50 м, а по данным Огородова [Огородов, 2014] они могут встречаться в Восточно-Сибирском море до 60 м изобаты. Хотя в этом случае нельзя исключить,

что это реликтовые борозды, выработанные на более ранних стадиях голоценовой трансгрессии.

Обсуждение полученных результатов. Закономерности осадконакопления

Полярный литогенез является зональным типом осадкообразования и играет важную роль в развитии шельфа арктических морей. В регрессивные ледниковые эпохи часть шельфа осушалась и на его поверхности существовала низменная суша с криогенными условиями литогенеза. Промерзшие в такой обстановке толщи осадков затапливались в трансгрессивные эпохи, а при понижении уровня моря вновь осушались [Дударев и др.,

2003; Аксенов, Дунаев, 1987; Ионин и др., 1987; Павлидис, Щербаков, 2000].

Основными закономерностями осадконакопления западного сектора Восточно-Сибирского моря (к западу от палеодолины р. Колымы, листы S-55, 56 и R-56, 57) являются преобладание в области сноса рыхлых четвертичных отложений, интенсивная абразия и термоабразия берегов, значительное количество поступающего в бассейн седиментации песчано-алевритового и глинистого материала, равнинный и мелководный характер дна, доминирование в гидрологическом режиме ветровых течений, интенсивное переотложение тонкозернистых частиц с выносом их за пределы мелководного шельфа. Значительную роль в формировании поверхностного покрова донных осадков играют алевритовые фракции. Основным источником осадочного материала является абразия и термоабразия берегов, а также речной сток рек Индигирка и Колыма.

Результаты литологического картирования акваториальной части листов S-55, 56 в целом подтверждают сделанные ранее выводы об основных факторах седиментогенеза Восточно-Арктических морей [Кошелева, Яшин, 1999; Яшин, 2000]. На большей части арктического шельфа голоценовые осадки имеют глинисто-алевритовый состав при доминировании мелкоалевритовой (0,01–0,05 мм) фракции [Яшин, 2000]. В пределах листов S-55, 56 среднее содержание алевритовой фракции (0,01–0,1 мм) в донных отложениях по результатам анализа базы данных предыдущих исследований и результатов работ 2020 г. (263 образца) составляет 57,2 %, в пределах листов R56 и R57–57,3 и 70,9 % соответственно, что превышает средние значения для Яно-Индигирского и Колымо-Чанунского шельфов (от 35,1 до 40,0 %) по данным [Дударев и др., 2007].

Природа голоценовых и современных поверхностных осадков в подавляющем большинстве терригенная [Яшин, 2000]. В поверхностных отложениях, изученных в рамках данного исследования, среднее содержание органического вещества составляет 0,8 % (от 0,4 до 1,4 %). По данным исследований ТОИ ДВО РАН, на Яно-Колымском шельфе генезис C_{org} в донных отложениях оценивается как смешанный (планктонно-терригенный) при доминировании вклада терригенного C_{org} речного стока и продуктов разрушения термоабразионных берегов. Изотопный состав C_{org} $\delta^{13}C$ составляет от –26,3 до –27 ‰, что соответствует терригенному источнику [Ветров и др., 2008; Дударев и др., 2007].

Согласно сложившимся представлениям [Яшин, 2000], интенсивная аккумуляция поступающего вещества начинается в барьерных зонах «река — море» и «берег — море». Далее осадочное вещество вовлекается в процессы переработки течениями и волнениями, вследствие чего значительная часть взвешенного и влекомого материала выносится в открытую часть бассейна.

Оценки соотношения источников и объемов поступления осадочного вещества в Восточно-Сибирское море различаются.

Согласно расчетам Д.С. Яшина [2000], почти половина осадочного вещества поступает в бассейн в результате абразии и термоабразии. Согласно [Яшин, 2000] западная часть Восточно-Сибирского моря отнесена к зонам механической денудации материкового обрамления со сносом более 20 т/км² в год, что соответствует максимальным значениям для морей Российской Арктики. Расчетные соотношения источников осадочного вещества для голоценовых осадков Восточно-Сибирского моря в целом приводятся в таблице 2.

Таблица 2. Годовой балансовый расчет вещества, формирующего голоценовую толщу Восточно-Сибирского моря [Яшин, 2000]

Table 2. Annual balance calculation of the substance forming the Holocene strata of the East Siberian Sea [Yashin, 2000]

Внешние источники, 10 ⁶ т/год					Размыв дна, 10 ⁶ т/год	Все источники, 10 ⁶ т/год
Речной сток		Абразия берегов	Ледовый разнос	Всего		
Взвешенный	Растворенный					
25,5	7,0	120,0	25,0	177,6	62,4	240,0
10 %	3 %	48 %	10 %	74 %	26 %	100 %

В то же время, по данным ТОИ ДВО РАН [Дударев и др., 2003; 2007], доминирующим агентом в поставке осадочного вещества в Восточно-Сибирское море является речной сток. За счет взвешенного стока рек, в бассейнах водосбора которых находятся мощные источники тонкозернистого терригенного материала, ежегодно в акваторию поступает 21,4 млн тонн вещества. Сравнение взвеси авандельты рек Индигирки — Алазеи и многолетнемерзлых пород термоабразионных уступов побережья пролива Дмитрия Лаптева показало, что содержание песчаной фракции в них варьирует от 1 до 3 %, алевритовой — от 21 до 36 %, пелитовой — от 61 до 77 % [Дударев и др., 2003]. Близкие оценки объемов стока с суши приводятся Д.Н. Айбулатовым [2006], по данным которого твердый сток крупнейших рек в Восточно-Сибирское море составляет 21,7 млн т/год, рассчитанный твердый сток малых водотоков — 2,29 млн т/год. Объем осадочного материала, поступающего в Восточно-Сибирское море за счет термоабразии побережья, О.В. Дударев и соавторы [2005] оценивают в 15,0 млн тонн.

Расчеты объемов осадочного вещества для S-55-56 в литературе не приводятся. Абразия и термоабразия берегов играет в исследуемом районе еще большую роль в качестве источников наносов по сравнению с более восточными участками шельфа, куда поступает твердый сток рек Индигирки (объем твердого стока 13,7 млн т/год) и Колымы, дренирующей рыхлые четвертичные отложения, так как значительная часть стока рек оседает здесь в береговых лагунах. В пределах листов S-55-56 ряд рек — Хрома, Лапча, Керемесит, Кучуннай впадают в Хромскую губу, реки Кюэнехтах, Сан-Юрях, Кустуктах, Меркушина — в Омуляхскую губу. Глубоко вдающиеся в сушу заливы являются конечными водоемами стока, в которых откладывается значительная часть твердого и взвешенного стока этих рек.

По данным анализа массива геохимических данных (ICP-MS) в донных осадках Восточно-Сибирского моря в целом наблюдается увеличение суммарных содержаний РЗЭ в западном направлении (от пролива Лонга к Колымскому заливу), что подтверждается литературными данными [Астахов, 2018; Astakhov, 2019; Sattarova et al., 2023]. В пределах картируемых листов область минимальных суммарных содержаний РЗЭ

расположена к востоку от о-ва Новая Сибирь и пространственно приурочена к зоне неустойчивой седиментации (транзита). Для исследуемого района характерны положительные аномалии Eu, однако наблюдаются и отрицательные аномалии в осадках Благовещенского пролива между о-вами Котельным и Новая Сибирь. В восточной части листа S56 фиксируются отрицательные значения цериевой аномалии, от устья р. Индигирки к о-ву Новая Сибирь они становятся положительными. Сравнение спектров распределения РЗЭ с опубликованными работами [Астахов, 2018; Astakhov, 2019; Rachold, 1999; Аникиев, 1997; Маслов, Шевченко, 2019 и др.] (рис. 9) показывает их сходство со спектрами рек Лены и Яны, что указывает на существенное влияние стока этих рек на седиментационные процессы рассматриваемой площади. Кроме того, по периферии о-ва Новая Сибирь наблюдается максимальное в исследованной части Восточно-Сибирского моря значение отношения легких РЗЭ к тяжелым, характерное для базальтоидов островов Жохова и Вилькицкого.

Многолетнемерзлые рыхлые отложения, как правило, отличаются повышенным содержанием алевритовых частиц. Особенно высоким содержанием алевритовой фракции характеризуется ледовый комплекс Яно-Индигирской низменности, где среднее содержание алевритовой фракции составляет 60–80 %, а максимальное достигает 95 % [Томирдиаро, 1974; Труш, Нистратова, 1974; Соломатин, 1974; Арэ, 1980]. Значительное содержание алевритовой составляющей характеризует по данным геологической съемки [Государственная геологическая... 2000] и голоценовые отложения, развитые в пределах сухопутной части листов S-55-56.

Алевритами (на равнинных участках) и мелкозернистыми песками (в низовьях) сложена низкая пойма (0,8–2,5 м) в долине Индигирки. Авандельта Индигирки также сложена преимущественно тонкозернистыми песками и алевритами. Внутренняя часть дельты Индигирки сложена темно-серыми сильноглинистыми алевритами, в нижней части мелкозернистыми заиленными песками со шлирами (2–5 см) льда и мелкими ледяными жилами [Государственная геологическая... 2000]. Геологическое строение речных долин обуславливает высокое содержание алевритовых частиц в составе твердого стока реки Индигирки.

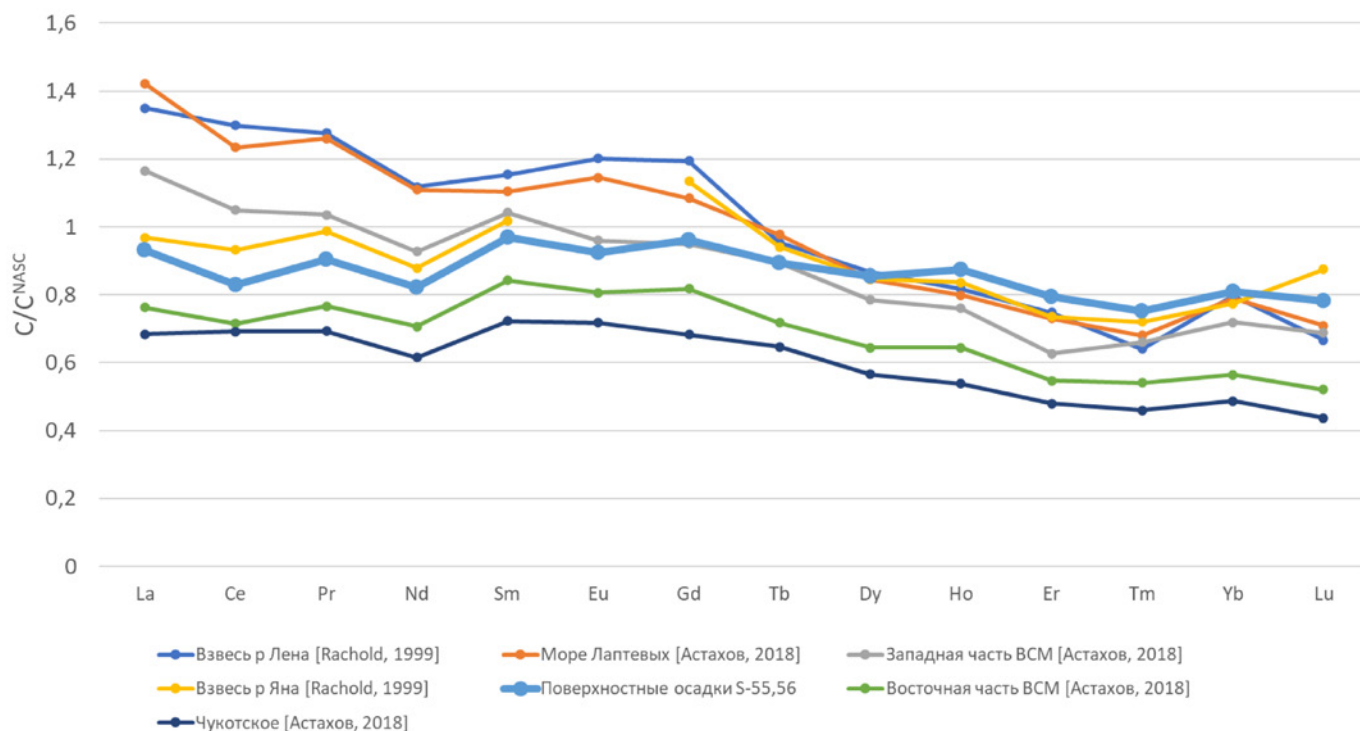


Рис. 9. Сравнение спектров распределения РЗЭ (нормированных по североамериканскому сланцу, NASC) в поверхностных отложениях ВСМ со спектрами РЗЭ донных осадков арктических морей и взвеси рек Лены и Яны

Fig. 9. Comparison of REE distribution spectra (normalized to North American shale, NASC) in surface sediments of the East Siberian Sea with REE spectra of seabed sediments of the Arctic seas and suspended sediments of the Lena and Yana rivers

В Восточно-Сибирском море среднемного-летняя продолжительность периода открытой воды уменьшается с запада на восток от 2–2,5 месяца в районе Новосибирских о-вов до 1 месяца в восточной части акватории [Совершаев, 1981]. Оценить вклад ледового разноса в седиментационные процессы на основе имеющегося материала не представляется возможным.

Считается [Дударев и др. 2007], что в Восточно-Сибирском море в целом распределение песчаной и крупноалевритовой фракций по данным математического анализа индифферентно к глубине бассейна, основная масса алевритовых частиц не переходит во взвешенное состояние с последующей миграцией в глубоководную часть акватории, а, как и песчаная, остается в зоне мелководья. Причинами такого феномена является специфика прибрежно-шельфовой криолитозоны, где около десяти месяцев в году приматериковая акватория скована льдом. Подводный рельеф имеет относительно выровненный характер с предельно малыми уклонами (около 0,0001) [Дударев и др. 2007]. Кроме того, распределение по площади части вещества (от пелитово-

го до крупнообломочного), поступающего в бассейн в процессе вытаивания из льдов в период их дрейфа, также не контролируется ни глубиной бассейна, ни положением относительно береговой линии [Яшин, 2000].

Однако для прибрежного шельфа западной части исследованной площади установлена корреляция с глубиной содержания тонкоалевритовой и пелитовой фракций. Вдоль материкового берега формируются достаточно узкие полосы песчаных осадков, мористее происходит отложение алевритовых песков, песчаных алевритов и алевритов. Наибольшие площади дна акватории покрыты пелитовыми алевритами. Пелиты формируются в наиболее глубоководных частях акватории, приуроченных в основном к палеодолине р. Индигирки, однако мощность текучих пелитовых и алевро-пелитовых отложений по данным пробоотбора не превышает 1,0 м.

Прибрежные участки исследованной акватории относятся к зонам аккумуляции, однако скорости осадконакопления, по данным изучения колонок донных отложений,

крайне низкие (0,13 мм/год) [Ryabchuk et al., 2024]. Полученные результаты совпадают с литературными данными [Dong et al., 2022]. Расчетные ежегодные темпы осадконакопления на шельфе Яно-Колымского междуречья составляют около 0,2 мм, абсолютная расчетная масса осадочного материала — 352 г/м²/год. Темпы накопления осадков свидетельствуют об относительной сбалансированности процессов эрозии и аккумуляции на безледном пространстве шельфа, когда приход и расход осадочного материала сопоставимы по объемам. Расчетные оценки скорости седиментации соответствуют условиям подледной седиментации при дефиците поступления вещества [Дударев и др., 2007].

Подводная периферия о-вов Новая Сибирь и Фаддеевского (в пределах картируемых листов) характеризуется дефицитом осадочного материала и доминированием эрозионных процессов либо обстановок ненакопления. Мощность современных алевро-пелитовых отложений, как правило, не превышает 10–20 см, ниже трубками вскрыты более древние плотные отложения, прошедшие субаэральную стадию развития. По периферии острова Новая Сибирь (на расстоянии до 30 км от береговой линии) происходит формирование аккумулятивных песчаных валов [Сергеев и др., 2023].

Граница области воздействия волнения на дно акватории по данным [Дударев и др., 2007] может спускаться до глубины 25 м, над которой, как правило, проходит кромка полей дрейфующих льдов. К этой области относится как приконтинентальный шельф, так и мелководье вокруг Новосибирских островов. На безледном пространстве шельфа гидродинамические процессы обеспечивают транспорт терригенного материала от побережья, размыв и переотложение осадков активного слоя. Волновая ресуспензия приводит к насыщению водной толщи взвешенным веществом и поддерживает существование придонного нефелоида. Формирование наиболее тонкодисперсных пелитовых осадков обусловлено гравитационным осаждением подо льдом, вне зоны волнового воздействия [Дударев и др., 2007].

На дне акватории восточного сектора Восточно-Сибирского моря (в пределах листов R-58–60), характеризующегося неоднородностью геологического строения областей

сноса и достаточно контрастным рельефом дна, установлено значительно большее разнообразие гранулометрических типов донных отложений и мозаичность их распределения. Основными источниками поступления осадочного материала в акваторию является абразия берегов и размыв дна, а также речной сток. Наличие в пределах приморской суши эоловых образований позволяет предположить, что эоловые процессы также вносят свой вклад в общий баланс осадочного вещества. Особенностью восточного сектора Восточно-Сибирского моря является воздействие на седиментационные процессы теплых тихоокеанских вод, поступающих через Берингов пролив, и вод атлантического происхождения, поступающих из Северного Ледовитого океана. В связи с этим выделяются зоны слабокремнистых осадков, картируемые по наличию аутигенной кремнекислоты (до 5–10 %), что является весьма высоким показателем для арктических морей.

Заключение

Таким образом, выполненные исследования позволили существенно уточнить информацию о распределении гранулометрических типов и минеральном составе поверхностных донных отложений.

Основными закономерностями осадконакопления западного сектора Восточно-Сибирского моря (к западу от палеодолины р. Колымы) является преобладание в области сноса рыхлых четвертичных отложений, интенсивная абразия и термоабразия берегов, значительное количество поступающего в бассейны седиментации песчано-алевритового и глинистого материала, равнинный и мелководный характер дна, доминирование в гидрологическом режиме ветровых течений, интенсивное переотложение тонкозернистых частиц с выносом их за пределы мелководного шельфа. Значительную роль в формировании поверхностного покрова донных осадков играют алевритовые фракции. Основным источником осадочного материала является абразия и термоабразия берегов, а также речной сток р. Индигирки и р. Колымы.

Дно акватории восточного сектора Восточно-Сибирского моря характеризуется неоднородностью геологического строения областей сноса и достаточно контрастным рельефом дна. Поверхностный осадочный

покров здесь характеризуется значительно бóльшим разнообразием гранулометрических типов донных отложений и мозаичностью их распределения. Основными источниками поступления осадочного материала в акваторию является абразия берегов и размыв дна, а также речной сток.

Результаты анализа данных ГЛБО, НСАП и многолучевого эхолотирования показали,

что существенным фактором перераспределения осадочного материала на морском дне, нарушающим закономерности механической дифференциации вещества, как на протяжении голоцена, так и в настоящее время является ледовое выпахивание, которое обычно проявляется в виде протяженных борозд шириной до 100 м. Глубина борозд достигает 3 м, хотя обычно не превышает 1–1,5 м.

Список литературы

1. Аксенов А.А., Дунаев Н.А. Арктический шельф в позднечетвертичное время. Москва: Наука; 1987.
2. Аксентов К.И., Иванов М.В., Ярощук Е.И., Чаркин А.Н., Саттарова В.В., Алаторцев А.В., Ким Д.В., Зарубина Н.В., Старцев А.В. Первые данные о содержании ртути и формах ее нахождения в железомарганцевых и железистых образованиях Чаунской губы. Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023;513(2):183–188. <http://doi.org/10.31857/S2686739723601382>
3. Аникиев В.В., Дударев О.В., Колесов Г.М., Боцул А.И., Сапожников Д.Ю. Распределение и седиментационные потоки химических элементов в системе взвесь-донные осадки для эстуария р. Анадырь-Берингово море. Геохимия. 1997;35(3):320–330.
4. Астахов А.С., Семилетов И.П., Саттарова В.В., Ши С. (Shi Xuefa), Ху Л. (Hu Limin), Аксентов К.И., Василенко Ю.П., Иванов М.В. Редкоземельные элементы донных осадков восточно-арктических морей России как индикаторы терригенного сноса. Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2018;482(4):451–455. <http://doi.org/10.31857/S086956520003043-0>
5. Буданов Л.М., Сергеев А.Ю., Жамойда В.А., Рябчук Д.В., Неевин И.А., Носевич Е.С., и др. Новые данные по сейсмостратиграфии и палеографическому развитию Восточно-Сибирского моря (листы R-57–60). Региональная геология и металлогения. 2022;(92):5–27.
6. Ветров А.А., Семилетов И.П., Дударев О.В., Пересыпкин В.И., Чаркин А.Н. Исследование состава и генезиса органического вещества донных осадков Восточно-Сибирского моря. Геохимия. 2008;(2):183–195.
7. Приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 29 мая 2007 года N 138 «Об утверждении формы государственного водного реестра» [интернет]. Режим доступа: https://www.mnr.gov.ru/docs/metodicheskie_dokumenty/pravovye_akty_v_razvitie_vodnogo_kodeksa/prikazy_mpr_rossii/2193/?sphrase_id=716097
8. Дударев О.В., Семилетов И.П., Можеровский А.В., Чаркин А.Н., Уткин И.В. Новые данные о распределении глинистых минералов в донных осадках шельфа Восточно-Сибирского моря. В: Полезные ископаемые континентальных шельфов; Континентальные шельфы во время последнего гляциального цикла. Тезисы докладов, Санкт-Петербург, 30 мая — 03 июня 2005 г. Санкт-Петербург: Всероссийский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана (ВНИИОкеангеология); 2005, с. 121–122.
9. Дударев О.В., Боцул А.И., Семилетов И.П., Чаркин А.Н. Современное осадкообразование в прибрежно-шельфовой криолитозоне пролива Дмитрия Лаптева (Восточно-Сибирское море). Тихоокеанская геология. 2003;22(1):51–60.
10. Дударев О.В., Чаркин А.Н., Семилетов И.П., Боцул А.И., Космач Д.А. Современное осадкообразование на приконтинентальном шельфе Восточно-Сибирского моря. В: Дальневосточные моря России. Кн. 2: Исследования морских экосистем и биоресурсов. Москва: Наука; 2007, с. 382–391.
11. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (новая серия). Лист R-(55)-57 — Нижнеколымск. Объяснительная записка. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ; 2000.

12. Григорьев М.Н., Разумов С.О., Куницкий В.В., Спектор В.Б. Динамика берегов восточных Арктических морей России: основные факторы, закономерности и тенденции. Криосфера Земли. 2006;10(4):74–94.
13. Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. М.: Изд-во МГУ; 1982.
14. Ионин А.С., Медведев В.С., Павлидис Ю.А. Шельф: рельеф, осадки и их формирование. Москва: Мысль; 1987.
15. Климатологический справочник Советской Арктики. Ч. 2. Ленинград: Морской транспорт; 1961.
16. Кошелева В.А., Яшин Д.С. Донные осадки Арктических морей России. СПб.: ВНИИ-Океангеология; 1999.
17. Маслов А.В., Шевченко В.П. Систематика редких земель и Th во взвеси и донных осадках устьевых зон разных категорий/классов рек мира и ряда крупных рек Российской Арктики. Геохимия. 2019;64(1):59–78. <https://doi.org/10.31857/soo16-7525201959-78>
18. Николаева Н.А., Деркачев А.Н. К минералогии осадков восточной части моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря. В: Геология морей и океанов. Материалы XIX Междунар. науч. конф. (школы) по морской геологии, Москва, 14–18 нояб. 2011 г. Т. 2. Москва: ГЕОС; 2011, с. 260–264.
19. Николаева Н.А., Деркачев А.Н., Дударев О.В. Особенности минерального состава осадков шельфа восточной части моря Лаптевых и Восточно-Сибирского. Океанология. 2013;53(4):529–538. <http://doi.org/10.7868/soo30157413040084>
20. Огородов С.А. Рельефообразующая роль морских льдов [диссертация]. Москва; 2014.
21. Павлидис Ю.А., Леонтьев И.О. Прогноз развития береговой зоны Восточно-Сибирского моря при повышении уровня и потепления климат. Вестник РФФИ. 2000;(1):31–39.
22. Павлидис Ю.А., Щербаков Ф.А. Современные донные осадки арктических морей. Океанология. 2000;40(1):137–147.
23. Петров О.В., Рябчук Д.В., Сергеев А.Ю., Буданов Л.М., Жамойда В.А., Неевин И.А., и др. Новые данные о геологическом строении и палеогеографическом развитии Восточно-Сибирского моря в квартере. Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023;513(1):5–16. <https://doi.org/10.31857/S2686739723600741>
24. Сергеев А.Ю., Рябчук Д.В., Жамойда В.А., Буданов Л.М., Ковалева О.А., Неевин И.А., Токарев М.Ю., Баширова Л.Д., Пономаренко Е.П. Морфология и генезис подводных валов и гряд Восточно-Сибирского моря. Геоморфология и палеогеография. 2023;54(3):26–38. <https://doi.org/10.31857/S294917892303009X>
25. Совершаев В.А. Берегоформирующие факторы и районирование берегов морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского по динамическому принципу [диссертация]. Москва; 1980.
26. Соломатин В.И. Строение и генезис полигонально-жильного льда в плейстоценовых отложениях северной Якутии. В: Проблемы криолитологии. Вып. 4. Москва: Изд-во МГУ; 1974, с. 7–99.
27. Томирдиаро С.В. Голоценовое термоабразионное формирование шельфа Восточно-Арктических морей СССР. Доклады АН СССР. 1974;219(1):179–182.
28. Труш Н.И., Нистратова Т.А. Состав и свойства аласных отложений Яно-Индибирского междуречья. В: Мерзлотные исследования. Вып. 15. Москва: Изд-во МГУ; 1974, с. 43–55.
29. Яшин Д.С. Голоценовый седиментогенез Арктических морей России. В: Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. Вып. 3. СПб.: ВНИИ-Океангеология; 2000, с. 57–67.
30. Dong J., Shi X., Gong X., Astakhov A.S., Hu L., Liu X., Yang G., et al. Enhanced Arctic sea ice melting controlled by larger heat discharge by mid-Holocene rivers. Nature Communications. 2022;13:5368. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33106-1>
31. Dudarev O., Charkin A., Shakhova N., Ruban A., Chernykh D., Vonk J., et al. East Siberian Sea: Interannual heterogeneity of the suspended particulate matter and its biogeochemical signature. Progress in Oceanology. 2022;208:102903 <https://doi.org/10.1016/j.poccean.2022.102903>
32. Astakhov A.S., Sattarova V.V., Xuefa Sh., Limin H., Aksentov K.I., Alatortsev A.V., Kolesnik O.N., Mariash A.A. Distribution and sources of rare earth elements in sediments of the Chukchi and East Siberian Seas. Polar Science. 2019;20(2):148–159. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2019.05.005>

33. Rachold V. Major, Trace and Rare Earth Element Geochemistry of Suspended Particulate Material of East Siberian Rivers Draining to the Arctic Ocean. In: Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic. Springer-Verlag; 1999, p. 199–222. https://doi.org/10.1007/978-3-642-60134-7_20
34. Ryabchuk D.V., Taldenkov E.E., Sergeev A.Yu., Zhamoida V.A., Budanov L.M., Prishchepenko D.V., et al. Sedimentation Processes and the Holocene Evolution of the Indigirka Paleovalley (Coastal Shelf Area of the East Siberian Sea). *Oceanology*. 2023;63:S215–S227. <https://doi.org/10.1134/S0001437023070160>
35. Sattarova V., Liu Y., Astakhov A., Polyakov D., Aksentov K., Alatortsev A., Shi X., Hu L., Kolesnik O. Geochemistry of the Laptev and East Siberian seas sediments with emphasis on rare-earth elements: Application for sediment sources and paleoceanography. *Continental Shelf Research*. 2023;254:104907. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2022.104907>
36. Wilson M.F.J., O'Connell B., Brown C., Guinan J.C., Grehan A.J., Multiscale Terrain Analysis of Multibeam Bathymetry Data for Habitat Mapping on the Continental Slope. *Marine Geodesy*. 2007;30(1-2):3–35. <https://doi.org/10.1080/01490410701295962>

References

1. Aksenov A.A., Dunaev N.A. Arctic Shelf during Late Quaternary time. Moscow: Nauka Publ.; 1987. (In Russ.).
2. Aksentov K.I., Ivanov M.V., Yaroshuk E.I., Charkin A.N., Sattarova V.V., Alatortsev A.V., Kim D.V., Zarubina N.V., Startsev A.V. The First Data on the Mercury Content and Its Forms in the Ferromanganese and Ferruginous Formations of Chaun Bay. *Doklady Earth Sciences*. 2023;513:1301–1305. <https://doi.org/10.1134/s1028334x23602183>
3. Anikiev V.V., Dudarev O.V., Botsul A.I., Kolesov G.M., Sapozhnikov D.Yu. Distribution and sedimentation fluxes of chemical elements in the particulate matter-bottom sediments system at the transition from the Anadyr river estuary to the Bering Sea. *Geochemistry International*. 1997;35(3):274–283.
4. Astakhov A., Semiletov I., Sattarova V., Xuefa S., Limin H., Aksentov K.I., Vasilenko Yu.P., Ivanov M.V. Rare Earth Elements in the Bottom Sediments of the East Arctic Seas of Russia as Indicators of Terrigenous Input. *Doklady Earth Sciences*. 2018;482:1324–1327. <https://doi.org/10.1134/s1028334x18100021>
5. Budanov L.M., Sergeev A.Y., Zhamoida V.A., Ryabchuk D.V., Neevin I.A., Nosevich E.S., et al. New data on seismic stratigraphy and palaeogeography of the East-Siberian Sea. *Regional Geology and Metallogeny*. 2022;(92):5–27. (In Russ.). http://doi.org/10.52349/0869-7892_2022_92_5-27
6. Vetrov A.A., Semiletov I.P., Dudarev O.V., Peresypkin V.I., Charkin A.N. Composition and genesis of the organic matter in the bottom sediments of the East Siberian Sea. *Geochemistry International*. 2008;46(2):156–167. <https://doi.org/10.1134/s0016702908020055>
7. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated May 29, 2007 N 138 “On approval of the form of the state water register” [internet]. Available at: https://www.mnr.gov.ru/docs/metodicheskie_dokumenty/pravovye_akty_v_razvitie_vodnogo_kodeksa/prikazy_mpr_rossii/2193/?sphrase_id=716097. (In Russ.).
8. Dudarev O.V., Semiletov I.P., Mozherovskii A.V., Charkin A.N., Utkin I.V. New data on clay minerals' distribution in the bottom sediments of East Siberian shelf. In: Mineral resources of Continental Shelf. Abstract volume, 30 May– 3 June, Saint-Petersburg: VNIIOkeangeologia; 2005, p. 121–122. (In Russ.).
9. Dudarev O.V., Botsul A.I., Semiletov I.P., Charkin A.N. Modern sedimentation within the near-coastal shelf cryolitic zone of the Dmitriy Laptev Strait of the East Siberian Sea. *Tikhookeanskaya Geologiya*. 2003;22(1):51–60. (In Russ.).
10. Dudarev O.V., Charkin A.N., Semiletov I.P., Botsul A.I., Kosmach D.A. Recent sedimentation processes of the continental shelf of the East Siberian Sea. In: Far Eastern Seas of Russia. Vol. 2. Investigation of marine ecosystems and bio resources. Moscow: Nauka Publ.; 2007, p. 382–391. (In Russ.).
11. State geological map of Russian Federation. Scale 1:1000000 (New Series). Sheet R-(55)-57 — Nizhnekolymsk. Explanatory Notes. Saint-Petersburg: Russian Geological Research Institute (VSEGEI); 2000. (In Russ.).
12. Grigoriev M.N., Razumov S.O., Kunitzkiy V.V., Spektor V.B. Dynamics of the Russian east Arctic Sea coast: Major factors, regularities and tendencies. *Earth's Cryosphere*. 2006;10(4):74–94. (In Russ.).

13. Dobrovolskii A.D., Zalogin B.S. Seas of USSR. Moscow: Moscow State University Publishing House; 1982. (In Russ.).
14. Ionin A.S., Medvedev V.S., Pavlidis Yu.A. Shelf: relief, sediments and their formation. Moscow: Mysl' Publ.; 1987. (In Russ.).
15. Climatological reference book of the Soviet Arctic. Part. 2. Leningrad: Morskoi transport Publ.; 1961. (In Russ.).
16. Kosheleva V.A., Yashin D.S. The bottom sediments of the Russia Arctic Seas. Saint-Petersburg: VNIIOkeangeologia; 1999. (In Russ.).
17. Maslov A. V., Shevchenko V. P. REE-Th systematics of the suspended particulate matter and bottom sediments from the mouth zones of the world rivers of different categories/classes and some large Russian Arctic rivers. *Geochemistry International*. 2019;64(1):56–73. <https://doi.org/10.1134/s0016702919010075>
18. Nikolaeva N.A., Derkachev A.N. To the sediment mineralogy of the eastern Laptev and the East Siberian Seas. *Geology of seas and oceans. Materials of XIX International Conference (School) on Marine Geology, Moscow, 14–18 November, 2011. Vol. 2.* Moscow: GEOS Publ.; 2011, p. 260–264. (In Russ.).
19. Nikolaeva N.A., Derkachev A.N., Dudarev O.V. Features of Mineral Composition of Deposits from the Shelf of East Part of the Laptev Sea and the East-Siberian Sea. *Oceanology*. 2013;53(4):529–38. (In Russ.). <http://doi.org/10.7868/s0030157413040084>
20. Ogorodov S.A. Relief-forming role of marine ice. Dissertation. Moscow; 2014. (In Russ.).
21. Pavlidis Yu.A., Leont'ev I.O. Forecast of the coastal zone development of the East Siberian sea with sea level rise and climate warming. *Russian Foundation for Basic Research Journal*. 2000;(1):31–39. (In Russ.).
22. Pavlidis Yu.A., Shcherbakov F.A. Recent bottom sediments of the Arctic seas. *Oceanology*. 2000;40(1):137–147. (In Russ.).
23. Petrov OV, Ryabchuk DV, Sergeev AYU, Budanov LM, Zhamoida VA, Neevin IA, et al. New Data on Geology and Paleogeographical Evolution of the Southern East Siberian Sea in the Quaternary. *Doklady Earth Sciences*. 2023;513:1085–1095. <https://doi.org/10.1134/s1028334x23601657>
24. Sergeev A.Yu., Ryabchuk D.V., Zhamoida V.A., Budanov L.M., Kovaleva O.A., Neevin I.A., Tokarev M.Yu., Bashirova L.D., Ponomarenko E.P. Morphology and genesis of underwater bars and ridges of the East-Siberian Sea. *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. 2023;(3):26–38. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S294917892303009X>
25. Sovershaev V.A. Coast-forming factors and ranging of the coasts of Laptev, East Siberian and Chukchi Seas according to dynamic principle. Moscow; 1980. (In Russ.).
26. Solomatin V.I. Structure and genesis of polygonal wedge ice in Pleistocene deposits of the Northern Yakutiya. In: *Problems of cryolithology. Iss. 4.* Moscow: Moscow State University Publishing House; 1974, p. 7–99. (In Russ.).
27. Tomirdiario S.V. Forming of East Arctic shelf of USSR Seas in Holocene as a result of thermal abrasion. *Doklady AN SSSR*. 1974;219(1):179–182. (In Russ.).
28. Trush N.I., Nistratova T.A. Structure and properties of alas deposits of Yano-Indigirka lowland. In *Permafrost research. Iss. 15.* Moscow: Moscow State University Publishing House; 1974, p. 43–55. (In Russ.).
29. Yashin D.S. Golotsenovi sedimentogenez Arkticheskikh morei Rossii. In: *Geologo-geofizicheskie kharakteristiki litosfery Arkticheskogo regiona. Iss. 3.* Saint-Petersburg: VNIIOkeangeologia; 2000, p. 57–67. (In Russ.).
30. Dong J., Shi X., Gong X., Astakhov A.S., Hu L., Liu X., Yang G., et al. Enhanced Arctic sea ice melting controlled by larger heat discharge by mid-Holocene rivers. *Nature Communications*. 2022;13:5368. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33106-1>
31. Dudarev O., Charkin A., Shakhova N., Ruban A., Chernykh D., Vonk J., et al. East Siberian Sea: Interannual heterogeneity of the suspended particulate matter and its biogeochemical signature. *Progress in Oceanology*. 2022;208:102903 <https://doi.org/10.1016/j.pcean.2022.102903>
32. Astakhov A.S., Sattarova V.V., Xuefa Sh., Limin H., Aksentov K.I., Alatorstev A.V., Kolesnik O.N., Mariash A.A. Distribution and sources of rare earth elements in sediments of the Chukchi and East Siberian Seas. *Polar Science*. 2019;20(2):148–159. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2019.05.005>

33. Rachold V. Major, Trace and Rare Earth Element Geochemistry of Suspended Particulate Material of East Siberian Rivers Draining to the Arctic Ocean. In: Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic. Springer-Verlag; 1999, p. 199–222. https://doi.org/10.1007/978-3-642-60134-7_20
34. Ryabchuk D.V., Taldenkov E.E., Sergeev A.Yu., Zhamoida V.A., Budanov L.M., Prishchepenko D.V., et al. Sedimentation Processes and the Holocene Evolution of the Indigirka Paleovalley (Coastal Shelf Area of the East Siberian Sea). *Oceanology*. 2023;63:S215–S227. <https://doi.org/10.1134/S0001437023070160>
35. Sattarova V., Liu Y., Astakhov A., Polyakov D., Aksentov K., Alatorstev A., Shi X., Hu L., Kolesnik O. Geochemistry of the Laptev and East Siberian seas sediments with emphasis on rare-earth elements: Application for sediment sources and paleoceanography. *Continental Shelf Research*. 2023;254:104907. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2022.104907>
36. Wilson M.F.J., O'Connell B., Brown C., Guinan J.C., Grehan A.J., Multiscale Terrain Analysis of Multibeam Bathymetry Data for Habitat Mapping on the Continental Slope. *Marine Geodesy*. 2007;30(1-2):3–35. <https://doi.org/10.1080/01490410701295962>

Сведения об авторах

Рябчук Дарья Владимировна

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского»
199106, Санкт-Петербург, Средний пр., 74
WoS Researcher ID: K-7372-2012
Scopus Author ID: 23478132400
ORCID: 0000-0003-2266-8688
SPIN-код: 6655-6905
Author ID: 155952
тел.: +7 (921) 789-33-67
[e-mail: Daria_Ryabchuk@mail.ru](mailto:Daria_Ryabchuk@mail.ru)

Ковалева Ольга Анатольевна

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского»
199106, Санкт-Петербург, Средний пр., 74
SPIN-код: 8278-1361
AuthorID: 746529
тел.: +7 (981) 681-25-51
[e-mail: Olga_Kovaleva@karpinskyinstitute.ru](mailto:Olga_Kovaleva@karpinskyinstitute.ru)

Сергеев Александр Юрьевич

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского»
199106, Санкт-Петербург, Средний пр., 74
SPIN-код: 3522-5253
AuthorID: 881607
тел.: +7 (981) 120-08-04
[e-mail: sergeevau@yandex.ru](mailto:sergeevau@yandex.ru)

Жамойда Владимир Александрович

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского»
199106, Санкт-Петербург, Средний пр., 74
SPIN-код: 5437-8545
Author ID: 155951
тел.: +7 (921) 923-90-33
[e-mail: vladimir_zhamoida@vsegei.ru](mailto:vladimir_zhamoida@vsegei.ru)

Information about the authors

Daria V. Ryabchuk

Karpinsky Russian Geological Research Institute,
Saint Petersburg, Russia
199106, Saint Petersburg, Sredny pr., 74
WoS Researcher ID: K-7372-2012
Scopus Author ID: 23478132400
ORCID: 0000-0003-2266-8688
SPIN-code: 6655-6905
Author ID: 155952
tel.: +7 (921) 789-33-67
[e-mail: Daria_Ryabchuk@mail.ru](mailto:Daria_Ryabchuk@mail.ru)

Olga A. Kovaleva

Karpinsky Russian Geological Research Institute,
Saint Petersburg, Russia
199106, Saint Petersburg, Sredny pr., 74
SPIN-code: 8278-1361
Author ID: 746529
tel.: +7 (981) 681-25-51
[e-mail: Olga_Kovaleva@karpinskyinstitute.ru](mailto:Olga_Kovaleva@karpinskyinstitute.ru)

Alexander Yu. Sergeev

Karpinsky Russian Geological Research Institute,
Saint Petersburg, Russia
199106, Saint Petersburg, Sredny pr., 74
SPIN-code: 3522-5253
Author ID: 881607
tel.: +7 (981) 120-08-04
[e-mail: sergeevau@yandex.ru](mailto:sergeevau@yandex.ru)

Vladimir A. Zhamoida

Karpinsky Russian Geological Research Institute,
Saint Petersburg, Russia
199106, Saint Petersburg, Sredny pr., 74
SPIN-code: 5437-8545
Author ID: 155951
tel.: +7 (921) 923-90-33
[e-mail: vladimir_zhamoida@vsegei.ru](mailto:vladimir_zhamoida@vsegei.ru)

Григорьев Андрей Глебович

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского»
199106, Санкт-Петербург, Средний пр., 74
AuthorID: 303381
тел.: +7 (951) 651-38-25
e-mail: Andrey_Grigiryev@karpinskyinstitute.ru

Буданов Леонид Михайлович

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского»
199106, Санкт-Петербург, Средний пр., 74
SPIN-код: 1026-3007
AuthorID: 918305
тел.: + 7 (921) 961-30-77
e-mail: Leonid_Budanov@karpinskyinstitute.ru

Нестерова Елена Николаевна

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского»
199106, Санкт-Петербург, Средний пр., 74
Author ID: 150388
тел.: +7 (931) 360-89-65
e-mail: Elena_Nesterova@karpinskyinstitute.ru

Невин Игорь Александрович

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского»
199106, Санкт-Петербург, Средний пр., 74
SPIN-код: 9345-5593
Author ID: 1068477
тел.: +7 (911) 951-47-37
e-mail: Igor_Neevin@karpinskyinstitute.ru

Дронь Олег Владимирович

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского»
199106, Санкт-Петербург, Средний пр., 74
SPIN-код: 9036-5900
Author ID: 839275
тел.: +7 (911) 226-78-39
e-mail: Oleg_Dron@karpinskyinstitute.ru

Andrey G. Grigoriev

Karpinsky Russian Geological Research Institute,
Saint Petersburg, Russia
199106, Saint Petersburg, Sredny pr., 74
AuthorID: 303381
tel.: +7 (951) 651-38-25
e-mail: Andrey_Grigiryev@karpinskyinstitute.ru

Leonid M. Budanov

Karpinsky Russian Geological Research Institute,
Saint Petersburg, Russia
199106, Saint Petersburg, Sredny pr., 74
SPIN-code: 1026-3007
AuthorID: 918305
tel.: + 7 (921) 961-30-77
e-mail: Leonid_Budanov@karpinskyinstitute.ru

Elena N. Nesterova

Karpinsky Russian Geological Research Institute,
Saint Petersburg Russia
199106, Saint Petersburg, Sredny pr., 74
Author ID: 150388
tel.: +7 (931) 360-89-65
e-mail: Elena_Nesterova@karpinskyinstitute.ru

Igor A. Neevin

Karpinsky Russian Geological Research Institute,
Saint Petersburg, Russia
199106, Saint Petersburg, Sredny pr., 74
SPIN-code: 9345-5593
Author ID: 1068477
tel.: +7 (911) 951-47-37
e-mail: Igor_Neevin@karpinskyinstitute.ru

Oleg V. Dron'

Karpinsky Russian Geological Research Institute,
Saint Petersburg, Russia
199106, Saint Petersburg, Sredny pr., 74
SPIN-code: 9036-5900
Author ID: 839275
tel.: +7 (911) 226-78-39
e-mail: Oleg_Dron@karpinskyinstitute.ru

Вклад авторов

Рябчук Д.В. — обработка и анализ материала, построение литологической карты, написание текста статьи;
Ковалева О.А. — обработка и анализ материала, построение литологической карты;
Сергеев А.Ю. — построение батиметрической модели, анализ материала;
Жамойда В.А. — написание разделов статьи;
Григорьев А.Г. — обработка и анализ данных геохимического анализа, написание разделов статьи;

Authors' contributions

Daria V. Ryabchuk — processing and analysis of the material, construction of a lithological map, writing the text of the article;
Olga A. Kovaleva — processing and analysis of the material, construction of a lithological map;
Alexander Yu. Sergeev — construction of a bathymetric model, analysis of the material;
Vladimir A. Zhamoida — writing sections of the article;
Andrey G. Grigoriev — processing and analysis of geochemical analysis data, writing sections of the article;

Буданов Л.М. — обработка и интерпретация геофизических данных, написание текста статьи;
Нестерова Е.Н. — выполнение гранулометрического анализа, редакция статьи;
Неевин И.А. — обработка и анализ данных;
Дронь О.В. — анализ данных о ледовом воздействии, построение схем.

Leonid M. Budanov — processing and interpretation of geophysical data, writing the text of the article;
Elena N. Nesterova — performing granulometric analysis, editing the article;
Igor A. Neevin — data processing and analysis;
Oleg V. Dron' — analysis of ice impact data, construction of diagrams.

Благодарности

Работа выполнена в рамках Государственного задания Института им. Карпинского по Государственному геологическому картированию масштаба 1:1 000 000. Авторы благодарны капитанам и экипажам НИС «Иван Киреев» и «Капитан Воронин», коллегам, принимавшим участие в полевых работах: А.А. Московцеву, А.В. Чекулаеву, Е.С. Носевич, Ф.А. Леонтьеву, В.И. Хорикову. В оформлении картографических материалов принимала участие Е.А. Бодрякова.

Acknowledgements

The work was performed within the framework of the State assignment of the Karpinsky Institute for State geological Mapping on a scale of 1:1,000,000. The authors are grateful to the captains and crews of the NIS "Ivan Kireev" and "Captain Voronin", colleagues who participated in field work: A.A. Moskovtsev, A.V. Chekulaev, E.S. Nosevich, F.A. Leontiev, V.I. Khorikov. E.A. Bodryakova took part in the design of cartographic materials.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 51.510

ББК 28.08.3

<https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-62-67>



Оценка рефлекторных рисков для населения Мурманской области при ингаляционном воздействии вредных веществ

Фрумин Г.Т.

ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена», Санкт-Петербург, Россия

✉ gfrumin@mail.ru

Аннотация. Цель исследования — оценка индивидуальных рисков немедленных (рефлекторных) эффектов для населения семи городов Мурманской области при ингаляционном воздействии оксида азота и диоксидов азота и серы в октябре, ноябре и декабре 2021 года. Рассмотренные химические соединения относятся к третьему классу опасности. Для расчетов использованы математические модели, связывающие величины пробитов с фактическими концентрациями загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и их предельно допустимыми максимально разовыми концентрациями. Для перевода пробитов в риски использована таблица нормального вероятностного распределения. Рассчитанные величины рисков сопоставлены с приемлемыми значениями максимальных рисков немедленного действия. Установлено, что приемлемое значение (0,02–0,05) превышено в городе Ковдоре по оксиду и диоксиду азота в ноябре и декабре. В городе Мончегорске приемлемое значение превышено по диоксиду серы в ноябре.

Ключевые слова: рефлекторный риск, ингаляция, оксид азота, диоксид азота, диоксид серы, Мурманская область

Конфликт интересов: автор сообщает об отсутствии конфликта интересов

Для цитирования: Фрумин Г.Т. Оценка рефлекторных рисков для населения Мурманской области при ингаляционном воздействии вредных веществ. *Арктика и инновации*. 2024;2(2):62–67. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-62-67>

Assessment of reflex risks of inhalation exposure to harmful substances among the Murmansk oblast population

Grigory T. Frumin

Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, Russia

✉ gfrumin@mail.ru

Abstract. This study aimed to assess the individual risks of immediate (reflex) effects of inhalation exposure to nitrogen oxide and nitrogen and sulfur dioxides among the population of the Murmansk Oblast. The study was conducted in seven cities and covered the period of October, November, and December 2021. The considered chemical compounds belong to the third hazard class. Calculations were carried out using mathematical models, linking the penetration values with the actual concentrations of pollutants

in the atmospheric air and their maximum permissible one-time concentrations. A table of normal probability distribution was used to convert probits into risks. The calculated risk values were compared with the acceptable values of the maximum risks of immediate action. The acceptable value of nitrogen oxide and dioxide (0.02–0.05) was found to be exceeded in the city of Kovdor in November and December. In the city of Monchegorsk, the acceptable value of sulfur dioxide was exceeded in November.

Keywords: reflex risk, inhalation, nitric oxide, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, Murmansk Oblast

Conflict of interests: the author declares no conflict of interest.

For citation: Frumin G.T. Assessment of reflex risks of inhalation exposure to harmful substances among the Murmansk oblast population. *Arctic and Innovations*. 2024;2(2):62–67. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-62-67>

Введение

В середине 1980-х гг. появилась новая социологическая теория современного общества, автором которой является немецкий ученый Ульрих Бек. Согласно этой теории в последней трети XX века человечество вступило в новую фазу своего развития, которую можно назвать обществом риска. Общество риска — это постиндустриальная формация, которая коренным образом отличается от индустриального общества. Главное отличие состоит в том, что если для индустриального общества характерно распределение благ, то для общества риска — распределение опасностей и обусловленных ими рисков. Так, если эволюция индустриального общества сопровождалась появлением все новых и новых факторов, улучшающих жизнь людей (прогресс в медицине и фармакологии, развитие транспорта и средств связи, автоматизация производственных процессов, рост урожайности сельскохозяйственных культур и т.п.), то в обществе риска складывается иная ситуация: по мере его развития появляется все больше плохого, и это плохое распределяется между людьми. Примеры: сокращение биологического разнообразия, загрязнение воздуха, воды и почвы химикатами, постоянный рост числа поступающих в среду обитания ксенобиотиков, истощение озонового слоя, тенденция к изменению климата. Иными словами, в индустриальном обществе производились и распределялись главным образом положительные достижения, а в обществе риска, которое стремительно «врастает» в индустриальное общество, накапливаются и распределяются между его членами негативные последствия развития.

Оценка риска своему здоровью является естественной поведенческой реакцией человека и сопровождается с первых дней жизни и до смерти. На оценке риска здоровью

базируется вся система информационной связи человека с окружающим его миром. Такие привычные для нас понятия, как «опасность», «угроза», связаны прежде всего с информацией о риске здоровью [1, 2].

Важнейшая особенность науки о риске — ее междисциплинарный характер при теснейшем взаимодействии естественных и гуманитарных наук. Оценку опасности и риска применения вещества проводят в процессе сопоставления информации о его дозе воздействия (экспозиции) и биологическом (токсическом) действии. Качественно риск характеризуют через природу неблагоприятных последствий, а количественно — через вероятность их возникновения.

Оценка риска — это вид экспертных работ, направленных на определение числа людей, способных проявить негативные реакции на воздействие конкретного неблагоприятного фактора, действующего с определенной силой и в заданный промежуток времени. Не менее важно, что оценка риска сориентирована на конкретный «управляемый» (известный и измеряемый) фактор среды, а не на всю заболеваемость населения в целом. Это делает деятельность органов госнадзора и здравоохранения целенаправленной [3, 4].

При упрощенном подходе заболеваемость рассматривается как функция риска в соответствии со следующим уравнением:

$$\text{Заболеваемость} = a + b \times \text{Risk}, \quad (1)$$

где *Risk* — потенциальный риск здоровью, *a* — фоновый уровень заболеваемости, то есть тот, который не зависит от загрязнения окружающей среды, *b* — коэффициент пропорции роста заболеваемости в зависимости от уровня потенциального риска.

Более пятидесяти лет назад создатель ге-лиобиологической науки А.Л. Чижевский написал следующее: «Мы уделяем больше внимания тому, что мы едим и пьем, однако мы поразительно мало внимания уделяем воздуху, которым дышим» [5]. Эти слова не потеряли своего значения и в настоящее время.

Практика определения потенциальных эффектов неблагоприятного воздействия, связанных с загрязнением атмосферного воздуха, предполагает расчет следующих типов риска:

- риска немедленных эффектов, проявляющегося непосредственно в момент воздействия (неприятные запахи, раздражающие эффекты, различные физиологические реакции, обострение хронических заболеваний и пр., а при значительных концентрациях — острые отравления);
- риска длительного (хронического) воздействия, проявляющегося при накоплении достаточной для этого дозы в росте неспецифической патологии, снижении иммунного статуса и т.д.;
- риска специфического действия, проявляющегося в возникновении специфических заболеваний или канцерогенных, иммунных, эмбриотоксических и других подобных эффектов.

Материалы и методы исследования

В соответствии с российским законодательством анализ экологической безопасности необходимо строить на основе концепции приемлемого риска (табл. 1).

Таблица 1. Уровни приемлемого риска

Table 1. Acceptable risk levels

Вид риска / Type of risk	Приемлемое значение / Acceptable value
Максимальный риск немедленного действия	0,02–0,05
Хронический (неканцерогенный риск)	0,02 (или 20 дополнительных случаев на 1000 человек)
Канцерогенный риск	1×10^{-5} – 1×10^{-6} (или от 10 до 1 дополнительного случая на 1 млн человек)

Максимальный риск немедленного действия выражается в вероятности ощущения населением неприятных запахов или развития иных рефлекторных реакций (слезотечение, кашель), дискомфортных состояний, головной боли и пр., что создает основной поток жалоб населения.

Риск немедленных эффектов проявляется непосредственно в момент воздействия (неприятные запахи, раздражающие эффекты, различные физиологические реакции, обострение хронических заболеваний, а при значительных концентрациях — острые отравления). Вещества, вызывающие рефлекторное действие: оксид азота (NO), диоксид азота (NO₂), аммиак (NH₃), фтористый водород (HF), диоксид серы (SO₂), сероуглерод (CS₂), фенол (C₆H₅OH), муравьиный альдегид (H×COH).

В РФ все вредные вещества по степени опасности разделены на 4 класса: I — чрезвычайно опасные; II — высокоопасные; III — умеренно опасные; IV — малоопасные.

Оксид азота, диоксид азота и диоксид серы — вещества III класса опасности.

Для оценки риска (вероятности) немедленных (рефлекторных) эффектов при ингаляционном воздействии вредных веществ использованы математические модели, приведенные в таблице 2. По этим моделям рассчитаны пробиты (*Prob*), которым соответствуют величины рисков (*Risk*), представленные в таблице 3 [6, 7]. В таблице 2 ПДК_{М,Р} — максимальная разовая ПДК. ПДК_{М,Р} = 0,2 мг/дм³ (NO₂), ПДК_{М,Р} = 0,4 мг/дм³ (NO), ПДК_{М,Р} = 0,5 мг/дм³ (SO₂).

Таблица 2. Вероятность токсического воздействия вещества при оценке кратности превышения ПДК_{М,Р} в соответствии с классом опасности

Table 2. Probability of toxic effects of a substance when assessing the multiple exceedance of MP_{CR} in accordance with the hazard class

Класс опасности / Hazard Class	Уравнение / Equation
I	$Prob = -9,15 + 11,66 \lg(C/ПДК_{М,Р})$
II	$Prob = -5,51 + 7,49 \lg(C/ПДК_{М,Р})$
III	$Prob = -2,35 + 3,73 \lg(C/ПДК_{М,Р})$
IV	$Prob = -1,41 + 2,33 \lg(C/ПДК_{М,Р})$

Таблица 3. Соотношение между пробитами и рисками
Table 3. Relationship between probits and risks

Prob	Risk	Prob	Risk	Prob	Risk	Prob	Risk
-3,0	0,001	-1,1	0,136	0,0	0,500	1,1	0,864
-2,5	0,006	-1,0	0,157	0,1	0,540	1,2	0,885
-2,0	0,023	-0,9	0,184	0,2	0,579	1,3	0,903
-1,9	0,029	-0,8	0,212	0,3	0,618	1,4	0,919
-1,8	0,036	-0,7	0,242	0,4	0,655	1,5	0,933
-1,7	0,045	-0,6	0,274	0,5	0,692	1,6	0,945
-1,6	0,055	-0,5	0,309	0,6	0,726	1,7	0,955
-1,5	0,067	-0,4	0,345	0,7	0,758	1,8	0,964
-1,4	0,081	-0,3	0,382	0,8	0,788	1,9	0,971
-1,3	0,097	-0,2	0,421	0,9	0,816	2,0	0,977
-1,2	0,115	-0,1	0,460	1,0	0,841	2,5	0,994
						3,0	0,999

Таблица 4. Максимальные разовые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городов Мурманской области (С, мг/м³)
Table 4. Maximum one-time concentrations of pollutants in the atmospheric air of cities in the Murmansk Oblast (C, mg/m³)

Вещество / Substance	Октябрь / October	Ноябрь / November	Декабрь / December
г. Мурманск			
Оксид азота	0,359	0,455	0,441
Диоксид азота	0,111	0,138	0,089
Диоксид серы	0,097	0,194	0,186
г. Заполярный			
Оксид азота	0,057	0,172	0,084
Диоксид азота	0,048	0,060	0,054
Диоксид серы	0,009	0,089	0,016
г. Кандалакша			
Оксид азота	0,219	0,424	0,094
Диоксид азота	0,041	0,067	0,067
Диоксид серы	0,003	0,131	0,047
г. Ковдор			
Оксид азота	0,169	0,945	0,885
Диоксид азота	0,071	0,362	0,491
Диоксид серы	0,003	0,042	0,018
г. Североморск			
Оксид азота	0,450	0,255	0,126
Диоксид азота	0,056	0,054	0,043
Диоксид серы	0,011	0,063	0,020
г. Кола			
Оксид азота	0,159	0,187	0,072
Диоксид азота	0,074	0,067	0,048
Диоксид серы	-	0,095	0,079
г. Мончегорск			
Диоксид серы	0,279	1,034	0,211

Таблица 5. Индивидуальные риски рефлекторных эффектов для населения городов Мурманской области
Table 5. Individual risks of reflex effects among the population of cities in the Murmansk Oblast

Вещество / Substance	Октябрь / October	Ноябрь / November	Декабрь / December
г. Мурманск			
Оксид азота	0,006	0,160	0,014
Диоксид азота	0,0005	0,0016	0
Диоксид серы	0	0	0
г. Заполярный			
Оксид азота	0	0	0
Диоксид азота	0	0	0
Диоксид серы	0	0	0
г. Кандалакша			
Оксид азота	0	0,012	0
Диоксид азота	0	0	0
Диоксид серы	0	0	0
г. Ковдор			
Оксид азота	0	0,169	0,145
Диоксид азота	0	0,082	0,184
Диоксид серы	0	0	0
г. Североморск			
Оксид азота	0,015	0	0
Диоксид азота	0	0	0
Диоксид серы	0	0	0
г. Кола			
Оксид азота	0	0	0
Диоксид азота	0	0	0
Диоксид серы	-	0	0
г. Мончегорск			
Диоксид серы	0	0,121	0

Для расчетов рефлекторных рисков была использована информация ФГБУ «Мурманское УГМС» о состоянии загрязнения атмосферного воздуха городов Мурманской области по данным автоматизированных информационно-измерительных комплексов непрерывного контроля загрязняющих веществ за 4-й квартал 2021 года (informatsionnyy-otchet_4-kvartal_2021.pdf) (табл. 4).

Результаты и их обсуждение

Результаты расчетов рефлекторных рисков для населения городов Мурманской области приведены в таблице 5.

Как следует из таблицы 5, приемлемое значение рефлекторного риска (0,02–0,05) превышено в городе Ковдоре по оксиду и диоксиду азота в ноябре и декабре 2021 г. В городе Мончегорске приемлемое значение рефлекторного риска превышено по диоксиду серы в ноябре 2021 г.

Список литературы

1. Фрумин Г.Т. Экология человека (Антропоэкология). СПб.: РГГМУ; 2012.
2. Киселев А.В., Фридман К.Б. Оценка риска здоровью. СПб.: Международный институт оценки риска здоровью; 1997.
3. Киселев А.В. Оценка риска здоровью в системе гигиенического мониторинга. СПб.: Медицинская академия последипломного образования; 2001.
4. Большаков А.М., Крутько В.Н., Пуцилло Е.В. Оценка и управление рисками влияния окружающей среды на здоровье населения. Москва: Эдиториал УРСС; 1999.
5. Чижевский А.Л. Космический пульс жизни: Земля в объятиях Солнца. Гелиотараксия. Москва: Мысль; 1995.
6. Беленький М.Л. Элементы количественной оценки фармакологического эффекта. Ленинград: Медгиз; 1963.
7. Фрумин Г.Т. Экологическая токсикология (экотоксикология). СПб.: РГГМУ; 2013.

References

1. Frumin G.T. Human ecology (Anthropoecology). St. Petersburg: Russian State Hydrometeorological University (RSHU); 2012. (In Russ.).
2. Kiselev A.V., Fridman K.B. Health risk assessment. St. Petersburg: International Institute for Health Risk Assessment; 1997. (In Russ.).
3. Kiselev A.V. Health risk assessment in the hygienic monitoring system. St. Petersburg: Medical Academy of Postgraduate Education; 2001. (In Russ.).
4. Bolshakov A.M., Krutko V.N., Pucillo E.V. Assessment and management of risks of environmental influence on public health. Moscow: Editorial URSS Publ.; 1999. (In Russ.).
5. Chizhevsky A.L. Cosmic pulse of life: Earth in the arms of the Sun. Heliotaraxy. Moscow: Mysl Publ.; 1995. (In Russ.).
6. Belenky M.L. Elements of quantitative assessment of pharmacological effect. Leningrad: Medgiz Publ.; 1963. (In Russ.).
7. Frumin G.T. Environmental toxicology (ecotoxicology). St. Petersburg: Russian State Hydrometeorological University (RSHU); 2013. (In Russ.).

Сведения об авторе

Фрумин Григорий Тевелевич — доктор химических наук, профессор, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории факультета географии ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена».

Россия, 191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, 48.

тел.: +7 (911) 127-40-98

[E-mail: gfrumin@mail.ru](mailto:gfrumin@mail.ru)

ORCID: 0000-0002-6100-5097

ID WoS: 4545-2020

ID Scopus: 6603777922

ID РИНЦ: 64494

SPIN-код: 9203-5960

Information about the author

Grigory T. Frumin — Dr. Sci. (Chemistry), Prof., Leading Researcher, Geography Faculty, Herzen State Pedagogical University of Russia.

48 Nab. R. Moiki, Saint Petersburg 191186, Russia

tel.: +7 (911) 127-40-98

[E-mail: gfrumin@mail.ru](mailto:gfrumin@mail.ru)

ORCID: 0000-0002-6100-5097

ID WoS: 4545-2020

ID Scopus: 6603777922

ID RSCI: 64494

SPIN-code: 9203-5960

Вклад автора

Автор подтверждает единоличную ответственность за концепцию и дизайн исследования, сбор и анализ данных, интерпретацию результатов, а также подготовку рукописи.

Author's contributions

The author confirms sole responsibility for the study conception and design, data collection, analysis and interpretation of results, and manuscript preparation.

Благодарности

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FSZU-2023-0002.

Acknowledgments

The work was performed at the Russian State Hydrometeorological University within the framework of the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project No. FSZU-2023-0002.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

БКК 53.5

УДК 616.13)

<https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-68-81>



Характеристика степени тяжести раннего формирования атеросклеротического процесса при отдельных патологических формах ишемической болезни сердца у морских специалистов в условиях Арктического региона

Закревский Ю.Н.¹, Герцев А.В.²,✉

¹ ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет»,
Мурманск, Россия

² ФГКУ «1469 Военно-морской клинический госпиталь»
Министерства обороны Российской Федерации,
Североморск, Россия

✉ starcom50@mail.ru

Аннотация. Целью настоящей работы явилось исследование состояния показателей липидного обмена, специфических маркеров атеросклероза, морфологических изменений в магистральных артериях, а также парно связанных между собой показателей в структуре формирования атеросклеротического процесса при изолированном течении отдельных патологических форм (болевые/безболевые эпизоды ишемии миокарда) ишемической болезни сердца, протекающей с расстройствами аффективного спектра, у специалистов из группы плавсостава, проходящих службу в условиях Крайнего Севера. По результатам проведенного исследования установлено, что при безболевой форме ишемии миокарда имеет место большая частота встречаемости структурных изменений в срединной оболочке обоих общих сонных артерий, проявляющихся ремоделированием в сосудистом русле, формированием атеросклеротических бляшек и стенозирующего атеросклероза. Кроме того, у таких пациентов зарегистрированы нарастание проатерогенной активности, снижение уровня атеропротекторных маркеров, а также перестройка парно связанных между собой показателей в структуре звеньев формирования атеросклеротического процесса. При этом усугубление основного патологического процесса при хронической ишемической болезни сердца непосредственно опосредовано с полиморбидностью в течении имеющих заболевания.

Ключевые слова: морская медицина, маркеры атеросклероза, липидный статус, ишемическая болезнь сердца, тревожно-депрессивные нарушения

Конфликт интересов: авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Закревский Ю.Н., Герцев А.В. Характеристика степени тяжести раннего формирования атеросклеротического процесса при отдельных патологических формах ишемической болезни сердца у морских специалистов в условиях Арктического региона. *Арктика и инновации*. 2024;2(2):68–81. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-68-81>

Characteristics of the severity of the early formation of the atherosclerotic process in certain pathological forms of coronary heart disease in marine specialists in the conditions of the Arctic region

Zakrevsky Yu.N.¹, Gertsev A.V.²,✉

¹ Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia

² 1469 Naval Clinical Hospital, Ministry of Defence of the Russian Federation, Severomorsk, Russia

✉ starcom50@mail.ru

Abstract. The present work aims to study lipid balance, specific markers of atherosclerosis, morphological changes in the main arteries, as well as paired indicators, in the formation of the atherosclerotic process in some non-comorbid pathological forms (painful/silent episodes of angina pectoris) of chronic coronary artery disease occurring with affective disorders in shipboard personnel serving in the Far North. The study revealed a higher incidence of structural changes in the medial sheath of both common carotid arteries in silent angina pectoris, which are manifested in vascular bed remodeling, formation of atherosclerotic plaques, and stenotic atherosclerosis. In addition, an increase in proatherogenic activity, suppression of antiatherogenic parameters, as well as more significant changes in the paired indicators of the atherosclerotic process were observed in such patients. The exacerbation of the main pathological process in chronic coronary artery disease can be attributed to the existing polymorbidity.

Keywords: naval medicine, markers of atherosclerosis, lipid status, coronary artery disease, anxiety-depressive disorders

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Zakrevsky Yu.N., Gertsev A.V. Characteristics of the severity of the early formation of the atherosclerotic process in certain pathological forms of coronary heart disease in marine specialists in the conditions of the Arctic region. *Arctic and Innovations*. 2024;2(2):68–81. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-68-81>

Введение

Заболеваемость ишемической болезнью сердца (ИБС) занимает ведущее место в структуре неинфекционной патологии среди контингента из числа специалистов, чья профессиональная деятельность непосредственно связана с прямым риском для жизни [8, 11]. Дебют отдельных патологических форм хронической ИБС у специалистов молодого возраста, осуществляющих деятельность в условиях экстремального труда (выполнение боевых задач, длительные стрессиндуцированные воздействия), преимущественно обусловлен повышенным порогом болевой чувствительности, что потенцирует формирование безболевой ишемии миокарда, их

неадекватной психологической оценкой клинических проявлений впервые возникшей стенокардии напряжения в виде болевого синдрома, а также ранних признаков недостаточности коронарного кровообращения (одышка, снижение толерантности к физическим нагрузкам) [7, 18]. Таких лиц необходимо относить к профессиональной группе повышенного риска развития ИБС и острых сердечно-сосудистых катастроф, таких как инфаркт миокарда и острые нарушения мозгового кровообращения, так как клиническое течение безболевой ишемии миокарда обуславливает позднюю обращаемость их за медицинской помощью и неблагоприятный прогноз кардиологической патологии в целом [4, 13, 15].

Несмотря на наличие результатов исследований, доказывающих, что быстрому прогрессированию атеросклероза на начальных этапах формирования кардиологической патологии способствует специфика профессиональной деятельности, тем не менее остаются вопросы о степени влиянии таких факторов риска на морфогенез атеросклеротического процесса при полиморбидном и изолированном течении ИБС у молодых специалистов. Также важно понимать, в каком диапазоне будут прослеживаться такие изменения на уровне баланса (отношения) атерогенность/антиатерогенность внутри патогенетических звеньев формирования атеросклеротического процесса у данного контингента в зависимости от отдельных патологических клинических форм (болевые/безболевые эпизоды стенокардии) ИБС при полиморбидном и изолированном течении. Полученные результаты позволят объективизировать необходимость оказания своевременной высокотехнологичной медицинской помощи всем обследуемым из числа специалистов морского труда с ИБС при полиморбидном и изолированном течении, а также, несмотря на необходимость их последующей дисквалификации по основной специальности, необходимость регистрировать по месту динамического наблюдения как лиц высокоатерогенного риска и острых кардиоваскулярных событий.

Цель — исследовать состояние липидного обмена, специфические маркеры атеросклероза, морфофункциональные изменения в магистральных артериях, а также парно связанные между собой показатели в структуре формирования атеросклеротического процесса при изолированном течении отдельных патологических форм (болевые/безболевые эпизоды ишемии миокарда) хронической ИБС, протекающей с астено-невротическими нарушениями, у специалистов плавсостава в условиях Крайнего Севера.

Материал и методы

Проведено клиническое обследование 150 больных (мужчин) в возрасте от 39 до 48 лет, проходивших на протяжении всей своей профессиональной деятельности службу в плавсоставе на надводных кораблях в условиях Крайнего Севера (Кольское Заполярье). Средний возраст составил $43,6 \pm 4,8$ года. Обследуемые были

представлены пациентами с хронической формой ИБС, протекающей с болевыми и безболевыми проявлениями ишемии миокарда 1–2-го функционального класса (I25 по МКБ-10), 1-й стадией гипертонической болезни (ГБ) (I10 по МКБ-10), а также тревожными и депрессивными нарушениями в рамках астено-невротического компонента (F41.2 по МКБ-10).

Сформированы группы: 1-я ($n = 35$) — пациенты с хронической ИБС с болевыми эпизодами стенокардии напряжения, протекающей в коморбидности с ГБ 1-й стадии и тревожно-депрессивными нарушениями; 2-я ($n = 45$) — пациенты с хронической ИБС с безболевыми приступами ишемии миокарда, протекающей в коморбидности с ГБ 1-й стадии и тревожно-депрессивными нарушениями (основная группа); 3-я ($n = 36$) — пациенты с изолированным течением хронической ИБС с болевыми эпизодами стенокардии напряжения, протекающей на фоне тревожно-депрессивных нарушений; 4-я ($n = 34$) — пациенты с изолированным течением хронической ИБС с безболевыми приступами ишемии миокарда, протекающей на фоне тревожно-депрессивных нарушений; 5-я ($n = 30$) — группа контроля (здоровые лица).

Для оценки функций сердечно-сосудистой системы при хронической ИБС в настоящей работе оценивали показатели суточного мониторингирования ЭКГ (болевые/безболевые приступами ишемии миокарда). Верификация АД осуществлялась при наличии повышенного артериального давления (АД) в пределах 140–179/90–99 мм рт. ст. не менее чем в двух из трех амбулаторных измерений АД, проводившихся с интервалом в 1 неделю. Состояние сонных артерий исследовали с применением цветного дуплексного сканирования (ЦДС) на ультразвуковом сканере ALOKA SSD-3500 (Россия). Были обследованы общая сонная артерия (ОСА), внутренняя сонная артерия (ВСА) в экстракраниальных сегментах и наружная сонная артерия (НСА). Оценивали количественные величины толщины комплекса интима-медиа (ТКИМ) исследуемых артерий. За бляшку при ультразвуковом исследовании принимали локальное утолщение стенки артерии, превышающее на 50 % и более толщину прилегающего неизмененного интимо-медиального комплекса, выступающее в просвет сосуда и отличающееся по структуре от неизмененной

стенки артерии, и/или утолщение КИМ более 1,2–1,3 мм.

Лабораторная часть работы была представлена исследуемым набором показателей, отражающих параметры маркеров, используемых в диагностике атеросклероза: аполипопротеин А1, аполипопротеин В, холестерин (ХС) — липопротеины высокой плотности (ЛПВП), холестерин — липопротеины низкой плотности (ЛПНП), коэффициент (индекс) атерогенности (КА), триглицериды (ТГ). Используемые в диагностике атеросклероза маркеры определяли в стандартных условиях в лабораторном отделении стационара.

Психологические и психофизиологические процессы исследовались с помощью стандартизированного многофакторного метода исследования личности (СМИЛ), восьмицветового теста Люшера и шкал самооценки Ч.Д. Спилбергера — Ю.Л. Ханина.

Для достижения цели настоящего исследования во всех группах обследуемых также изучали количественные и качественные парные корреляционные взаимосвязи между показателями, характеризующими функционирование сердечно-сосудистой системы при ИБС (количество болевых и безболевых эпизодов стенокардии напряжения), ТКИМ ОСА по результатам ЦДС сосудов шеи, липидного баланса (ТГ, ХС-ЛПНП, ХС-ЛПВП), индексом атерогенности и маркерами раннего формирования атеросклеротического процесса (аполипопротеин А1, аполипопротеин В).

Математическую обработку данных исследования осуществили на IBM-совместимом персональном компьютере. Электронная база данных создана в программной среде Microsoft Excel 2019, статистический анализ выполнен с помощью пакета прикладных программ Statistica for Windows, 12.0 (StatSoft, США). Предварительно оценивали соответствие исследуемых выборок закону нормального распределения. Определяли среднее арифметическое и его стандартное отклонение ($M \pm SD$), 95-процентный доверительный интервал для среднего ($M \pm m$). Значимость различий средних значений устанавливали с использованием параметрического (t-Стьюдента) и непараметрического (Манна — Уитни) критериев. Различия считали значимыми

при $p < 0,05$. Связи между показателями функционирования сердечно-сосудистой системы при ИБС, ТКИМ ОСА, балансом липидного статуса и маркерами раннего формирования атеросклеротического процесса изучали посредством корреляционного анализа. Оценивали взаимосвязи при коэффициенте корреляции $r < 0,3$ как слабые, $0,3 < r < 0,4$ — как умеренные, $0,4 < r < 0,7$ — как средние и $r > 0,7$ — как сильные.

Результаты исследования

Сравнительный анализ количественных величин маркеров раннего формирования атеросклеротического процесса у обследуемых лиц с полиморбидной сердечно-сосудистой патологией показал, что при безболевой форме ИБС имеет место более значимое повышение расчетных показателей КА и уровня проатерогенных ТГ, ХС-ЛПНП, аполипопротеина В по сравнению с аналогичными параметрами пациентов с болевым синдромом ($p < 0,05$). Кроме того, при безболевых приступах ишемии миокарда зарегистрировано существенное снижение аполипопротеина А1, белка плазмы крови, являющегося составной частью атеропротекторных ХС-ЛПВП ($p < 0,05$) — табл. 1, 2. Аналогичная тенденция в сторону нарастания проатерогенных маркеров, а также снижения на уровне атеропротекторных звеньев атеросклеротического процесса определяется и у обследуемых лиц с изолированной формой хронической ИБС. Здесь значимость различий прослеживается между количественными величинами исследуемых параметров обследуемых лиц 4-й группы с безболевой формой ишемии миокарда по отношению к пациентам 3-й группы с болевыми эпизодами стенокардии напряжения ($p < 0,05$).

Кроме того, уровень маркеров раннего формирования атеросклеротического процесса и показателей липидного обмена у морских специалистов с полиморбидной сердечно-сосудистой патологией при болевой и безболевой ишемии миокарда значимо различались по сравнению с обследуемыми 3-й ($p < 0,05$) и 4-й ($p < 0,05$) групп пациентов. При этом следует отметить, что содержание маркеров раннего формирования атеросклеротического процесса и показателей липидного баланса у пациентов с изолированным течением ИБС при безболевой форме ишемии миокарда по своим количе-

ственным величинам соответствовало среднестатистической выборке исследуемых показателей обследуемых с полиморбидной сердечно-сосудистой патологией с болевой формой стенокардии напряжения.

В группах обследования после проведенного дуплексного сканирования экстракраниальных и интракраниальных сонных артерий было выявлено изменение ТКИМ (табл. 3).

Таблица 1. Характеристика уровня содержания маркеров, отражающих активность атеросклеротического процесса, и показателей липидного баланса при болевой и безболевой формах ишемии миокарда в группах обследования с полиморбидной сердечно-сосудистой патологией (ИБС в коморбидности с ГБ) ($M \pm SD$)

Table 1. Levels of markers reflecting the intensity of the atherosclerotic process and lipid balance in painful and silent myocardial ischemia in the study groups with a polymorbid cardiovascular pathology ($M \pm SD$)

Показатель / Parameter	Группа пациентов при полиморбидном течении ИБС и ГБ / Group of patients with coronary artery disease comorbid with hypertension		Контроль / Control
	1-я / 1st	2-я / 2nd	
КА, ед.	3,9 $\pm$ 0,2 [#]	5,4 $\pm$ 0,2	2,2 $\pm$ 0,11 [#]
ТГ, ммоль/л	2,5 $\pm$ 0,1 [#]	2,8 $\pm$ 0,1	1,6 $\pm$ 0,18 [#]
ХС-ЛПНП, ммоль/л	3,6 $\pm$ 0,1 [#]	3,9 $\pm$ 0,1	2,2 $\pm$ 0,16 [#]
ХС-ЛПВП, ммоль/л	1,4 $\pm$ 0,1 [#]	1,1 $\pm$ 0,1	3,1 $\pm$ 0,03 [#]
Аполипопротеин В, г/л	2,4 $\pm$ 0,2 [#]	2,9 $\pm$ 0,2	1,32 $\pm$ 0,13 [#]
Аполипопротеин А1, г/л	0,8 $\pm$ 0,1 [#]	0,4 $\pm$ 0,1	1,21 $\pm$ 0,14 [#]

Примечание. Различия значимы при $p < 0,05$ по сравнению: * — с 1-й группой; # — со 2-й группой.
Note. Differences are significant at $p < 0.05$ as compared to: * — Group 1; # — Group 2.

Таблица 2. Характеристика уровня содержания маркеров, отражающих активность атеросклеротического процесса и показателей липидного баланса при болевой и безболевой формах ишемии миокарда в группах обследования с изолированным течением ИБС ($M \pm SD$)

Table 2. Levels of markers reflecting the intensity of the atherosclerotic process and lipid balance in painful and silent myocardial ischemia in the study groups with a non-comorbid coronary artery disease ($M \pm SD$)

Показатель / Parameter	Группа пациентов с изолированным течением ИБС / Group of patients with a non-comorbid coronary artery disease		Контроль / Control
	3-я / 3rd	4-я / 4th	
КА, ед.	3,4 $\pm$ 0,2 [#]	4,8 $\pm$ 0,2	2,2 $\pm$ 0,11 [#]
ТГ, ммоль/л	2,2 $\pm$ 0,1 [#]	2,4 $\pm$ 0,1	1,6 $\pm$ 0,18 [#]
ХС-ЛПНП, ммоль/л	3,2 $\pm$ 0,2 [#]	3,5 $\pm$ 0,2	2,2 $\pm$ 0,16 [#]
ХС-ЛПВП, ммоль/л	1,7 $\pm$ 0,2 [#]	1,4 $\pm$ 0,2	3,1 $\pm$ 0,03 [#]
Аполипопротеин В, г/л	1,9 $\pm$ 0,1 [#]	2,4 $\pm$ 0,1	1,32 $\pm$ 0,13 [#]
Аполипопротеин А1, г/л	1,1 $\pm$ 0,1 [#]	0,7 $\pm$ 0,1	1,21 $\pm$ 0,14 [#]

Примечание. Различия значимы при $p < 0,05$ по сравнению: * — с 3-й группой; # — с 4-й группой.
Note. Differences are significant at $p < 0.05$ as compared to: * — Group 3; # — Group 4.

Таблица 3. ТКИМ обеих сонных артерий в обследуемых группах ($M \pm SD$)

Table 3. IMT of both carotid arteries in the examined groups ($M \pm SD$)

Показатели / Parameter	Исследуемые группы с болевыми эпизодами стенокардии напряжения / Study groups with painful episodes of angina pectoris		Исследуемые группы с безболевыми приступами ишемии миокарда / The studied groups with painless attacks of myocardial ischemia	
	1-я / 1st	3-я / 3rd	2-я / 2nd	4-я / 4th
ТКИМ правой ОСА, мм	1,12 $\pm$ 0,3 [#]	1,06 $\pm$ 0,2 [*]	1,27 $\pm$ 0,4 ^{***}	1,19 $\pm$ 0,2 ^{**}
ТКИМ левой ОСА, мм	1,14 $\pm$ 0,2 [#]	1,08 $\pm$ 0,3 [*]	1,24 $\pm$ 0,5 ^{***}	1,20 $\pm$ 0,3 ^{**}
ТКИМ обеих ОСА, мм	1,13 $\pm$ 0,4 [#]	1,07 $\pm$ 0,4 [*]	1,22 $\pm$ 0,3 ^{***}	1,17 $\pm$ 0,4 ^{**}

Примечание. Различия значимы при $p < 0,05$ по сравнению: * — с 1-й группой; ** — с 3-й группой; # — с 4-й группой.
Note. Differences are significant at $p < 0.05$ as compared to: * — Group 1; ** — Group 3; # — Group 4.

При анализе показателей, полученных по результатам УЗДГ экстракраниальных и интракраниальных артерий, было установлено, что среднее значение ТКИМ правой и левой ОСА у пациентов 2-й группы составило $1,27 \pm 0,4$ и $1,24 \pm 0,5$ мм, что превышало аналогичные показатели 1-й и 3-й групп обследуемых ($p < 0,05$). В то же время ТКИМ правой и левой ОСА у больных 2-й группы была значимо выше по сравнению с таковым значением в 4-й группе пациентов с изолированным течением ИБС и безболевыми эпизодами ишемии миокарда ($p < 0,05$). В 4-й группе обследуемых был зарегистрирован более высокий уровень среднего значения ТКИМ правой ($1,19 \pm 0,2$ мм) и левой ($1,20 \pm 0,3$ мм) ОСА по сравнению с аналогичными показателями в 1-й и 3-й группах пациентов с болевой формой стенокардии напряжения ($p < 0,05$). Показатели ТКИМ в правой и левой ОСА при классической стенокардии напряжения в 1-й группе обследуемых находились практически на одной границе средних величин и значимо различались от аналогичных показателей 3-й группы пациентов ($p < 0,05$).

Следует отметить, что у 18 % обследуемых 1-й, у 37 % лиц 2-й, у 11 % пациентов 3-й и у 28 % обследуемых 4-й группы при дуплексном сканировании сонных артерий были обнаружены атеросклеротические бляшки в правой и левой ОСА. При этом, ТКИМ правой ($1,33 \pm 0,1$ мм) и левой ($1,31 \pm 0,02$ мм) ОСА во 2-й группе пациентов при безболевых приступах ишемии миокарда с наличием атеросклеротических бляшек была значимо выше по сравнению с аналогичными показателями обследуемых 1-й и 3-й групп с болевым синдромом и атеросклерозом сосудов шеи (ТКИМ $1,21 \pm 0,06$ мм и $1,23 \pm 0,02$ мм; ТКИМ $1,21 \pm 0,03$ мм и $1,20 \pm 0,01$ мм, соответственно) ($p < 0,05$). У обследуемых 4-й группы с безболевыми приступами ишемии миокарда при наличии атеросклеротического поражения сосудов шеи ТКИМ правой ($1,26 \pm 0,02$ мм) и левой ОСА ($1,27 \pm 0,04$ мм) также значимо превышала аналогичные показатели пациентов 3-й группы с изолированным течением ИБС и болевым синдромом с признаками стенозирующего атеросклероза в магистральных артериях ($p < 0,05$). При этом степень выраженности формирования стеноза при атеросклеротическом поражении магистральных артерий

у морских специалистов с полиморбидной патологией и безболевой формой стенокардии напряжения будет значимо превышать аналогичные расчётные величины ТКИМ правой и левой ОСА обследуемых из 4-й группы ($p < 0,05$), что подтверждает зависимость степени активности атерогенеза от сочетанного (коморбидного) течения ИБС и 1-й стадии ГБ. Следует отметить, что уровень ТКИМ при атеросклеротическом поражении правой и левой ОСА у пациентов с изолированным течением ИБС и безболевой формой ишемии миокарда (4-я группа) по количественным величинам значимо превышал ($p < 0,05$) исследуемые показатели магистральных артерий обследуемых с полиморбидной сердечно-сосудистой патологией и болевой формой стенокардии напряжения (1-я группа). Значимых различий по степени активности атеросклеротического процесса при болевых приступах стенокардии напряжения также не зарегистрировано. Частота верификации обследуемых с безболевыми приступами ишемии миокарда (2-я и 4-я группы) и признаками стенозирующего атеросклероза сонных (37 %, $n = 17$; 28 %, $n = 10$) артерий была значимо выше по сравнению с аналогичной частотой встречаемости атеросклеротического поражения правой и левой ОСА обследуемых с болевым синдромом — 1-я (18 %, $n = 7$) и 3-я (4 %, $n = 7$) группы ($p < 0,05$).

Таким образом, проведенные нами исследования свидетельствуют, что для обследуемых с хронической ИБС и безболевой формой ишемии миокарда (2-я и 4-я группы) по результатам ЦДС сосудов шеи имеет место более существенное нарастание активности раннего формирования атеросклеротического процесса в магистральных артериях, проявляющегося стенозом обеих ОСА при ТКИМ более 1,25 мм. При этом степень выраженности формирования атеросклеротических бляшек на периферии определяется не только характером проявления патологических форм клинического течения хронической ИБС, но и полиморбидностью в течении имеющих заболеваний.

Анализ корреляционных связей между показателями липидного обмена, маркерами раннего формирования атеросклеротического процесса и характером клинического течения ИБС у морских специалистов,

Таблица 4. Корреляционные связи между показателями липидного статуса, маркерами раннего формирования атеросклеротического процесса, болевыми эпизодами стенокардии напряжения и безболевыми приступами ишемии миокарда в группах обследования

Table 4. Correlations between the atherogenicity index, lipid balance indicators and markers of early formation of the atherosclerotic process in painful episodes of angina pectoris and pain-free attacks of myocardial ischemia

Маркеры атеросклероза / Markers of atherosclerosis	Количество (раз) за сутки болевых и безболевых приступов ишемии миокарда при суточном мониторинге ЭКГ / The number (times) per day of painful and pain-free attacks of myocardial ischemia with daily ECG monitoring			
	Исследуемые группы с болевыми эпизодами стенокардии напряжения / Study groups with painful episodes of angina pectoris		Исследуемые группы с безболевыми приступами ишемии миокарда / The studied groups with painless attacks of myocardial ischemia	
	1-я / 1st	3-я / 3rd	2-я / 2nd	4-я / 4th
КА, ед.	0,70*	0,52*	0,82*	0,68*
ТГ, ммоль/л	0,72*	0,54*	0,84*	0,66*
ХС-ЛПНП, ммоль/л	0,70*	0,58*	0,82*	0,62*
ХС-ЛПВП, ммоль/л	-0,30*	-0,46*	-0,14*	-0,32*
Аполипопротеин В, г/л	0,72*	0,50*	0,86*	0,62*
Аполипопротеин А1, г/л	-0,32*	-0,40*	-0,12*	-0,30*

Примечание. Различия значимы при $p < 0,05$: — * между исследуемыми показателями.
Note. The differences are significant at $p < 0.05$: — * between the studied parameters.

проходящих службу в условиях Крайнего Севера, показал следующее (табл. 4):

- в 1-й группе обследуемых положительные сильные корреляционные связи были установлены между болевыми эпизодами стенокардии, расчетными показателями КА, уровнем атерогенных ХС-ЛПНП и аполипопротеином В; положительные корреляционные связи средней силы установлены по отношению к уровню ТГ; отрицательные корреляционные связи умеренной силы определялись между болевыми эпизодами стенокардии, атеропротекторными ХС-ЛПВП и аполипопротеином А1;
- во 2-й группе имели место положительные сильные корреляционные связи между безболевыми эпизодами стенокардии, расчетными показателями КА, уровнем ХС-ЛПНП, ТГ и аполипопротеином В; отрицательные корреляционные связи слабой силы — по отношению к ХС-ЛПВП и аполипопротеину А1;
- в 3-й группе положительные корреляционные связи средней силы прослеживались между болевыми эпизодами стенокардии по отношению к КА, ТГ, ХС-ЛПНП и аполипопротеину В; отрицательные корреляционные связи средней силы верифицировались по отношению к ХС-ЛПВП и аполипопротеину А1;

– в 4-й группе положительные корреляционные связи средней силы определялись между безболевыми эпизодами стенокардии, расчетными показателями КА, атерогенными ТГ, ХС-ЛПНП и аполипопротеином В; отрицательные корреляционные связи умеренной силы были установлены по отношению к уровню атеропротекторных ХС-ЛПВП и аполипопротеину А1.

При анализе корреляционных связей между КА, показателями липидного обмена и маркерами раннего формирования атеросклеротического процесса при различных вариантах клинического течения ИБС у морских специалистов, проходящих службу в условиях Крайнего Севера, выявлено следующее (табл. 5):

- в 1-й группе положительные сильные корреляционные связи определялись между расчетными показателями КА, уровнем ХС-ЛПНП, ТГ и аполипопротеином В; отрицательные корреляционные связи умеренной силы были выявлены между КА, ХС-ЛПВП и аполипопротеином А1;
- во 2-й группе имели место положительные сильные корреляционные связи между величинами расчетного показателя КА по отношению к уровню проатерогенных ТГ, ХС-ЛПНП и аполипопротеину В; отрицательные корреляционные связи слабой силы верифицировались между КА и уровнем

Таблица 5. Корреляционные связи между индексом атерогенности, показателями липидного баланса и маркерами раннего формирования атеросклеротического процесса при болевых эпизодах стенокардии напряжения и безболевых приступах ишемии миокарда

Table 5. Correlations between the atherogenicity index, lipid balance indicators and markers of early formation of the atherosclerotic process in painful episodes of angina pectoris and pain-free attacks of myocardial ischemia

Маркеры атеросклероза / Markers of atherosclerosis	Индекс атерогенности (КА) / Atherogenic index (AI)			
	Исследуемые группы с болевыми эпизодами стенокардии напряжения / Study groups with painful episodes of angina pectoris		Исследуемые группы с безболевыми приступами ишемии миокарда / The studied groups with painless attacks of myocardial ischemia	
	1-я / 1st	3-я / 3rd	2-я / 2nd	4-я / 4th
ТГ, ммоль/л	0,72*	0,62*	0,86*	0,68*
ХС-ЛПНП, ммоль/л	0,68*	0,52*	0,78*	0,66*
ХС-ЛПВП, ммоль/л	-0,34*	-0,48*	-0,22*	-0,36*
Аполипопротеин В, г/л	0,70*	0,56*	0,84*	0,68*
Аполипопротеин А1, г/л	-0,30*	-0,40*	-0,18*	-0,32*

Примечание. Различия значимы при $p < 0,05$: — * между исследуемыми показателями.
Note. The differences are significant at $p < 0.05$: — * between the studied parameters.

атеропротекторным ХС-ЛПВП, аполипопротеином А1;

– в 3-й группе положительные корреляционные связи средней силы определялись между величинами КА, уровнем ТГ, ХС-ЛПНП и аполипопротеином В; отрицательные корреляционные связи умеренной силы выявлялись между КА, ХС-ЛПВП, а также аполипопротеином А1;

– в 4-й группе положительные корреляционные связи средней силы были установлены между величинами КА и уровнем ТГ,

ХС-ЛПНП, а также аполипопротеином В; отрицательные корреляционные связи умеренной силы определялись между КА, ХС-ЛПВП и аполипопротеином А1.

Анализ корреляционных связей между ТКИМ обеих сонных артерий по результатам ЦДС сосудов шеи, показателями липидного обмена и маркерами раннего формирования атеросклеротического процесса при различных вариантах клинического течения ИБС у морских специалистов, проходящих службу в условиях Крайнего Севера, показал следующее (табл. 6):

Таблица 6. Корреляционные связи между ТКИМ обеих сонных артерий по результатам ЦДС сосудов шеи, показателями липидного баланса и маркерами раннего формирования атеросклеротического процесса при болевых эпизодах стенокардии напряжения и безболевых приступах ишемии миокарда

Table 6. Correlations between the IMT of both carotid arteries according to the results of CDR of the vessels of the neck, indicators of lipid balance and markers of early formation of the atherosclerotic process in painful episodes of angina pectoris and pain-free attacks of myocardial ischemia

Маркеры атеросклероза / Markers of atherosclerosis	ТКИМ обеих сонных артерий / IMT of both carotid arteries			
	Исследуемые группы с болевыми эпизодами стенокардии напряжения / Study groups with painful episodes of angina pectoris		Исследуемые группы с безболевыми приступами ишемии миокарда / The studied groups with painless attacks of myocardial ischemia	
	1-я / 1st	3-я / 3rd	2-я / 2nd	4-я / 4th
КА, ед.	0,72*	0,52*	0,88*	0,70*
ТГ, ммоль/л	0,70*	0,56*	0,80*	0,68*
ХС-ЛПНП, ммоль/л	0,64*	0,50*	0,82*	0,62*
ХС-ЛПВП, ммоль/л	-0,32*	-0,40*	-0,22*	-0,30*
Аполипопротеин В, г/л	0,70*	0,62*	0,80*	0,70*
Аполипопротеин А1, г/л	-0,30*	-0,40*	-0,14*	-0,32*

Примечание. Различия значимы при $p < 0,05$: — * между исследуемыми показателями.
Note. The differences are significant at $p < 0.05$: — * between the studied parameters.

- в 1-й группе положительные сильные корреляционные связи установлены между ТКИМ обеих сонных артерий и расчетными показателями КА, уровнем ТГ и аполипопротеином В; положительные корреляционные связи средней силы выявлялись между ТКИМ обеих сонных артерий и уровнем ХС-ЛПНП; отрицательные корреляционные связи умеренной силы определялись по отношению к уровню ХС-ЛПВП и аполипопротеину А1;
- во 2-й группе имели место положительные сильные корреляционные связи между ТКИМ обеих сонных артерий, а также величинами КА, уровнем ТГ, ХС-ЛПНП и аполипопротеином В; отрицательные корреляционные связи слабой силы выявлялись по отношению к уровню ХС-ЛПВП и аполипопротеину А1;
- в 3-й группе положительные корреляционные связи средней силы прослеживались между ТКИМ обеих сонных артерий, расчетными показателями КА, уровнем ТГ, ХС-ЛПНП и аполипопротеином В; отрицательные корреляционные связи умеренной силы определялись между ТКИМ обеих сонных артерий, уровнем ХС-ЛПВП и аполипопротеином А1;
- в 4-й группе имели место положительные сильные корреляционные связи между ТКИМ обеих сонных артерий, расчетными показателями КА и уровнем аполипопротеина В; положительные корреляционные связи средней силы определялись по отношению к уровню ТГ и ХС-ЛПНП; отрицательные корреляционные связи умеренной силы выявлялись между ТКИМ обеих сонных артерий, уровнем ХС-ЛПВП и аполипопротеином А1;

Из вышесказанного следует, что у пациентов с безболевой формой ишемии миокарда имеет место более значимое нарастание корреляционных взаимосвязей между частой встречаемостью безболевыми приступами ишемии миокарда, ТКИМ обеих сонных артерий по результатам ЦДС сосудов шеи и КА по отношению к проатерогенным ТГ, ХС-ЛПНП, аполипопротеину В, а также снижение корреляционной зависимости в сторону атеропротекторных ХС-ЛПВП и аполипопротеину А1 по сравнению с обследуемыми с хронической ИБС и классической стенокардией напряжения ($p < 0,05$).

Обсуждение полученных результатов

При сравнении парно связанных между собой показателей структурно-функциональных изменений в магистральных артериях, липидного обмена, индекса атерогенности и маркеров раннего формирования атеросклеротического процесса видно, что наиболее существенное нарастание силы корреляционных связей по отношению к уровню проатерогенных ТГ, ХС-ЛПНП, аполипопротеина В, а также снижение силы корреляционной зависимости в сторону атеропротекторных ХС-ЛПВП и аполипопротеину А1 прослеживается у морских специалистов при полиморбидном течении хронической ИБС с безболевой формой ишемии миокарда. Корреляционные связи между исследуемыми показателями в основной группе во всех случаях по отношению к проатерогенным маркерам характеризуются как положительные сильные, а по отношению к атеропротекторным — как отрицательные слабые корреляционные связи. Аналогичная тенденция в сторону нарастания силы корреляционных связей по отношению к проатерогенным (ТГ, ХС-ЛПНП, аполипопротеин В) маркерам, а также снижение силы взаимосвязей в сторону атеропротекторных ХС-ЛПВП и аполипопротеину А1 определяется и у обследуемых лиц при изолированном течении хронической ИБС с безболевой формой ишемии миокарда по сравнению с пациентами с монопатологией болевой формой стенокардии напряжения. Полученные результаты позволяют объективизировать степень выраженности изменения баланса на уровне атерогенных и атеропротекторных звеньев внутри патогенетических структур формирования атеросклеротического процесса при отдельных формах клинического течения хронической ИБС у морских специалистов с полиморбидной и изолированной патологией.

Следует отметить, что корреляционные связи между исследуемыми показателями у обследуемых лиц с изолированной ИБС и безболевой формой ишемии миокарда по силе связей соответствуют взаимосвязям пациентов из группы специалистов плавсостава с полиморбидной сердечно-сосудистой патологией, протекающей с болевыми эпизодами стенокардии напряжения. Именно наличие полиморбидности в течении имеющихся заболеваний способствует утяже-

лению течения патологического процесса на уровне патогенетических механизмов внутри структур формирования очага атеросклероза, при которых степень выраженности перестройки атерогенных и атеропротекторных звеньев у обследуемых лиц с болевыми эпизодами стенокардии напряжения будет соответствовать пациентам с безболевым формой ишемии миокарда при изолированной ИБС.

Таким образом, анализ корреляционных связей между расчетными показателями ТКМ обоим сонных артерий по результатам ЦДС сосудов шеи, индексом атерогенности (КА), липидным обменом и маркерами раннего формирования атеросклеротического процесса в обследуемых группах показал, что при безболевым форме хронической ИБС имеет место более существенное нарастание корреляционных связей по отношению к уровню проатерогенных ТГ, ХС-ЛПНП и аполипопротеину В, а также снижение корреляционной взаимозависимости к величинам атеропротекторных ХС-ЛПВП и аполипопротеину А1 по сравнению с пациентами с болевым синдромом. При этом наиболее интенсивная перестройка по парно связанным между собой показателям исследуемых параметров прослеживается у специалистов из группы плавсостава надводных кораблей с хронической ИБС и расстройствами аффективного спектра при безболевым форме ишемии миокарда, что обусловлено полиморбидностью в течении имеющихся заболеваний в виде наличия отдельных патологических формах ишемии миокарда и сопутствующей АГ. Выявленные изменения в корреляционных связях в сторону атерогенности между вышеуказанными показателями у пациентов с хронической ИБС и безболевым формой ишемии миокарда по сравнению с обследуемыми с болевым синдромом свидетельствуют о более неблагоприятном и интенсивном течении атеросклеротического процесса при данной патологии.

Выводы

1. У мужчин из группы плавсостава надводных кораблей при безболевым форме ишемии миокарда по сравнению с обследуемыми с болевым синдромом имеет место более значимое нарастание на периферии проатерогенных маркеров (КА, ТГ, ХС-ЛПНП, аполипопротеин В), а также снижение ате-

ропротекторных ХС-ЛПВП и аполипопротеина А1, что позволяет объективизировать интенсивность и зависимость степени выраженности раннего формирования атеросклеротического процесса у морских специалистов от отдельных патологических форм клинического течения хронической ишемической болезни сердца.

2. У морских специалистов из группы плавсостава надводных кораблей с хронической ишемической болезнью сердца и расстройствами аффективного спектра при безболевым форме ишемии миокарда по результатам ультразвукового сканирования сосудов шеи зарегистрирована большая частота встречаемости структурных изменений в срединной оболочке (увеличение толщины комплекса интима-медиа более 1,25 мм) обеих общих сонных артерий, проявляющихся ремоделированием в сосудистом русле, формированием атеросклеротических бляшек и стенозирующего атеросклероза. При этом толщина комплекса интима-медиа у обследуемых лиц будет находиться в прямой зависимости от активности проатерогенных и атеропротекторных маркеров, подтверждает связь степени выраженности раннего формирования атеросклеротического процесса и интенсивности структурных изменений в обеих общих сонных артериях от характера клинического течения отдельных патологических форм хронической ишемической болезни сердца.

3. При безболевым форме ишемии миокарда имеет место более существенная перестройка в портрете, маркируемом корреляционными связями, проявляющаяся нарастанием парно связанных между собой показателей по отношению к уровню проатерогенных КА, ТГ, ХС-ЛПНП и аполипопротеину В, а также снижением корреляционных связей в сторону атеропротекторных ХС-ЛПВП и аполипопротеина А1, что позволяет объективизировать степень выраженности изменений баланса на уровне патогенетических звеньев формирования атеросклеротического процесса при отдельных патологических формах клинического течения хронической ишемической болезни сердца у морских специалистов с полиморбидной и изолированной патологией.

4. У специалистов плавсостава с хронической ишемической болезнью сердца, про-

текающей в коморбидности с гипертонической болезнью и тревожно-депрессивными нарушениями, по сравнению с обследуемыми с изолированной патологией установлено более значимое нарастание уровня проатерогенных маркеров и снижение содержания атеропротекторных показателей,

а также зарегистрирована ранняя структурная перестройка в магистральных артериях, что обусловлено полиморбидностью в течении имеющихся заболеваний в виде наличия отдельных патологических форм ишемии миокарда и сопутствующей артериальной гипертензии.

Список литературы

1. Масленникова Г.Я., Оганов Р.Г., Аксельрод С.В., Бойцов С.А. Снижение смертности от сердечно-сосудистых и других неинфекционных заболеваний в экономиках с высоким уровнем доходов населения: участие не государственных структур. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2015;14(6):5–9. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2015-6-5-9>
2. Мельдеханов Т.Т., Есиргепова С.Р., Пиржанов Б.Т., Эльхенди Т.Н., Уразова М.Т., Кабдыгалиев Е.А., Табанова Р.А., Елешева К.К. Патогенез атеросклероза. Актуальные проблемы теоретической и клинической медицины. 2021;34(4):21–28. <https://doi.org/10.24412/2790-1289-2021-42128>
3. Ступаков И.Н., Гербер В.И. Сердечно-сосудистая заболеваемость среди военнослужащих. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2005;2(4):12–17.
4. Фесенко В.В. Профилактическая медицина и здоровый образ жизни в Вооруженных силах. Военно-медицинский журнал. 2007;(7):24–32.
5. Чумакова Г.А., Гриценко О.В., Веселовская Н.Г., Вахромеева Е.В., Козаренко А.А. Клиническое значение аполипопротеинов А и В. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2011;10(6):105–111. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2011-6-105-111>
6. Baroni M.G., Berni A., Romeo S., Arca M., Tesorio T., Sorropago G., Di Mario U., Galton D.J. Genetic study of common variants at the Apo E, Apo AI, Apo CIII, Apo B, lipoprotein lipase (LPL) and hepatic lipase (LIPC) genes and coronary artery disease (CAD): variation in LIPC gene associates with clinical outcomes in patients with established CAD. BMC Med. Genet. 2003;4(8):1–7. <https://doi.org/10.1186/1471-2350-4-8>
7. Baygi F., Herttua K., Jensen O., Djalalinia S., Ghorabi A.M., Asayesh H., Qorbani M. Global prevalence of cardiometabolic risk factors in the military population: a systematic review and meta-analysis. BMC Endocr. Disord. 2020;20(1):8. <https://doi.org/10.1186/s12902-020-0489-6>
8. Boos C.J., De Villiers N., Dyball D., McConnell A., Bennett A.N. The Relationship between Military Combat and Cardiovascular Risk: A Systematic Review and Meta-Analysis. Int. J. Vasc. Med. 2019;2019: 9849465. <https://doi.org/10.1155/2019/9849465>
9. Brouillette C.G., Anantharamaiah G.M., Engler J.A., Borhani D.W. Structural models of human apolipoprotein A-I: critical analysis and review. Biochim. Biophys. Acta. 2001;1531(1–2):4–46. [https://doi.org/10.1016/s1388-1981\(01\)00081-6](https://doi.org/10.1016/s1388-1981(01)00081-6)
10. Chetty P.S., Mayne L., Lund-Katz S., Stranz D., Englander S.W., Phillips M.C. Helical structure and stability in human apolipoprotein A-I by hydrogen exchange and mass spectrometry. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2009;106(45):19005–19010. <https://doi.org/10.1073/pnas.0909708106>
11. Crum-Cianflone N.F., Bagnell M.E., Schaller E., Boyko E.J., Smith B., Maynard C., et al. Impact of combat deployment and posttraumatic stress disorder on newly reported coronary heart disease among US active duty and reserve forces. Circulation. 2014;129(18):1813–1820. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.113.005407>
12. Dao-Quan Peng, Brubaker G., Zhiping Wu., Zheng L., Willard B., Kinter M., Hazen S.L., Smith J.D. Apolipoprotein A-I tryptophan substitution leads to resistance to myeloperoxidase mediated loss of function. Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol. 2008;28(11):2063–2070. <https://doi.org/10.1161/ATVBAHA.108.173815>

13. Johnson A., Rose K., Elder G., Chambless L.E., Kaufman J.S., Heiss G. Military combat and risk of coronary heart disease and ischemic stroke in aging men: The Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) study. *Ann. Epidemiol.* 2010;20(2):143–150. <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2009.10.006>
14. Kyung-Hyun Cho, Jae-Ryong Kim. A reconstituted HDL containing V156K or R173C apoA-I exhibited anti-inflammatory activity in apo-E deficient mice and showed resistance to myeloperoxidase-mediated oxidation. *Exp. Mol. Med.* 2009;41(6):417–428. <https://doi.org/10.3858/emmm.2009.41.6.047>
15. Mirzaei-pour F., Seyedmazhari M., Pishgooie A., Hazaryan M. Assessment of risk factors for coronary artery disease in military personnel: A study from Iran. *J. Family Med. Prim. Care.* 2019;8(4):1347–1351. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_109_19
16. Parsons I., White S., Gill R., Gray H.H., Rees P. Coronary artery disease in the military patient. *J. R. Army Med. Corps.* 2015;161(3):211–222. <https://doi.org/10.1136/jramc-2015-000495>
17. Richardson P.E., Manchekar M., Dashti N., Jones M.K., Beigneux A., Young S.G., et al. Assembly of Lipoprotein Particles Containing Apolipoprotein-B: Structural Model for the Nascent Lipoprotein Particle. *Biophys. J.* 2005;88(4):2789–2800. <https://doi.org/10.1529/biophysj.104.046235>
18. Ulmer C.S., Bosworth H.B., Germain A., Lindquist J., Olsen M., Brancu M., et al. VA Mid-Atlantic Mental Illness Research Education and Clinical Center Registry Workgroup, Beckham JC. Associations between sleep difficulties and risk factors for cardiovascular disease in veterans and active-duty military personnel of the Iraq and Afghanistan conflicts. *J. Behav. Med.* 2015;38(3):544–555. <https://doi.org/10.1007/s10865-015-9627-4>

References

1. Maslennikova G.Ya., Oganov R.G., Axelrod S.V., Boitsov S.A. Reducing mortality from cardiovascular and other non-communicable diseases in high-income economies: non-government involvement. *Cardiovascular Therapy and Prevention.* 2015;14(6):5–9. (In Russ.). <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2015-6-5-9>
2. Meldekhanov T.T., Esirgepova S.R., Pirzhanov B.T., Elhendi T.N., Urazaeva M.T., Kabdygaliev E.A., Tabanova R.A., Elesheva K.K. pathogenesis of atherosclerosis. *Actual Problems of Theoretical and Clinical Medicine.* 2021;34(4):21–28. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2790-1289-2021-42128>
3. Stupakov I.N., Gerber V.I. Cardiovascular morbidity among military personnel. *Cardiovascular Therapy and Prevention.* 2005;2(4):12–17. (In Russ.).
4. Fesenko V.V. Preventive medicine and a healthy lifestyle in the Armed Forces. *Military Medical Journal.* 2007;(7):24–32. (In Russ.).
5. Chumakova G.A., Gritsenko O.V., Veselovskaya N.G., Vakhromeeva E.V., Kozarenko A.A. Clinical significance of apolipoproteins A and B. *Cardiovascular therapy and prevention.* 2011;10(6):105–111. (In Russ.). <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2011-6-105-111>
6. Baroni M.G., Berni A., Romeo S., Arca M., Tesorio T., Sorropago G., Di Mario U., Galton D.J. Genetic study of common variants at the Apo E, Apo AI, Apo CIII, Apo B, lipoprotein lipase (LPL) and hepatic lipase (LIPC) genes and coronary artery disease (CAD): variation in LIPC gene associates with clinical outcomes in patients with established CAD. *BMC Med. Genet.* 2003;4(8):1–7. <https://doi.org/10.1186/1471-2350-4-8>
7. Baygi F., Herttua K., Jensen O., Djalalinia S., Ghorabi A.M., Asayesh H., Qorbani M. Global prevalence of cardiometabolic risk factors in the military population: a systematic review and meta-analysis. *BMC Endocr. Disord.* 2020;20(1):8. <https://doi.org/10.1186/s12902-020-0489-6>
8. Boos C.J., De Villiers N., Dyball D., McConnell A., Bennett A.N. The Relationship between Military Combat and Cardiovascular Risk: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int. J. Vasc. Med.* 2019;2019: 9849465. <https://doi.org/10.1155/2019/9849465>
9. Brouillette C.G., Anantharamaiah G.M., Engler J.A., Borhani D.W. Structural models of human apolipoprotein A-I: critical analysis and review. *Biochim. Biophys. Acta.* 2001;1531(1-2):4–46. [https://doi.org/10.1016/s1388-1981\(01\)00081-6](https://doi.org/10.1016/s1388-1981(01)00081-6)
10. Chetty P.S., Mayne L., Lund-Katz S., Stranz D., Englander S.W., Phillips M.C. Helical structure and stability in human apolipoprotein A-I by hydrogen exchange and mass spectrometry. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2009;106(45):19005–19010. <https://doi.org/10.1073/pnas.0909708106>

11. Crum-Cianflone N.F., Bagnell M.E., Schaller E., Boyko E.J., Smith B., Maynard C., et al. Impact of combat deployment and posttraumatic stress disorder on newly reported coronary heart disease among US active duty and reserve forces. *Circulation*. 2014;129(18):1813–1820. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.113.005407>
12. Dao-Quan Peng, Brubaker G., Zhiping Wu., Zheng L., Willard B., Kinter M., Hazen S.L., Smith J.D. Apolipoprotein A-I tryptophan substitution leads to resistance to myeloperoxidase mediated loss of function. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol*. 2008;28(11):2063–2070. <https://doi.org/10.1161/ATVBAHA.108.173815>
13. Johnson A., Rose K., Elder G., Chambless L.E., Kaufman J.S., Heiss G. Military combat and risk of coronary heart disease and ischemic stroke in aging men: The Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) study. *Ann. Epidemiol*. 2010;20(2):143–150. <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2009.10.006>
14. Kyung-Hyun Cho, Jae-Ryong Kim. A reconstituted HDL containing V156K or R173C apoA-I exhibited anti-inflammatory activity in apo-E deficient mice and showed resistance to myeloperoxidase-mediated oxidation. *Exp. Mol. Med*. 2009;41(6):417–428. <https://doi.org/10.3858/emm.2009.41.6.047>
15. Mirzaei-pour F., Seyedmazhari M., Pishgooe A., Hazaryan M. Assessment of risk factors for coronary artery disease in military personnel: A study from Iran. *J. Family Med. Prim. Care*. 2019;8(4):1347–1351. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_109_19
16. Parsons I., White S., Gill R., Gray H.H., Rees P. Coronary artery disease in the military patient. *J. R. Army Med. Corps*. 2015;161(3):211–222. <https://doi.org/10.1136/jramc-2015-000495>
17. Richardson P.E., Manchekar M., Dashti N., Jones M.K., Beigneux A., Young S.G., et al. Assembly of Lipoprotein Particles Containing Apolipoprotein-B: Structural Model for the Nascent Lipoprotein Particle. *Biophys. J*. 2005;88(4):2789–2800. <https://doi.org/10.1529/biophysj.104.046235>
18. Ulmer C.S., Bosworth H.B., Germain A., Lindquist J., Olsen M., Brancu M., et al. VA Mid-Atlantic Mental Illness Research Education and Clinical Center Registry Workgroup, Beckham JC. Associations between sleep difficulties and risk factors for cardiovascular disease in veterans and active-duty military personnel of the Iraq and Afghanistan conflicts. *J. Behav. Med*. 2015;38(3):544–555. <https://doi.org/10.1007/s10865-015-9627-4>

Информация об авторах

Закревский Юрий Николаевич — доктор медицинских наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Мурманский арктический университет», Мурманск, Россия
[E-mail: zakrevskiyun@mauniver.ru](mailto:zakrevskiyun@mauniver.ru)

Герцев Алексей Владимирович — кандидат медицинских наук, начальник терапевтического отделения ФГКУ «1469 Военно-морской клинический госпиталь» Министерства обороны Российской Федерации, Североморск, Россия
 ORCID: 0000-0001-8077-6279
 ID WoS: 35387856
 ID Scopus: 57198810794
 SPIN-код: 795-0461
 ID РИНЦ: 993090
[E-mail: starcom50@mail.ru](mailto:starcom50@mail.ru)

Information about the authors

Yury N. Zakrevsky — Dr.Sci. (Medicine), Professor, Department of Civil Defense, Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia
[E-mail: zakrevskiyun@mauniver.ru](mailto:zakrevskiyun@mauniver.ru)

Alexei V. Gertsev – Cand.Sci. (Medicine), Head, Therapeutic Department, 1469 Naval Clinical Hospital, Ministry of Defence of the Russian Federation, Severomorsk, Russia
 ORCID: 0000-0001-8077-6279
 ID WoS: 35387856
 ID Scopus: 57198810794
 SPIN-code: 795-0461
 ID RSCI: 993090
[E-mail: starcom50@mail.ru](mailto:starcom50@mail.ru)

Вклад авторов

Закревский Ю.Н. — концепция и план исследования, подготовка рукописи;

Герцев А.В. — сбор данных, анализ данных и выводы, подготовка рукописи.

Authors' contributions

Yury N. Zakrevsky — concept and plan of research, preparation of the manuscript;

Alexei V. Gertsev — data collection, data analysis and conclusions, preparation of the manuscript

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 598.2

ББК 28.693.35

<https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-82-91>



Изучение миграций птиц в изменяющихся погодных условиях с целью сохранения арктических экосистем. Часть 1: Полярная крачка (*Sterna paradisaea*)

Хохлова Л.П.¹✉, Мандрыка О.Н.²

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург, Россия
[✉ lyudmila.khokhlova5@yandex.ru](mailto:lyudmila.khokhlova5@yandex.ru)

Аннотация. Перемены погодных условий, обусловленные изменением климата, повсеместно влияют на сроки и маршруты миграций птиц. Данное исследование касается изучения годового цикла и миграций полярной крачки (*Sterna paradisaea*) — массового вида Арктики. В работе обобщены многолетние данные по динамике популяций полярной крачки. Показано определяющее влияние температуры и относительной влажности воздуха на процессы миграции для этого вида в изменяющихся погодных условиях. Полученные результаты могут лечь в основу биологического мониторинга.

Ключевые слова: Арктика, миграции птиц, годовой цикл птиц, полярная крачка, изменение погодных условий, изменение климата

Конфликт интересов: авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Хохлова Л.П., Мандрыка О.Н. Изучение миграций птиц в изменяющихся погодных условиях с целью сохранения арктических экосистем. Часть 1: Полярная крачка (*Sterna paradisaea*). *Арктика и инновации*. 2024;2(2):82–91. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-82-91>

Study of bird migrations under changing weather conditions to preserve arctic ecosystems. Part 1: Arctic tern (*Sterna paradisaea*)

Ljudmila P. Khokhlova¹✉, Olga N. Mandryka²

¹ Saint Petersburg State University. Institute of Earth Sciences, Saint Petersburg, Russia

² Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia
[✉ lyudmila.khokhlova5@yandex.ru](mailto:lyudmila.khokhlova5@yandex.ru)

Abstract. Climate-driven changes in weather conditions have a widespread impact on bird migration timing and routes. The present study examines the annual cycle and migrations of the Arctic Tern (*Sterna paradisaea*), one

of the dominant Arctic species. The long-term data on the population dynamics of the Arctic Tern are summarized. Temperature and relative air humidity are shown to be the decisive factors in the migration of this species under changing weather conditions. The obtained results can provide a basis for biological monitoring.

Keywords: Arctic, bird migration, annual cycle of birds, Arctic tern, weather change, climate change

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Khokhlova L.P., Mandryka O.N. Study of bird migrations under changing weather conditions to preserve arctic ecosystems. Part 1: arctic tern (*Sterna paradisaea*). *Arctic and Innovations*. 2024;2(2):82–91. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-82-91>

Введение

Миграционные процессы вызывают трудности в изучении, в основном из-за высокой мобильности птиц: крайне проблематично заниматься изучением перемещения отдельной особи или популяции при таких быстрых перемещениях объекта исследования.

Сложность изучения миграций птиц привела к тому, что на данный момент миграционные перемещения мало изучены. В частности, не до конца известно, какие факторы стимулируют миграцию птиц и сильнее всего влияют на их перемещение в дальнейшем. Метеорологические условия влияют на сроки миграционных передвижений, однако какие именно метеорологические элементы обладают самым сильным влиянием на миграцию птиц, до сих пор точно не определено.

В последние 30 лет происходит потепление мирового климата, и интенсивнее всего оно происходит в Арктике [1]. Изменение погодных условий в связи с потеплением климата может повлиять на зависимость миграционных процессов арктических видов птиц от различных метеорологических факторов. Необходимо изучение миграций птиц в условиях климатических изменений для определения того, как современные погодные условия влияют на миграционные передвижения птиц.

Для исследования был выбран морской вид птиц — полярная крачка (*Sterna paradisaea*). Морские птицы существуют в экотоне атмосферы и океана, используют как морскую, так и наземную среду обитания и поэтому могут быть особенно чувствительными к изменениям климата. Также они являются надежными индикаторами изменений экосистем, связанных с климатическими факторами.

Характеристика полярной крачки (*Sterna paradisaea*)

Полярная крачка (*Sterna paradisaea*) — вид птиц из семейства чайковых. Обладает небольшими размерами (33–35 см) и очень короткими лапами, вследствие чего предпочитает перемещаться только по воздуху (рис. 1). Окраска оперения взрослых размножающихся особей бледно-серая, шапочка черного цвета, ноги и клюв красного цвета. У молодых особей черная шапочка по размеру меньше, чем у взрослых, а также ноги и клюв черного цвета.

Питаются полярные крачки мелкими видами рыб, ракообразными, насекомыми. Состав кормов птиц может быть разным, в зависимости от местообитания.

Полярные крачки гнездятся в полярных областях, распространяясь по территориям возле Северного Ледовитого океана. Ареал гнездования охватывает обширные территории Евразии и Северной Америки.



Рис. 1. Полярная крачка *Sterna paradisaea* (фото С.А. Козова)

Fig. 1. Arctic Tern *Sterna paradisaea* (photo by S. Kouzov)

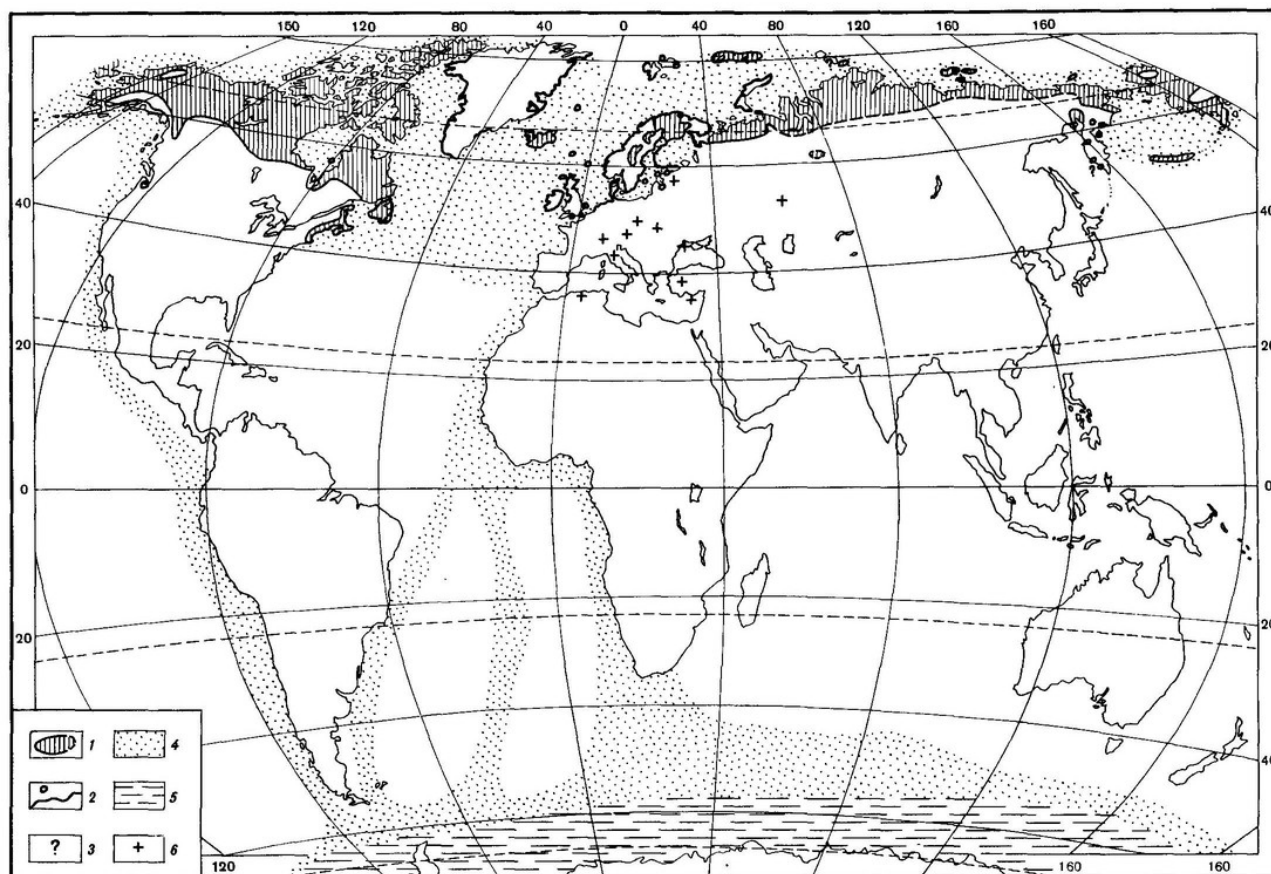


Рис. 2. Область распространения полярной крачки [2]: 1 — область гнездования (пунктиром показана неуточненная граница), 2 — гнездование на узкой прибрежной полосе и отдельные поселения, 3 — предполагаемые места гнездования, 4 — область пролета, 5 — места зимовок, 6 — залеты

Fig. 2. Distribution area of the Arctic Tern [2]: 1 — nesting area (dotted line shows the unspecified boundary), 2 — nesting on a narrow coastal strip and separate settlements, 3 — expected nesting sites, 4 — flyway area, 5 — wintering sites, 6 — visitation

Гнездование полярных крачек отмечено на побережьях в Исландии, Ирландии, Великобритании, Швеции, Дании, Финляндии (рис. 2). Также были отмечены случаи гнездования во Франции, Бельгии, Польше, но это единичные случаи, не свойственные обычному гнездовому ареалу вида. Что касается гнездования на территории России, известны гнездовые заселения полярных крачек на Ладожском озере, на побережье Кольского полуострова, Белого моря, включая Соловецкие острова. Крачки также гнездятся по всему Ямалу. В целом область гнездования крачек распространяется по всему полярному кругу России, и самым южным заселением крачек считается область на Енисее около Игарки. Полярные крачки отмечены также на островах арктической зоны России: на Новой Земле, острове Врангеля, Земле Франца-Иосифа, Новосибирских островах. Общая популяция вида составляет 3 миллиона особей.

Годовой цикл и миграционные перемещения полярной крачки

На зимовку полярные крачки отправляются в Антарктиду, пролетая через Атлантический и Тихий океаны. Птицы проникают в Антарктиду вплоть до 74° ю.ш. Данный вид птиц является одним из самых дальних мигрантов, и единственным видом, мигрирующим каждый год из Арктики в Антарктиду. За год полярная крачка может пролететь суммарно до 80 000 км.

Полярные крачки начинают летать в возрасте 21–24 дней, после чего у них начинается ювенальная миграция. Птицы перемещаются в места зимовок, в среднем первая миграция у полярной крачки длится порядка 2 месяцев. Во время зимовки, в возрасте около 100 дней, начинается постювенальная линька, которая плавно переходит в предбрачную линьку без перерыва. Больше

количество молодых птиц в первый год жизни не достигают гнездового ареала обитания и проводят лето на просторах Атлантического и Индийского океанов. На следующий, второй год жизни в годовом цикле полярных крачек наблюдаются два периода миграционной активности: послебрачная и предбрачная миграция. Эти миграционные активности объединяют гнездовую и зимовочную часть ареала [3].

Миграции птиц и влияющие на них факторы

Миграции — это передвижения, которые связаны со сменой постоянного участка обитания. Миграции занимают особенное место в годовом цикле птиц, являясь его неотъемлемой частью. Миграционные процессы необходимы для поиска подходящей кормовой базы, избегания неблагоприятных климатических условий. Данные причины миграций важны не только для выживаемости особи, но и для размножения. Период половой активности и последующего гнездования невозможен без достаточного количества пропитания и пригодных климатических условий, так как от этого напрямую зависит выживаемость будущих птенцов.

Миграционная активность имеет различные формы. Кочевой тип миграций представляет собой обязательные и географически направленные перемещения. Чаще всего причиной такого типа миграций являются внешние факторы, например недостаток кормов. При наличии достаточного количества пропитания миграция наступает только в периоды обязательных перемещений, а при отсутствии кормов миграционные перемещения продолжаются. Кочевая форма миграций характерна в основном для видов птиц, которые используют в пищу семена и плоды растений, плодоносящих не ежегодно.

Блуждающая форма миграционного поведения подразумевает под собой отсутствие обязательных перемещений. Передвижения возникают только при дефиците кормов, неблагоприятных условиях для гнездования.

Особой формой миграций является расселение молодняка, или ювенальная миграция. Такая форма миграционных переме-

щений характерна для первогодков, и она является первой миграцией в жизни особи.

Последней формой миграций являются перелеты — это дальние и направленные перемещения всех особей определенной популяции в другие климатические зоны. Принято считать, что их продолжительность и направленность закреплены наследственно у дальних мигрантов.

Современные взгляды, основанные на исследованиях поведения и физиологии птиц, указывают на то, что миграция — это регулярное, ежегодное перемещение особей, вызванное внешними факторами. Регулярность прилета и вылета является самой впечатляющей особенностью миграционных перемещений.

Факторы, влияющие на миграции птиц, можно разделить на две группы: внешние и внутренние.

К внешним факторам относятся метеорологические условия (скорость ветра, температура и др.), наличие кормовых ресурсов, пригодная территория для гнездования и длина светового дня (фотопериод).

В результате множества исследований было выявлено, что длина светового дня влияет на состояние птиц, побуждая их к подготовке к миграции. В 1926 году канадский биолог и орнитолог Уильям Роуэн обнаружил, что искусственное увеличение продолжительности светового дня зимой вызывает у мигрирующих видов преждевременное развитие таких явлений, как отложение жира, предбрачная линька. Данное исследование породило интерес орнитологов к дальнейшему изучению фотопериодического контроля сроков миграции птиц. В дальнейшем ряд исследователей продолжил изучать данный вопрос. Подобные исследования проводили американские орнитологи Альберт Вольфсон и Дональд Фарнер в 1959 и 1961 годах соответственно, а также российский и советский орнитолог Виктор Рафаэлевич Дольник в 1975 году [4]. В научных работах вышеперечисленных ученых была выявлена зависимость сроков миграций от длины светового дня для десятков видов птиц умеренных и высоких широт. Принято считать, что длина светового дня влияет на две группы физиологических функций

в организме. Фотопериод контролирует фазы околосуточных ритмов, представляя собой датчик времени. Помимо этого, фотопериод контролирует окологодовые циклы птиц. Дональд Фарнер предположил в своих работах, что эти две функции фотопериода связаны между собой: околосуточные ритмы исполняют роль биологических часов, которые измеряют длину светового дня при фотопериодическом контроле годового цикла. Виктор Дольник в 1975 году обнаружил, что наличие низкой температуры в сочетании с длинным световым днем не привело к проблемам с отложением жира у исследуемых видов птиц [5]. В то же время сочетание высоких показателей температуры и короткого светового дня не способствовало миграционному накоплению жира. Таким образом, длина светового дня является важным внешним фактором для миграционных процессов птиц.

Наличие кормовых ресурсов и пригодная для гнездования территория также являются важными факторами, влияющими на миграцию птиц. Оба этих фактора важны преимущественно после зимовки, когда птицы готовятся к размножению. Отсутствие пригодного места для гнездования заставляет особей разных видов птиц совершать дополнительные перемещения в поисках подходящей локации для гнездования. Помимо этого для успешного брачного периода и выращивания потомства необходимо наличие достаточной кормовой базы, в поисках которой птицы могут провести некоторое время, что влияет на сроки предбрачной миграции.

Метеорологические условия изменяют сроки вылета и прилета птиц, влияют на их миграционные маршруты.

К внутренним факторам относятся эндогенные окологодовые ритмы. Первые данные об окологодовых ритмах сезонных явлений у птиц были получены при изучении оседлых тропических и некоторых перелетных видов птиц в 1959 году австралийским орнитологом Джоном Маршаллом. В дальнейшем ряд экспериментов показал, что окологодовые ритмы существуют у многих видов птиц. Например, было доказано, что славка-черноголовка (*S. atricapilla*) обладает регулярными функциями годовых функций (например, миграционная линька), которые поддерживаются на протяжении множества

годовых циклов. В то же время такие функции, как набор веса, уже через год становятся аритмичными. Такие эксперименты показывают, что окологодовые ритмы птиц являются врожденными и образовались в процессе эволюции в связи с сезонным изменением окружающей среды. Предполагается, что сроки миграций и скорость прохождения миграционного маршрута также являются наследуемыми признаками, которые образовались благодаря естественному отбору [5].

На сегодняшний день остается открытым вопрос, какие факторы являются преобладающими для начала миграций. Долгое время в течение прошлого столетия считалось, что решающими для миграционных перемещений птиц являются внешние факторы, так как для перелетов необходимы подходящие погодные условия. Многочисленные эксперименты, проведенные в лабораторных условиях, свидетельствуют о том, что эндогенные окологодовые ритмы, фотопериоды задают время начала развития миграционного состояния. Однако внешние факторы могут существенно повлиять на сроки отлета и прилета птиц и на время их нахождения на миграционном маршруте. Таким образом, и внешние, и внутренние факторы контролируют миграционные процессы птиц и нуждаются в одинаково пристальном изучении.

Влияние погодных условий на миграции птиц

Климат и погода имеют моделирующее и стимулирующее значение для миграционных процессов у птиц. Метеорологические условия могут разными способами влиять на миграции птиц, меняя направление полета, сроки прохождения миграционного маршрута, иногда даже приводя к летальному исходу. К примеру, массивные дождевые фронты могут помешать свободному пролету стаи в период миграции, вследствие чего птицам придется поменять курс полета. Птицы могут избегать миграционных перелетов под воздействием холодных воздушных масс, и в то же время при определенных погодных условиях миграция может усилиться. Например, осенняя миграция в высоких широтах северного полушария соотносится с перемещением зоны низкого давления антициклонами. В весеннее время миграционные

пролеты птиц происходят в условиях благоприятной погоды, когда приближается фронт низкого давления [6].

Основными метеорологическими элементами, влияющими на миграции птиц, принято считать температуру, относительную влажность воздуха, количество атмосферных осадков и атмосферное давление. Перечисленные метеорологические элементы используются в данной работе для анализа их влияния на миграции исследуемых видов птиц.

В ряде исследований, посвященных проблеме зависимости миграций птиц от погодных условий, содержится достаточно противоречивая информация касательно того, какие метеорологические факторы являются наиболее значимыми во время миграционных процессов птиц. Однако подавляющее большинство исследователей склоняется к тому, что на интенсивность миграции птиц больше всего влияют три метеорологических фактора: температура, влажность и атмосферные осадки [7].

Птицы особенно чувствительны к изменениям атмосферного давления во время полета, снижаясь к земле при циклоне, так как у земли давление выше, чем на высоте. В ясную погоду птицы поднимаются вверх, так как у поверхности земли оно высокое, и при помощи набора высоты птицы сбрасывают давление. Слабоизученным является влияние атмосферного давления на механизмы миграций птиц, однако есть предположения, что на начало осенних миграций птиц влияет повышенное атмосферное давление [8].

Ключевое значение метеорологические условия приобретают в моменты начала миграции [9]. Ряд птиц может мигрировать при любых условиях, однако для подавляющего большинства необходимо благоприятное стечение погодных условий для начала миграционных передвижений.

За последние 10 лет потепление климата в Арктике идет примерно в 4 раза быстрее, чем в остальном мире. Ускоренное потепление Арктики происходит на протяжении последних 20 лет и, вероятнее всего, будет происходить и дальше. По данным наблюдений, температура воздуха в Арктике за последнее столетие увеличивалась почти

вдвое быстрее, чем средняя температура Земли. С 1980-х гг. температура в холодное время года на большей части Арктического пояса увеличивалась примерно на 1 °C за десятилетие [10].

Данные спутникового мониторинга арктических льдов показали, что за последние 30 лет значительно сократилась площадь оледенения (на 15–20 %). Также данные спутникового наблюдения определили, что за последнее десятилетие уменьшилась среднегодовая площадь льдов в Арктике на 3 %. Особенно заметна динамика летнего льда. Начиная с 2002 года отмечались все более глубокие минимумы летней площади льда, а в 2007 году был достигнут абсолютный минимум за период спутниковых наблюдений с 1979 года — 4,3 млн км². Таяние арктических льдов приводит к усилению потепления в регионе вследствие так называемой положительной обратной связи: повышение температуры приводит к усиленному таянию ледового покрова Арктики. При большом количестве не покрытой льдом воды или земли без снега происходит повышенное поглощение солнечного излучения, так как в данных случаях нет отражающей поверхности белого цвета [11].

Методы исследования

Методом системного анализа обработаны сведения из «Российского орнитологического журнала» по встречаемости полярной крачки за 30 лет (1990–2020 гг.). Был собран массив данных, включающий в себя информацию о 167 встречах крачек. Данные включают в себя место наблюдения за птицей и дату наблюдения. Вся информация была собрана при помощи материалов «Русского орнитологического журнала». Также были собраны метеорологические данные с 16 гидрометеорологических станций западного сектора Российской Арктики. Массив метеорологических данных включает в себя среднемесячные значения температуры, влажности воздуха, атмосферного давления и среднемесячное количество атмосферных осадков за 30 лет (1990–2020 гг.). Данные были собраны при помощи архивов Государственного фонда данных о состоянии окружающей среды, которые включают в себя десятки архивов по различным разделам изучения природной среды за период с 1874 г. по настоящее время (рис. 3).

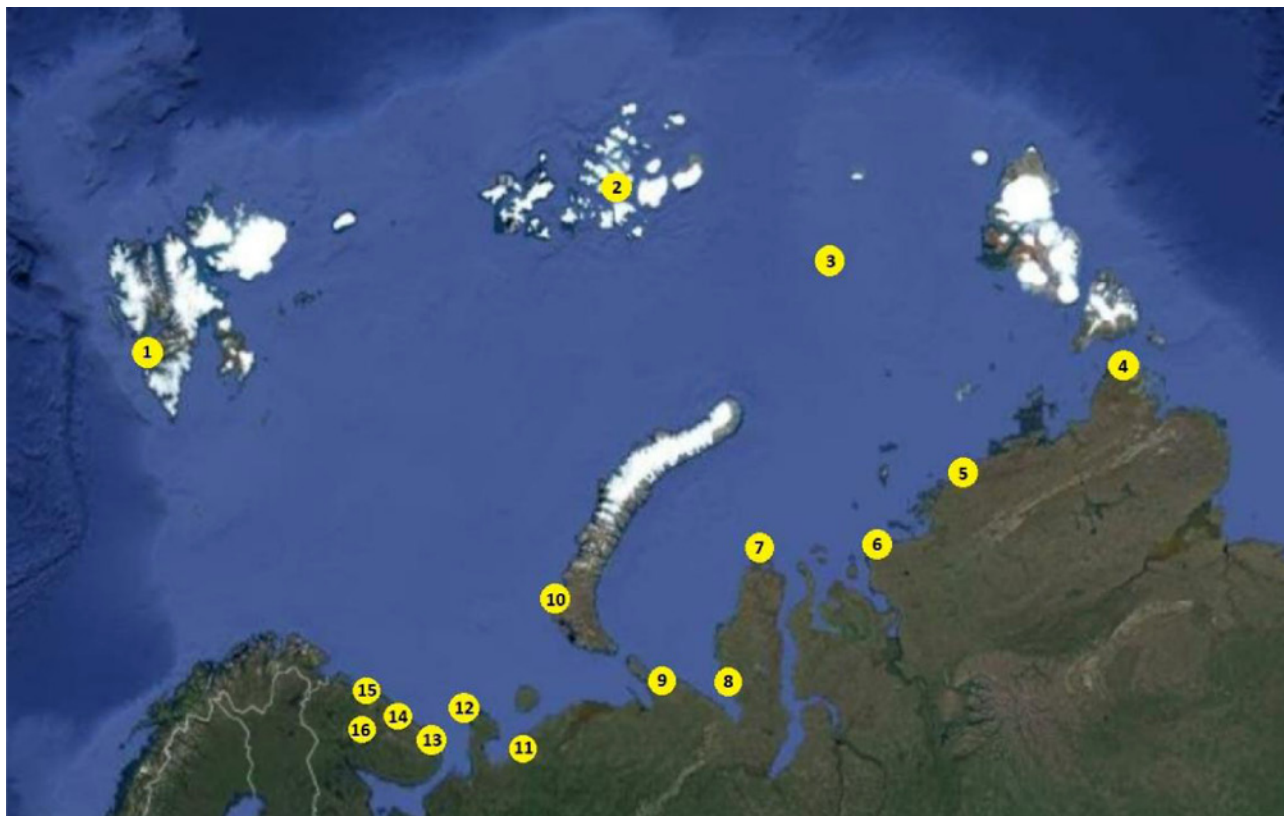


Рис. 3. Расположение выбранных для исследования ГМС в западном секторе Арктики [QGIS]

1) Баренцбург, ВМО 20107; 2) Им. Э. Т. Кренкеля, ВМО 20046; 3) остров Визе, ВМО 20069; 4) Им. Е.К. Федорова, ВМО 20292; 5) Стерлегова, ВМО 204764; 6) Диксон, ВМО 20674; 7) Им. М.В. Попова, ВМО20667; 8) Марресаля, ВМО 23032; 9) Амдерма, ВМО 23022; 10) Малые Кармакулы, ВМО 20744; 11) Индига, ВМО 22292; 12) Канин Нос, ВМО 22165; 13) Святой Нос, ВМО 22140; 14) Териберка, ВМО 22028; 15) Вайда-Губа, ВМО22003; 16) Мурманск, ВМО 20292

Fig. 3. Location of hydrometeorological stations selected for the study in the western sector of the Arctic [QGIS]

1) Barentsburg, BMO 20107; 2) E. T. Krenkel, BMO 20046; 3) Wiese Island, BMO 20069; 4) E. K. Fedorov, BMO 20292; 5) Sterlegov, BMO 20476; 6) Dikson, BMO 20674; 7) M. V. Popov, BMO 20667; 8) Marresale, BMO 23032; 9) Amderma, BMO 23022; 10) Malye Karmakuli, BMO 20744; 11) Indiga, BMO 22292; 12) Kanin Nos, BMO 22165; 13) Svyatoy Nos, BMO 22140; 14) Teriberka, BMO 22028; 15) Vayda-Guba, BMO 22003; 16) Murmansk, BMO 20292

Далее были отобраны ряды данных, соответствующие определенным условиям. Главной целью исследования было изучить влияние изменения погодных условий на миграции птиц. Для достижения поставленной цели из общего массива данных были отобраны только те встречи птиц, которые соответствуют определенным условиям.

1. Наблюдение птиц было произведено во время начала миграции (предбрачной, послебрачной, послелиночной).

2. Место наблюдения птиц находится близко к одной из 16 гидрометеорологических станций, данные которых используются в работе.

Последнее условие необходимо для использования метеорологических данных с самых

близких по расположению к местам наблюдения за птицами гидрометеорологических станций. Таким образом, при наличии данных, соответствующих вышеперечисленным условиям, представляется возможным произвести анализ влияния метеорологических условий на миграцию птиц.

Все данные охватывают период 30 лет, а именно 1990–2020 гг. Изменение климата Арктики, его потепление происходит с повышенной скоростью с конца прошлого столетия. Климатические изменения могут варьировать восприимчивость птиц во время миграций к различным метеорологическим условиям, снижая или увеличивая чувствительность животных к тем или иным метеорологическим факторам.

При анализе данных были получены следующие заключения.

1. Полярные крачки преимущественно начинали миграционные перемещения при более высоких температурах по сравнению с двумя прошлыми месяцами наблюдения. Более прогретый воздух способствует упрощению полета, так как теплый воздух легче холодного, что позволяет птице легче набирать необходимую высоту.

2. Не была выявлена сильная зависимость между количеством выпавших атмосферных осадков и сроками отлета исследуемого вида птиц. Меньше половины полярных крачек во время наблюдений улетали в месяцы с меньшим количеством выпавших атмосферных осадков. В силу того что в Арктике достаточно скудные осадки круглогодично (100–200 мм в год), ежемесячные показатели количества атмосферных осадков в месяц встречи и за 2 месяца до наблюдения птицы являются невысокими, и даже высокие показатели являются низкими по сравнению с количеством осадков в остальном мире. Можно предположить, что количество осадков в Арктике не влияет на миграцию птиц в силу их небольшого количества круглогодично.

3. Подавляющее количество птиц исследуемого вида начинали перемещения в месяцы с пониженной относительной влажностью атмосферного воздуха.

4. Атмосферное давление не влияет на начало миграций исследуемого вида птиц, так как показатели данного параметра могут быть как высокими, так и низкими во время начала перемещений особей.

5. Отобранные для анализа данные охватывают промежуток 30 лет. За данный период в Арктике произошло повышение температуры, увеличение количества выпадающих

атмосферных осадков. Показатели относительной влажности воздуха и атмосферного давления практически не изменились. Изменения показателей метеорологических параметров во времени не сказались на чувствительности полярной крачки к определенным параметрам, и в течение всего периода исследования наблюдается одинаковая тенденция к особенной восприимчивости птицами температуры и относительной влажности воздуха при начале миграционных передвижений.

Заключение

Изучение миграций птиц в условиях Арктики является крайне сложной задачей. Суровый климат, отсутствие орнитологических станций и малое количество полноценных исследований привели к малоизученности данного природного явления. В связи с плохой изученностью миграций птиц плохо исследованы влияющие на них факторы. Погодные условия обладают влиянием на миграционные передвижения птиц, однако до сих пор не было выявлено, какие метеорологические элементы больше всего воздействуют на перемещения животных. В ходе данного исследования была предпринята попытка изучить влияние изменяющихся погодных условий на миграции полярной крачки (*Sterna paradisaea*), используя данные о встречах данного вида и метеорологические данные за 30 лет. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что изменения климатических условий не сказались на чувствительности вида к определенным параметрам, сохраняются общая тенденция к особенной восприимчивости птицами температуры и относительной влажности воздуха при начале миграционных перемещений.

Список литературы

1. Хохлова, Л. П., Мандрыка, О.Н. Влияние долговременных климатических изменений на состояние Арктической экосистемы / Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ : Сборник тезисов Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Российского государственного гидрометеорологического университета, Санкт-Петербург, 22–24 октября 2020 года. — Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2020. — С. 556–557.
2. Гаврило, М.В., Краснова, Е.Д., Спиридонова В.А. Атлас биологического разнообразия морей и побережий Российской Арктики. — М.: WWF России, 2011. — 64 с.

3. Носков Г.А., Рымкевич Т.А., Гагинская А.Р. Миграции птиц Северо-Запада России. Неворобьиные. — СПб: Профессионал, 2016. — С. 16–18.
4. Дольник В.Р. Миграционное состояние птиц. — М.: Наука, 1975. — С. 398.
5. Носков Г.А., Рымкевич Т.А. Миграционная активность в годовом цикле птиц и формы ее проявления / Зоологический журнал. — 2008. — Т. 87. — № 4. — С. 446–457.
6. Мацюра А.В. Миграция птиц и метеорологические параметры: краткий обзор. Часть I. — Acta Biologica Sibirica. 2015. № 1–2.
7. Дольник В. Р. Динамическая модель прогноза миграции птиц // Методы обнаружения и учета миграций птиц. — Л., 1981. — С. 123–133.
8. Жалакявичус М. Связь миграций птиц с погодными условиями. Моделирование и прогнозирование / Изучение, моделирование и прогнозирование сезонных миграций птиц, Вильнюс, — 1987. — С. 116–149.
9. Richardson, W.J. Reorientation of nocturnal landbird migrants over the Atlantic ocean near Nova Scotia on autumn. — 1978. — Auk. 95, 717–732.
10. Мандрыка, О. Н., Хохлова, Л.П. Влияние климатических изменений на состояние арктических биоресурсов / Arctic days in St. Petersburg — 2021: international scientific cooperation in the Arctic in the era of climate change: International Scientific and Practical Conference: Abstracts, St. Petersburg, 25–26 ноября 2021 года. — St. Petersburg: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2021. — С. 79–84.

References

1. Khokhlova, L. P., Mandryka, O.N. The impact of long-term climatic changes on the state of the Arctic ecosystem / Modern problems of hydrometeorology and environmental monitoring in the CIS: A collection of abstracts of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 90th anniversary of the Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, October 22–24, 2020. — St. Petersburg: Russian State Hydrometeorological University, 2020. — pp. 556–557.
2. Gavrilov, M.V., Krasnova, E.D., Spiridonova V.A. Atlas of biological diversity of the seas and coasts of the Russian Arctic. — M.: WWF Russia, 2011. — 64 p.
3. Noskov, G.A., Rymkevich, T.A., Gaginskaya, A.R. Migrations of birds of the North-West of Russia. Non-Passerine. — St. Petersburg: Professional, 2016. — pp. 16–18.
4. Dolnik, V.R. Migration status of birds. — M.: Nauka, 1975. — p. 398.
5. Noskov, G.A., Rymkevich, T.A. Migration activity in the annual cycle of birds and the forms of its manifestation / Zoological Journal. — 2008. — Vol. 87. — No. 4. — pp. 446–457.
6. Matsyura, A.V. Bird migration and meteorological parameters: a brief overview. Part I. — Acta Biologica Sibirica. 2015. No. 1–2.
7. Dolnik, R. Dynamic model of bird migration forecast // Methods of detection and accounting of bird migrations. — L., 1981. — pp. 123–133.
8. Zhalakeviciu, M. The connection of bird migrations with weather conditions. Modeling and forecasting / Study, modeling and forecasting of seasonal bird migrations, Vilnius, — 1987. — pp. 116–149.
9. Richardson, W.J. Reorientation of nocturnal migratory birds over the Atlantic Ocean near Nova Scotia in autumn. — 1978. — Auk. 95, 717–732.
10. Mandryka, O. N., Khokhlova, L.P. The impact of climate change on the state of Arctic bioresources / Arctic days in St. Petersburg — 2021: international scientific cooperation in the Arctic in the era of climate change: International Scientific and Practical Conference: Abstracts, St. Petersburg, November 25–26, 2021. — St. Petersburg: Russian State Hydrometeorological University, 2021. — pp. 79–84.

Сведения об авторах

Хохлова Людмила Павловна — ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия
e-mail: lyudmila.khokhlova5@yandex.ru

Information about the authors

Ljudmila P. Khokhlova — Institute of Earth Sciences, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia
e-mail: lyudmila.khokhlova5@yandex.ru

Мандрыка Ольга Николаевна — кандидат биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург, Россия

Olga N. Mandryka — Cand.Sci. (Biology), Associate Prof., Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia

Вклад авторов

Хохлова Л.П. —
Мандрыка О.Н. —

Authors' contributions

Ljudmila P. Khokhlova —
Olga N. Mandryka —

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.011.14

ББК 20.1:38



<https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-92-101>

Перспективы применения древесины перекрестно-клееной в условиях Арктики

Агафонов С.А., Михеев П.Ю.✉, Углов А.К.

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия

✉ vechkin@rambler.ru

Аннотация. В статье исследованы перспективы применения древесины перекрестно-клееной (ДПК) в Арктической зоне Российской Федерации (АЗ РФ) для строительства зданий различного функционального назначения. Рассмотрена технология производства ДПК. Приведены примеры применения ДПК при строительстве зданий различного функционального назначения в мире и России. Проанализированы технические характеристики ДПК и их преимущества при использовании для строительства в АЗ РФ.

Ключевые слова: древесина перекрестно-клееная, технические характеристики, Арктика, строительство, здание

Конфликт интересов: авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Агафонов С.А., Михеев П.Ю., Углов А.К. Перспективы применения древесины перекрестно-клееной в условиях Арктики. *Арктика и инновации*. 2024;2(2):92–101. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-92-101>

Prospects for the application of cross-laminated timber under Arctic conditions

Sergei A. Agafonov, Pavel Yu. Mikheev✉, Alexey K. Uglov

Peter the Great State Polytechnical University, Saint Petersburg, Russia

✉ vechkin@rambler.ru

Abstract. Prospects for applying cross-laminated timber (CLT) in the construction of buildings for various functional purposes in the Arctic zone of the Russian Federation are investigated. A CLT manufacturing technology is considered. Examples of CLT use in the construction of buildings for various functional purposes in the Russian and international practice are provided. The technical characteristics of CLT and its advantages when used for construction in the Russian Arctic are analyzed.

Keywords: cross-laminated timber, CLT, technical characteristics, Arctic, construction, building

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Agafonov S.A., Mikheev P.Yu., Uglov A.K. Prospects for the application of cross-laminated timber under arctic conditions. *Arctic and Innovations*. 2024;2(2):92–101. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-92-101>

Глобальная конкуренция за ресурсы и транспортные коммуникации трансформирует Арктический регион из мировой периферии в зону пристального внимания. Арктическая зона Российской Федерации (АЗ РФ) включает в себя 9 регионов. Четыре относятся к ней полностью, а пять — частично (рис. 1). Площадь Арктической зоны составляет 4,8 млн км² (порядка 28 % территории страны). Здесь проживает около 2,6 млн чел. [1].

В 2022 г. был подписан Указ Президента РФ от 26.10.2020 № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» [2]. В предложенной стратегии низкий уровень доступности благоустроенного жилья назван в числе основных угроз национальной безопасности в Арктике. Ядром государственной политики является инновационная модернизация, способная обеспечить устойчивое социально-экономическое развитие, модернизацию инфраструктуры, создание новых высококвалифицированных рабочих мест, повышение качества жизни населения, развитие сообществ коренного населения, охрану местных экосистем. В том числе посредством преодоления ограниченности инфраструктуры ар-

ктической транспортной системы — Северного морского пути (СМП).

Социально-экономическое развитие АЗ РФ связано со значительными сложностями, связанными с ее удаленностью, экстремальными природно-климатическими условиями региона (низкие температуры, длительные периоды темноты, вечномёрзлые грунты, короткий летний сезон и т.д.) и высокими затратами при реализации традиционных строительных решений. Кроме того, строительство в Арктическом регионе сопряжено с экологическими рисками. Все это требует поиска и применения эффективных и адаптивных технологий и строительных материалов для возведения зданий различного функционального назначения и формирования природно-технических систем.

Достигнутый в последние годы значительный прогресс в области технологий производства, совершенствовании методик расчета и конструирования клееных деревянных конструкций (КДК) и накопленный позитивный опыт строительства и эксплуатации зданий и сооружений различной степени сложности из древесины и ее производных [3, 4] позволяют все более широко применять КДК в строительной индустрии. Использование

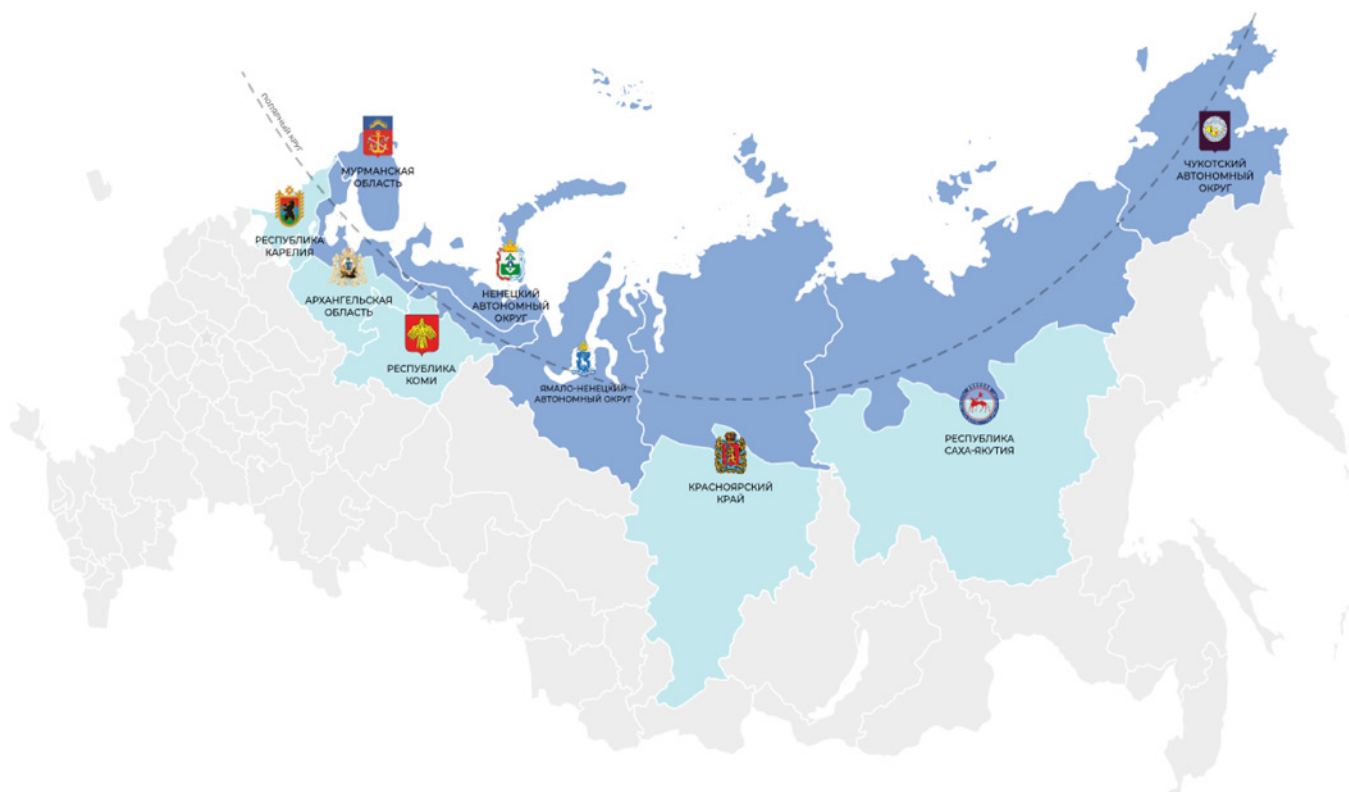


Рис. 1. Арктическая зона Российской Федерации [1]

Fig. 1. Arctic zone of the Russian Federation [1]

КДК в строительстве приобретает все большие масштабы в мире и России. Согласно данным, приведенным в [5], объем рынка клееной древесины в мире в 2023 г. составил 360,41 млрд долл. Ожидается, что в 2024 г. он составит 381,42 млрд долл., к 2030 г. достигнет 542,68 млрд долл. (рост порядка 6 % в год).

Объем ввода зданий с использованием деревянных конструкций в России вырос в 2023 г. по сравнению с 2021 г. на 31 % и составил 14,2 млн м². При этом в сегменте клееной древесины рост составил порядка 13 % [6].

Строительные изделия из клееной древесины позволяют формировать ограждающие, вертикальные (стены, стойки) и горизонтальные (перекрытия и покрытия, ригели) несущие элементы остова здания или сооружения, в том числе комбинируя их с более «традиционными» строительными материалами.

В настоящей статье внимание авторов сфокусировано на одном из наиболее перспективных видов КДК — древесине перекрестно-клееной (ДПК) (англ. назв. Cross-Laminated Timber = CLT), привлекающей внимание участников рынка и исследователей строительных конструкций [7, 8]. Согласно оценкам специалистов, ежегодно мировой рынок ДПК растет примерно на 14 % и к 2023 г. достигнет 2 млрд долл. [9].

Технология производства ДПК (используемые в зарубежных источниках наименования и торговые марки: CLT, X-lam, Cross-lam, KLN, Holz-massiv) в ее современном исполнении была разработана в начале 1990-х годов в Германии и Австрии, а к 2000-м гг. материал получил широкое распространение при возведении строительных конструкций зданий и сооружений во многих странах мира. Конструктивные элементы из ДПК сегодня рассматриваются как экологически чистая альтернатива железобетонным конструкциям и производятся большим количеством предприятий как в России, так и за рубежом [10–12].

ДПК представляют собой многослойную конструкцию, в которой ламели уложены послойно и склеены между собой во взаимно перпендикулярном направлении. Геометрические размеры элементов фактиче-



Рис. 2. Общий вид ДПК [12]

Fig. 2. CLT general view [12]

ски ограничены только технологическими и логистическими возможностями производителя. Толщина готового изделия варьируется в диапазоне от 60 до 400 мм, длина может достигать 20 м, а ширина — 3,5 м и более. Число слоев в одном таком элементе может достигать 11, но наиболее распространенными являются 3-, 5- и 7-слойные ДПК. На рисунке 2 показан общий вид ДПК, стрелки указывают на направление ламелей в склеиваемых слоях.

Технология производства ДПК предусматривает следующие этапы [12]:

- 1) сушка до влажности 8–12 %, отбор, проверка влажности и классификация пиломатериала;
- 2) сортировка и отбор пиломатериала по группам;
- 3) продольное фрезерование пиломатериалов;
- 4) торцовка заготовок, нарезка зубчатого шипа, нанесение клеевого состава, сращивание по длине и укладка ламелей в слой будущего изделия;
- 5) нанесение клея на верхнюю поверхность слоя;
- 6) укладка слоев изделия;
- 7) прессование склеенных слоев изделия;
- 8) формирование готового строительного элемента — выполнение отверстий и проемов, шлифовка поверхностей изделия.

Технология изготовления ДПК позволяет в значительной степени снизить влияние недостатков древесины, вызванных ее естественным произрастанием, таких как анизотропия строения, наличие пороков и ограниченность сортамента геометрических размеров поперечных сечений применяемых пиломатериалов. При этом можно в более полной мере использовать преимущества этого строительного материала, к которым необходимо отнести: низкую плотность, высокий коэффициент конструктивного качества

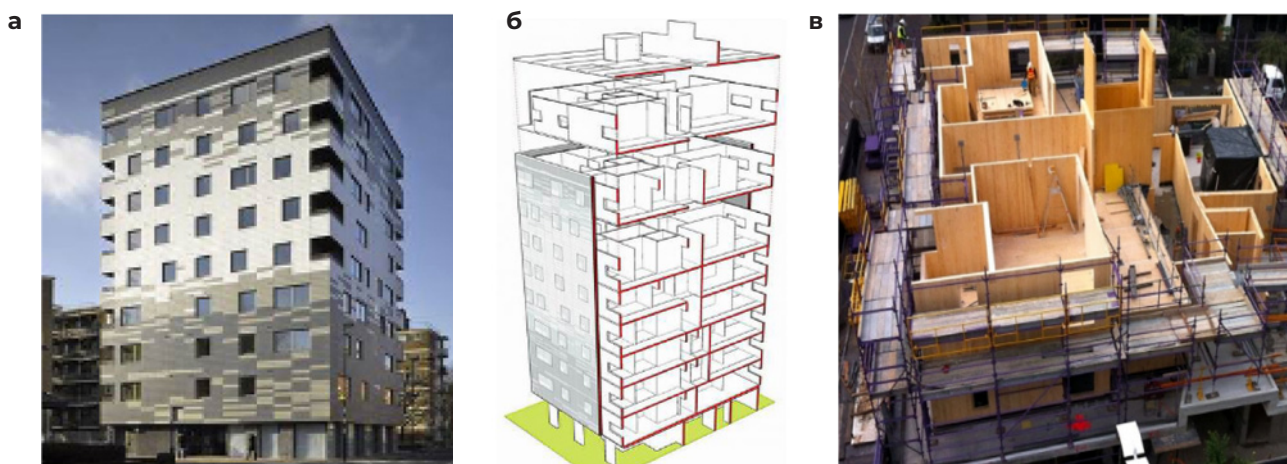


Рис. 3. Многоэтажный жилой дом Stadthaus (г. Лондон, Великобритания): а — фасад здания; б — конструктивная система; в — процесс возведения здания [13]

Fig. 3. Stadthaus multistory residential building (London, UK): а — facade; б — structural system; в — building erection process [13]

(отношение прочности к средней плотности), высокую коррозионную стойкость и низкую теплопроводность. Таким образом, технология позволяет сделать материал более прогнозируемым, обеспечить высокую надежность и конструктивную безопасность зданий и сооружений, а также снизить материалоемкость конструктивных решений.

На сегодняшний день в мире реализовано большое количество проектов зданий различного функционального назначения из ДПК, которые используются в качестве несущих и ограждающих конструкций. Одним из самых первых и в какой-то степени знаковых объектов, построенных с использованием ДПК, является многоэтажный жилой дом Stadthaus, расположенный в г. Лондоне (Великобритания). В данном здании ДПК используются в качестве несущих и ог-

раждающих конструкций. Лестнично-лифтовые узлы из ДПК образуют несущий остов («ядро жесткости») здания, вокруг которого располагаются жилые квартиры. Нагрузка перераспределяется между этим остовом и «сотовой» структурой внутренних и наружных стен (рис. 3).

ДПК активно применяются в северных странах со сложными климатическими условиями. Например, 2009 г. в г. Векше (Швеция) был введен в эксплуатацию жилой комплекс Limnologen, состоящий из 4-х жилых зданий высотой восемь этажей (рис. 4).

В Финляндии в г. Ювяскюля в 2015 г. был построен жилой комплекс Puukuokka Housing Block, состоящий из трех разноэтажных зданий (6–8 этажей). Общая площадь зданий жилого комплекса составляет 18 650 м².



Рис. 4. Жилой комплекс Limnologen (г. Векше, Швеция): а — общий вид жилого комплекса; б — фасад одного из жилых домов; в — элементы остекления на фасаде одного из зданий [14]

Fig. 4. Limnologen residential complex (Växjö, Sweden): а — general view of the residential complex; б — facade of one of the residential buildings; в — vitrification facade elements of one of the buildings [14]

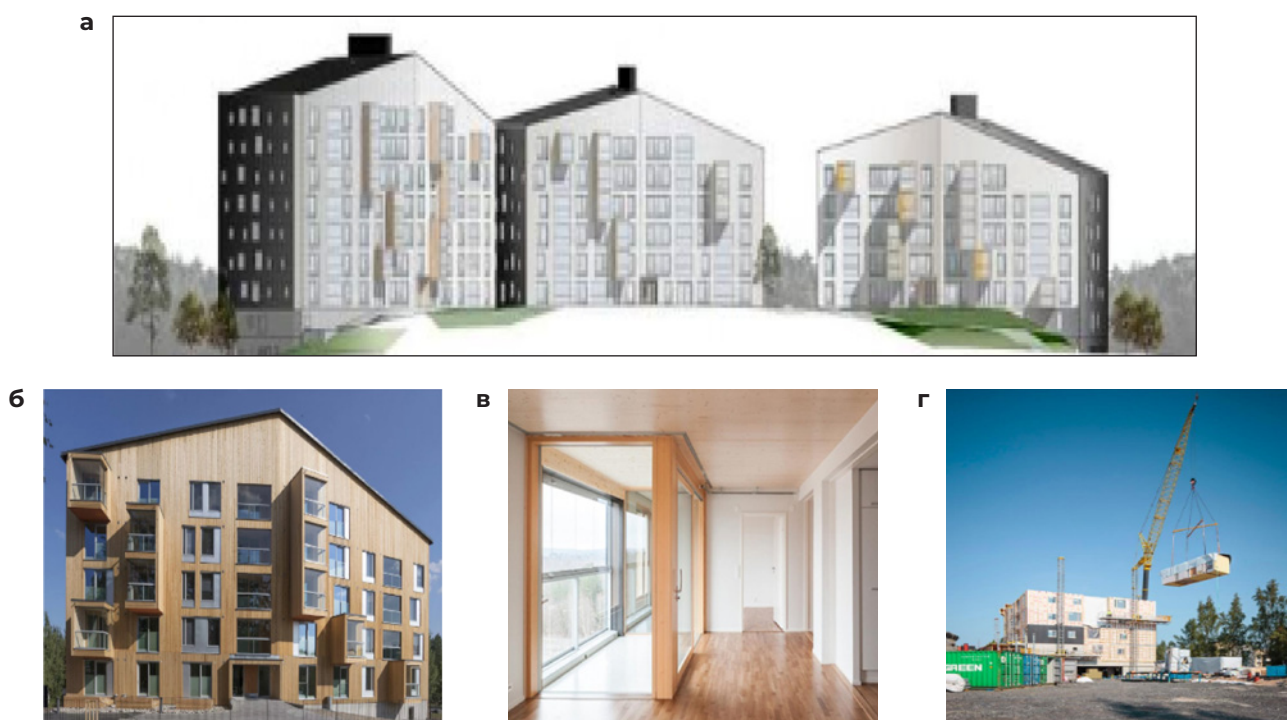


Рис. 5. Жилой комплекс Puukuokka Housing Block (г. Ювяскюля, Финляндия): а — архитектурная модель жилого комплекса; б — фасад одного из зданий жилого комплекса; в — интерьер одной из квартир здания; г — процесс строительства здания (монтаж модулей) [15]

Fig. 5. Puukuokka Housing Block residential complex (Jyväskylä, Finland): а — architectural model of the residential complex; б — facade of one of the buildings; в — interior of an apartment in the building; г — construction process of the building (installation of modules) [15]

Компоновка жилого комплекса и каждого отдельного здания следует очертаниям природного ландшафта (рис. 5) [15].

Показательным проектом последнего времени является первый в России малоэтажный комплекс жилых зданий (высотой 4 этажа) из ДПК, сданный в эксплуатацию в начале 2023 г. (рис. 6). Объект был реализован хол-



Рис. 6. Комплекс малоэтажных жилых зданий (г. Сокол, Вологодская обл.) [16]

Fig. 6. Complex of low-rise residential buildings (Sokol, Vologda Oblast) [16]

дингом Segezha Group (входит в АФК «Система») в г. Соколе (Вологодская обл.). Каждое здание комплекса включает 32 одно- и двухкомнатные квартиры площадью от 48 до 65 кв. м.

К основным преимуществам технологии ДПК, которые способствуют их все более активному использованию, необходимо отнести [17–21]:

- низкую энергоемкость процесса производства в сравнении с производством «традиционных» строительных материалов;
- высокие физико-механические характеристики материала позволяют использовать его для формирования ответственных элементов конструкции — дисков и диафрагм жесткости, несущего остова здания или сооружения;
- легкость строительных элементов и конструкций, позволяющая снизить нагрузки на основание и облегчить конструкции фундаментов;
- высокую степень заводской готовности строительных изделий, позволяющую сократить использование строительной техники и практически исключить сложные

и ресурсоемкие операции при производстве строительно-монтажных работ (СМР), а также значительно повысить скорость возведения зданий и сооружений;

- низкую теплопроводность;
- экологичность;
- сейсмостойкость конструктивных систем на основе ДПК;
- долговечность.

Одним из ключевых вопросов в условиях Арктики является энергоэффективность зданий. Важно подчеркнуть, что теплопроводность ДПК составляет 0,13 Вт/м×°С. Это значительно ниже, чем у железобетона, кирпича, пенобетона и др. Теплоемкость ДПК составляет 2,0 Дж/кг×°С, что более чем в 2 раза превышает теплоемкость железобетона и кирпича (0,88 Дж/кг×°С и 0,84 Дж/кг×°С соответственно) (табл. 1).

Низкая теплопроводность ДПК в условиях Арктики позволит зданиям сохранить комфортную температуру внутри здания и снизить расходы на тепловую энергию.

Как уже было сказано выше, ДПК обладают низкой плотностью и, как следствие, небольшим удельным весом по сравнению с «традиционными» строительными материалами (табл. 2).

Малый собственный вес конструкций из ДПК позволяет отказаться от мощных монолитных фундаментов, изготовление которых в условиях Арктики представляет собой непростую и дорогостоящую задачу. Здания из ДПК могут быть смонтированы на различных типах свайных фундаментов (винтовые, забивные и т.д.), а также на существующих фундаментах, что особенно актуально для некоторых городов АЗ РФ, где остались фундаменты от демонтированных старых трех- и пятиэтажек. Таким образом, применение ДПК позволяет снизить нагрузку от надземных строительных конструкций на основания в сложных инженерно-геологических условиях вечной мерзлоты (в том числе отступающей) и стабилизировать их состояние.

Отдельно следует отметить, что технология изготовления строительных элементов из ДПК позволяет сделать этот материал высокотехнологичной и экологически чистой альтернативой железобетонным и каменным конструкциям. Так, по результатам проведенных испытаний на перекося разруша-

Таблица 1. Теплопроводность строительных материалов [17, 18]

Table 1. Thermal conductivity of building materials [17, 18].

Наименование материала	Теплопроводность, λ Вт/м ² ×°С
ДПК	0,13
Профилированный брус	0,18
Бетон ячеистый (1000 кг/м ³)	0,41
Керамический кирпич (пустотелый)	0,58
Кирпич глиняный	0,70
Железобетон (2400 кг/м ³)	1,92
Пенобетон (1000 кг/м ³)	0,20
Керамзитобетон (1800 кг/м ³)	0,67

Таблица 2. Плотность строительных материалов [19, 20]

Table 2. Density of building materials [19, 20]

Наименование материала	Плотность ρ , кг/м ³
ДПК	480–500
Железобетон	2400
Глиняный кирпич	1800
Шлакобетон	1800
Керамзитобетон	1600
Бетон ячеистый	1000

ющая статическая нагрузка, по достижении которой работа образцов перешла в стадию пластических деформаций, составила 120 тс для 5-слойной панели и 115 тс для 7-слойной панели. Для сравнения, разрушающая нагрузка для железобетона (толщина 100 мм, армирование — сетка стержней диаметром 16 мм) — 30 тс, для одинарной кирпичной кладки — 20 тс, кладки, усиленной железобетоном, — 30 тс [21–23].

Технология производства и обработки ДПК открывает широкие возможности ее применения в производстве конструкций и элементов для модульного строительства, что весьма актуально для условий Арктического региона. Такой тип строительного производства находит все более широкое применение в строительной индустрии как в мире, так и в РФ благодаря сокращению сроков строительства, увеличению прогнозируемости экономических и качественных характеристик объектов строительства [24, 25].

Возможность повышения степени индустриализации, т.е. переноса значительной части ответственных операций в контролируемые условия, позволяет оптимизировать затраты, исключить ресурсоемкие процессы при выполнении СМР непосредственно на строительной площадке, вывести работы по монтажу за пределы короткого строительного сезона, что весьма

актуально при перспективном развитии АЗ РФ [24].

Таким образом, расширение практики возведения зданий и сооружений из ДПК в условиях Арктики позволит эффективно реализовать инновационную модернизацию и обеспечить устойчивое социально-экономическое развитие инфраструктуры СМП и АЗ РФ в целом.

Список литературы

1. Арктические регионы России [интернет]. Режим доступа: <https://as.arctic-russia.ru/use-ful/> (дата доступа 23.04.2024).
2. Указ Президента РФ от 26.10.2020 № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» [интернет]. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202010260033> (дата доступа 23.04.2024).
3. Погорельцев А.А., Пятикрестовский К.П. Дальнейшее развитие и совершенствование норм проектирования конструкций из древесины. Промышленное и гражданское строительство. 2019;(3):35–41.
4. Герасимович А.А., Агафонов С.А. Обзор мирового опыта проектирования и строительства многоэтажных зданий на основе клеёных деревянных конструкций. Вестник магистратуры. 2020;(5-3):70–77.
5. Global Engineered Wood Market by Type (Cross-Laminated Timber, Glued Laminated Timber, Laminated Veneer Lumber), Application (Non-Residential, Residential) — Forecast 2024-2030; 2024.
6. Аналитический отчёт Discovery research group. Анализ рынка клеёного бруса и деревянных клеёных конструкций в России [интернет]. Режим доступа: https://drgroup.ru/components/com_jshopping/files/demo_products/Demo.Analiz-rynka-kleenogo-brusa-i-derevyannykh-kleenikh-konstruktsij-v-Rossii.pdf.
7. Смирнов П.Н., Устименко К.А., Ломакин А.Д., Аксенов К.А. Стойкость древесины перекрестноклееной к атмосферным воздействиям. Вестник НИЦ «Строительство». 2022. 35(4):104–116.
8. D'Amico B., Pomponi F., Hart J. Global Potential for Material Substitution in Building Construction: The Case of Cross Laminated Timber. Journal of Cleaner Production. 2021;279:123487. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123487>
9. Cross Laminated Timber (CLT) Market Size — By Raw Materials (Spruce, Fir, Pine, Larch), By Press Type (Hydraulic, Vacuum, Pneumatic, Nails), By Application (Residential, Commercial, Industrial), Regional Outlook, Competitive Market Share & Forecast, 2023-2032 [internet]; 2023. Available at: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/cross-laminated-timber-clt-market>
10. Дворцова А.С., Ушаков А.Ю. Перспектива применения CLT-панелей в многоэтажном строительстве. Строительство: наука и образование. 2023;13(4):75–82.
11. Технология производства CLT панелей [интернет]. Режим доступа: <https://www.timbersol.ru/technology/glued-wooden-building-constructions/production-technology-of-clt-panels/> (дата обращения 26.04.2024).
12. Чернова Т.П. Совершенствование конструкции и технологии сопряжения CLT-панелей [диссертация]. Архангельск; 2018.
13. Примеры многоэтажных зданий из древесины. ЛесПромИнформ [интернет]. 2015;(4). Режим доступа: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=4100> (дата доступа 27.04.2024).
14. Жилой комплекс Limnologen [интернет]. Режим доступа: <https://www.swedishwood.com/inspiration/architecture/limnologen/> (дата обращения 27.04.2024).
15. Малоэтажный жилой комплекс Puukuokka Housing Block [интернет]. Режим доступа: <https://architizer.com/projects/puukuokka-housing-block/> (дата обращения 28.04.2024).

16. Жилой комплекс, построенный из CLT-панелей Segezha Group, вошел в «Книгу рекордов России» [интернет]. Режим доступа: <https://segezha-group.com/press-center/news/zhiloy-kompleks-postroenny-iz-clt-paneley-segezha-group-voshel-v-knigu-rekordov-rossii/> (дата обращения 29.04.2024).
17. Суханова В.В., Силуянова Д.С. Современные строительные материалы на основе древесины, использующиеся при возведении высотных деревянных зданий. В: Приоритетные направления развития науки и образования. Сборник статей XI Международной научно-практической конференции, Пенза, 05 марта 2020 г. Пенза: Наука и Просвещение; 2020, р. 49–54.
18. Теплопроводность CLT-панелей [интернет]. Режим доступа: <http://crosslam.ru/content/teploprovodnost-kleenykh-paneley> (дата обращения 29.04.2024).
19. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Москва: Стандартинформ; 2015.
20. Бойтемирова И.Н., Давыдова Е. А. CLT-панели — эффективный материал из древесины для несущих и ограждающих конструкций зданий. Вестник научных конференций. 2016;(12-1):18–21.
21. Younis A., Dodoo A. Cross-Laminated Timber for Building Construction: A Life-Cycle-Assessment Overview. Journal of Building Engineering. 2020;52: 104482. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104482>
22. Бубис А.А., Гизятуллин И.Р., Хворова А.Н., Петров И.Ю. Особенности поведения древесины перекрёстно-клееной (ДПК/CLT) при статических и динамических нагрузках, моделирующих сейсмические воздействия. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2022;(2):62–80. <https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-2-62-80>
23. Турковский С.Б., Погорельцев А.А. Новая конструктивная система крупноблочного домостроения из клееной древесины. Вестник НИЦ «Строительство». 2021;28(1):55–62.
24. Леонтьева Е.О., Агафонов С.А. Современные перспективы развития портовой инфраструктуры Северного морского пути. Арктика и инновации. 2024;2(1):71–79. h
25. Якуненкова М.С., Осетрина Д.А. Возможность использования CLT-панелей в жилом строительстве для условий Салехарда. Современное строительство и архитектура. 2022;(6):4–9.

References

1. Arctic regions of Russia. Available at: <https://as.arctic-russia.ru/useful/> (accessed 23 April 2024). (In Russ.).
2. Decree of the President of the Russian Federation dated October 26, 2020 No. 645 «On the Strategy for the development of the Arctic zone of the Russian Federation and ensuring national security for the period until 2035». Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202010260033> (accessed 23 April 2024). (In Russ.).
3. Pogoreltsev A.A., Pyatikrestovsky K.P. Further development and improvement of design standards for wood structures. Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitelstvo = Industrial and Civil Engineering. 2019;(3):35–41. (In Russ.).
4. Gerasimovich A.A., Agafonov S.A. Review of world experience in the design and construction of multi-story buildings based on laminated wood structures. Vestnik magistratury [Bulletin of the Master's degree]. 2020;(5-3):70–77. (In Russ.).
5. Global Engineered Wood Market by Type (Cross-Laminated Timber, Glued Laminated Timber, Laminated Veneer Lumber), Application (Non-Residential, Residential) — Forecast 2024-2030; 2024.
6. Analytical report of Discovery research group. Analysis of the market for laminated veneer lumber and laminated timber structures in Russia [internet]. Available at: https://drgroup.ru/components/com_jshopping/files/demo_products/Demo.Analiz-rynka-kleenogo-brusa-i-derevyannykh-kleenykh-konstruktsij-v-Rossii.pdf
7. Smirnov P.N., Ustimenko K.A., Lomakin A.D., Aksenov K.A. Resistance of cross-laminated timber to atmospheric actions. Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2022;35(4):104–116. (In Russ.).
8. D'Amico, B., Pomponi, F., and Hart, J. Global Potential for Material Substitution in Building Construction: The Case of Cross Laminated Timber. Journal of Cleaner Production. 2021;279:123487. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123487>

9. Cross Laminated Timber (CLT) Market Size — By Raw Materials (Spruce, Fir, Pine, Larch), By Press Type (Hydraulic, Vacuum, Pneumatic, Nails), By Application (Residential, Commercial, Industrial), Regional Outlook, Competitive Market Share & Forecast, 2023-2032 [internet]. 2023. Available at: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/cross-laminated-timber-clt-market>
10. Dvortsova A.S., Ushakov A.Yu. Perspective of CLT-panels application in multi-storey construction. *Construction: Science and Education*. 2023;13(4):75–82. (In Russ.)
11. Production technology CLT. Available at: <https://www.timbersol.ru/technology/glued-wooden-building-constructions/production-technology-of-clt-panels/> (accessed 26 April 2024). (In Russ.).
12. Chernova T.P. Improving the design and technology of interfacing CLT panels [dissertation]. Arkhangelsk; 2018. (In Russ.).
13. Примеры многоэтажных зданий из древесины. LesPromInform [internet]. 2015;(4). Available at: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=4100> (access date 27 April 2024). (In Russ.).
14. Residential complex Limnologen [internet]. Available at: <https://www.swedishwood.com/inspiration/architecture/limnologen/> (accessed 27 April 2024). (In Russ.).
15. Low-rise residential complex Puukuokka Housing Block [internet]. Available at: <https://architizer.com/projects/puukuokka-housing-block/> (accessed 28 April 2024). (In Russ.).
16. Residential complex built of CLT panels Segezha Group [internet]. Available at: <https://segezha-group.com/press-center/news/zhiloy-kompleks-postroennyi-iz-clt-paneley-segezha-group-voshel-v-knigu-rekordov-rossii/> (accessed 29 April 2024). (In Russ.).
17. Sukhanova V.V., Siluyanov D.S. Modern wood-based building materials used in the construction of high-rise wooden buildings. In: Priority areas for the development of science and education. Collection of articles of the XI International Scientific and Practical Conference, Penza, March 05, 2020. Penza: Nauka i Prosveshchenie Publ.; 2020, p. 49–54. (In Russ.).
18. Thermal conductivity of CLT panels [internet]. Available at: <http://crosslam.ru/content/teploprovodnost-kleenyh-paneley> (access date 29 April 2024). (In Russ.).
19. SP 50.13330.2012. Thermal Performance of the Buildings. Moscow: Standartinform Publ.; 2015. (In Russ.).
20. Boitemirova I.N., Davydova E.A. CLT panels — an effective wood material for load-bearing and enclosing structures. *Bulletin of Scientific Conferences*. 2016;(12-1):18–21. (In Russ.).
21. Younis A., Dodoo A. Cross-Laminated Timber for Building Construction: A Life-Cycle-Assessment Overview. *Journal of Building Engineering*. 2020;52: 104482. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104482>
22. Bubis A.A., Giziatullin I.R., Petrov I.Yu., Khvorova A.N. Peculiarities of Behavior of Cross-Laminated Timber under Static and Dynamic Loads Simulating Seismic Impacts. *Earthquake engineering. Constructions safety*. 2022;(2):62–80. (In Russ.). <https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-2-62-80>
23. Turkovskiy S., Pogoreltsev A. New constructive system for lage-block house building made of glued timber. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2021;28(1):55–62. (In Russ.). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-1\(28\)-55-62](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-1(28)-55-62)
24. Leonteva E.O., Agafonov S.A. Modern prospects for the port infrastructure development of the Northern Sea Route. *Arctic and Innovations*. 2024;2(1):71–79. (In Russ.).
25. Yakunenkova M.S., Osetrina D.A. Possibility of using CLT panels in residential construction for the conditions of Salekhard. *Modern Construction and Architecture*. 2022;(6):4–9. (In Russ.).

Сведения об авторах

Агафонов Сергей Александрович — ассистент, Высшая школа промышленно-гражданского и дорожного строительства ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». ул. Политехническая, д. 29 литера Б, Санкт-Петербург, 195251
WoS ID: HHM-5486-2022
ORCID: 0000-0001-5742-8532
SPIN-код: 7944-9351
тел.: +7 (921) 345-82-36
[E-mail: agafonov_sa@spbstu.ru](mailto:agafonov_sa@spbstu.ru)

Михеев Павел Юрьевич — кандидат технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». ул. Политехническая, д. 29 литера Б, Санкт-Петербург, 195251
ORCID: 0000-0002-0934-6935
ResearcherID: K-1289-2013
SPIN-код: 8252-8277
Scopus ID: 57202760535
тел.: +7 (911) 759-90-58
[E-mail: vechkin@rambler.ru](mailto:vechkin@rambler.ru)

Углов Алексей Константинович — студент, Высшая школа гидротехнического и энергетического строительства ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». ул. Политехническая, д. 29 литера Б, Санкт-Петербург, 195251
ORCID: 0000-0001-6210-2385
SPIN-код: 3781-4968
тел.: +7 (902) 191-18-19
[E-mail: uglov_ak@spbstu.ru](mailto:uglov_ak@spbstu.ru)

Information about the authors

Sergei A. Agafonov — teaching assistant, Higher School of Industrial, Civil and Road Construction, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, Saint Petersburg, Polytechnicheskaya, 29 B
WoS ID: HHM-5486-2022
ORCID: 0000-0001-5742-8532
SPIN-code: 7944-9351
tel.: +7 (921) 345-82-36
[E-mail: agafonov_sa@spbstu.ru](mailto:agafonov_sa@spbstu.ru)

Pavel Yu. Mikheev — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, Saint Petersburg, Polytechnicheskaya, 29 B
ORCID: 0000-0002-0934-6935
ResearcherID: K-1289-2013
SPIN-code: 8252-8277
Scopus ID: 57202760535
tel.: +7 (911) 759-90-58
[E-mail: vechkin@rambler.ru](mailto:vechkin@rambler.ru)

Alexey K. Uglov — student, Higher School of Hydrotechnical and Power Engineering Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, Saint Petersburg, Polytechnicheskaya, 29 B
ORCID: 0000-0001-6210-2385
SPIN-code: 3781-4968
tel.: +7 (902) 191-18-19
[E-mail: uglov_ak@spbstu.ru](mailto:uglov_ak@spbstu.ru)

Вклад авторов

Агафонов С.А. — обоснование актуальности, сравнительный анализ технических характеристик строительных материалов;
Михеев П.Ю. — постановка задачи, структурирование статьи, формулирование выводов;
Углов А.К. — сбор и анализ данных, описание технологии производства древесно-клеёных плит.

Authors' contributions

Sergei A. Agafonov — substantiation of relevance, comparative analysis of technical characteristics of building materials;
Pavel Yu. Mikheev — problem statement, structuring of the article, formulation of conclusions;
Alexey K. Uglov — data collection and analysis, description of the production technology of wood-gluedslabs.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 3+502.52

ББК 6/8 + 26.221

<https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-102-113>



Температурные тренды Арктики и Антарктики

Сапунов В.Б.

ЧОУ ВО «Медико-социальный институт», Санкт-Петербург, Россия

✉ sapunov@rshu.ru

Аннотация. Цель работы — рассмотрение динамики мировой температуры и ее прогноз для всего мира, особенно для полярных регионов. Глобальное потепление продолжалось с XVII до конца XX века. Механизмы процесса неясны. Но очевидно, что наиболее значимыми являются абиотические, как космические, так и глобальные, факторы, контролирующие климат. С 1997 года процесс потепления замедлился и основным трендом стало повышение неустойчивости. Климат зависит от взаимодействия абиотических (гидросфера, литосфера, атмосфера), биотической (биосфера) и социальной (ноосфера) сфер Земли. Система всех сфер очень стабильна. Деятельность человека не имеет существенного значения для глобальных климатических процессов. Результаты современной динамики температуры, которые проявятся в ближайшие годы, не будут экстремальными для всего человечества, но могут иметь особое значение для полярных регионов. Температура в Арктике повысится. Климат Антарктики будет холоднее. Средняя мировая температура снизится и станет более изменчивой. Современная наука способна предсказать изменение климата. Но серьезные исследования климата должны быть свободны от политического и экономического давления.

Ключевые слова: температура, Арктика, Антарктика, глобальные тренды

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Сапунов В.Б. Температурные тренды Арктики и Антарктики. Арктика и инновации. 2024;2(2):102–113. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-102-113>

Temperature trends in the Arctic and Antarctic

Valentin B. Sapunov

Medical and Social Institute, Saint Petersburg, Russia

✉ sapunov@rshu.ru

Abstract. This work considers global temperature trends and their prediction in the world and polar regions in particular. Global warming covered the period from the 17th till the end of 20th centuries. The mechanisms of this process remain obscure; however, it is clear that abiotic factors controlling climate make the most significant contribution. Starting from 1997, the global fall of temperature has been observed, with instability becoming the major trend. Climate depends on the interaction of abiotic (hydrosphere, lithosphere, atmosphere), biotic (biosphere), and social (noosphere) spheres of the Earth. All these spheres are characterized by a highly stable system. Human activity has no essential impact

on global climatic processes. The consequences of contemporary temperature changes, which are to manifest themselves in the coming years, will not be extreme for all mankind. However, they may be of particular importance for the polar regions. The temperature in the Arctic will increase, while the climate of the Antarctic will become colder. The global average temperature will decrease and become more variable. Modern science is capable of predicting climate change. Serious climate research should be free from political and economic pressures.

Keywords: temperature, Arctic, Antarctic, global trends

Conflict of interests: the author declares no conflict of interest.

For citation: Sapunov V.B. Temperature trends in the Arctic and Antarctic. *Arctic and Innovations*. 2024;2(2):102–113. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-2-102-113>

Введение

Экологические проблемы приобретают все большее значение для человечества. Одна из них — проблема возможного глобального потепления, основанного на парниковом эффекте. Большинство стран подписали «Киотский протокол» в 1997 году. Этот документ ограничивал производство парниковых газов промышленностью и транспортом. Научная основа протокола оказалась слабой [1–4]. Доминирующие источники поступления таких газов имеют природное происхождение. Общий механизм управления климатом неясен. Процессы, происходящие в атмосфере, не относятся к «парниковому эффекту». По законам физики парниковый эффект в атмосфере невозможен. Автор ввел понятие «псевдопарниковый эффект» [5]. Важное значение для человечества может иметь рост климатической нестабильности и увеличение числа экстремальных геофизических и климатических событий. Причины многих из этих событий неясны. Вместе с тем мы можем продвинуться к пониманию основных климатических трендов. Цель данной работы — рассмотреть важнейшие температурные тенденции современности с учетом глобальных климатических процессов и факторов, влияющих на них, а также их возможных последствий для биосферы и ноосферы, преимущественно для крайних северных и крайних южных регионов Земли. Используются данные Всемирной метеорологической организации, Европейского союза наук о Земле (European Geosciences Union), почетным членом которого автор является, материалы Международного полярного года [6, 7] и других источников, перечисленных ниже. Попробуем рассмотреть проблему как в земных масштабах, так и локально, в Северо-Западном федеральном округе России, Северном и Антарктическом регионах.

Климат на Земле периодически меняется в зависимости от повторяющихся процессов, происходящих в системе «Земля — Солнце — окружающее космическое пространство». Общая методология изучения этих процессов была заложена А. Чижевским, В. Вернадским, М. Миланковичем и некоторыми другими учеными [8, 9]. Воспользуемся этой методологией для оценки состояния процессов и прогнозов.

Основные процессы, влияющие на климат полярных областей

Полярные регионы имеют особое значение в динамике глобального климата как «погодная кухня» [2, 3, 10]. Именно в них формируются циклоны и антициклоны, господствующие ветры. Они также являются индикаторами общего состояния климата на планете. Арктические и антарктические регионы имеют как общие черты, так и принципиальные различия. Арктический регион находится под контролем выбросов метана (CH_4) и антропогенного давления. Антарктика свободна от значительного социального давления и функционирует как наиболее значительный источник глобального похолодания. Мы живем в относительно холодный период. 80 % времени истории Земли Гренландия и Антарктида были свободны ото льда [11, 12]. С XVII и до конца XX века наблюдалось повышение глобальной температуры и таяние льдов Гренландии и Северного Ледовитого океана [10]. Согласно принципу цепной реакции это привело к выбросам условно называемых «парниковых» газов («псевдопарниковый эффект» [5, 14–16]), таких как CO_2 и CH_4 , а также водяных паров от таяния вечной мерзлоты, что, в свою очередь, ускорило процесс таяния льдов на севере [5].

Динамика температуры регионов показывает 60-летние циклы, соответствующие циклам, открытым в прошлом веке Н.Д. Кондратьевым [17]. Они связаны не с социальными, а с природными процессами [18, 19]. В этом случае гомеостатическая природа Севера обеспечивает относительную стабильность континентальных льдов [4, 5]. Избыток CO_2 , поступающий в атмосферу в результате таяния вечной мерзлоты, компенсируется интенсификацией процесса фотосинтеза [19, 20]. С 1997 года начался период замедления роста температуры и повышения ее нестабильности. При этом большой климатический цикл (несколько тысячелетий) пошел на увеличение температур, а малый (на несколько столетий), более заметный, пошел на спад [20–22]. Особенно это было заметно в южном полушарии, где продолжается рост ледникового массива Антарктиды. В то же время асимметрия Земли стала нарастать. На севере таяние льдов и повышение температуры также имеют тенденцию к снижению [5, 22]. Эти данные необходимо учитывать для дальнейшего прогнозирования климатических тенденций.

Важным инструментом прогнозирования климата является теория циклов [17]. Существует несколько групп земных и космических циклов. Все эти циклы контролируют климат. Во второй половине XX века действительно произошло некоторое потепление и повышение средней температуры на 0,25–1 градус. Это сопровождалось снижением устойчивости погоды. Однако это произошло не везде. Так, на европейском Севере средние температуры даже несколько понизились. В Санкт-Петербурге в конце XX века была серия относительно теплых зим, но самым холодным был январь 1987 года. Летние температуры в последние годы снизились. В целом средние температуры по земным масштабам мало менялись со слабой тенденцией к повышению. По данным Международного полярного года, с 1997 г. начался новый цикл, ведущий к глобальному похолоданию [5, 22]. Последнее глобальное потепление растянулось с XVII до конца XX века. Таяния ледников и подъема уровня океана не наблюдалось. В принципе, этого не могло быть. Подсчитано, что если вся энергетика Земли (представленной в основном вулканами) будет направлена в Антарктиду и станет работать с КПД 100 %, то для таяния льдов Антарктиды потребуется 100 лет [19].

Земля состоит из нескольких сфер, таких как атмосфера, гидросфера и литосфера. Живая сфера — биосфера. В рамках последней возникла пятая — сфера социальной деятельности — ноосфера. Все эти оболочки находятся в состоянии динамического взаимодействия и, по сути, представляют собой единую систему, чрезвычайно устойчивую к любым воздействиям. Политизированное предположение о том, что деятельность человека приведет к коллапсу окружающей среды, которое высказывалось как в прошлом [22], так и в последнее время, не имеет серьезных доказательств [23–25].

Климат во многом определяется Солнцем [9] и взаимодействием в системе «Земля — Солнце». За год планета получает от Солнца 5×10^{12} килокалорий лучистой энергии. Половина ее уходит на испарение океанов. На важнейший экологический процесс — фотосинтез, образование растениями первичного органического вещества, — уходит около одного процента этой энергии. Это соотношение небиологических и биологических процессов. Силы неживой природы более значительны, чем силы биосферы. Силы биосферы значительнее, чем силы ноосферы. Климат зависит не только от получаемой солнечной энергии, но и от ее переработки, какой процент поглощается, какой отражается обратно в космос. Зимой в Египте Солнце стоит ниже, чем летом в Петербурге. Однако зимой в Египте жарче, чем летом в Северной столице России. Дело в том, что в пустыне Сахара образовался исключительно чистый воздух с минимальным содержанием водяного пара, прекрасно проницаемый для лучей дневного света. В то же время в Сингапуре, находящемся в одном градусе от экватора, практически невозможно загорать из-за сильной влажности, которая плохо пропускает солнечный ультрафиолет. Один из климатических парадоксов был установлен во время Международного геофизического года 1957–1958 [5]. Самое солнечное место на Земле — не Сахара и Аравийская пустыня, а Антарктида. На каждый квадратный сантиметр поверхности здесь поступает больше солнечной радиации, чем в тропиках. Воздух на ледяном континенте чрезвычайно чистый, а слой атмосферы тоньше, чем в других местах планеты.

Почему же в Антарктиде очень холодно? Не просто холодно, а экстремально холодно.

На советской антарктической станции «Восток» в 1960 году был зафиксирован мировой рекорд холода — минус 88,3 °С. Следующим рекордом стала температура 89,2 °С, установленная в 1983 году американскими полярниками. Они предположили, что следующим рекордом Антарктики будет –93,2 °С. Это соответствует модели глобального похолодания [5]. Большая часть тепла, исходящего от Солнца, отражается поверхностью снега и льда. Шестой континент — крупнейший регион с отрицательным годовым запасом тепла. Здесь отражается больше тепла, чем поступает от Солнца. Антарктида выбрасывает в космос не только ту энергию, которую получает от Солнца, но и ту, которую получают другие части планеты и потоками воздуха приносит в Антарктиду. Это одна из причин, почему южное полушарие холоднее северного. Нечто аналогичное происходит в Гренландии и в Арктике, но менее интенсивно. Объем плавучего льда там намного меньше суммарного антарктического льда.

Теоретически Антарктиду можно было бы основательно нагреть, если распылить над ледниками порошок темного цвета. В результате этого лед начнет таять. Но это таяние приведет к резкому увеличению влажности атмосферы, а значит, к снижению ее прозрачности для Солнца. И тогда холод вернется. Такой умозрительный эксперимент продемонстрировал бы гомеостаз гидросферы, включающей твердый, жидкий и газообразный компонент [8]. Гомеостаз — способность системы сохранять свои основные характеристики и противодействовать любым внешним возмущениям [5, 8]. Парниковый эффект является важной проблемой современной мировой политики и экономики. Более правильный термин — «псевдопарниковый эффект» [5, 16]. Теплицы предотвращают конвекцию. «Псевдопарниковые газы» предотвращают инфракрасное излучение. Законы конвекции и инфракрасного излучения различны. К таким «псевдопарниковым» газам относятся водяной пар, метан и углекислый газ. Значение метана в 20 раз превышает эффект CO₂. Динамика антропогенного вклада в круговорот углекислого газа представлена в таблице 1. Мера — гигатонны (миллиарды тонн) чистого углерода.

Следует заметить, что разные источники дают серьезные расхождения в балансе углерода и углекислого газа. Однако порядок величин

Таблица 1. Средние годовые компоненты глобального социального круговорота углерода за период с 1980 по 2010 г. (гигатонн C/год) по [2–5]

Table 1. Average annual components of the global social carbon cycle for the period from 1980 to 2010 (Gigatonnes C per year) according to [2–5]

#	Параметр	Мера
Источники		
1	Сжигание ископаемого топлива и цементная индустрия	5,5 ± 0,5
2	Землепользование в тропиках	1,6 ± 1,0
3	Суммарная социальная продукция	7,1 ± 1,1
Усвоение углерода		
1	Аккумуляция в атмосфере	3,2 ± 0,2
2	Аккумуляция в океане	2,0 ± 0,8
3	Ассимиляция за счет возобновления молодых лесов	0,5 ± 0,5
4	Дополнительные стоки на суше	1,4 ± 1,5

определен. Общее количество углекислого газа в атмосфере составляет 2,7 триллиона тонн. Считается, что эта величина имеет слабую тенденцию к росту. 50 лет назад имелось 2,6 триллиона тонн [20, 21]. Однако интенсивность фотосинтеза за указанный период тоже выросла. Несколько увеличилась масса лесов за счет сокращения применения древесины в хозяйстве, замены его на пластмассы. Мировая добыча нефти составляет около 3 миллиардов тонн. Даже если вся эта нефть сгорала бы, в результате возникло бы не более 5 миллиардов тонн углекислого газа. Реальный же выход углекислого газа составляет около 3 миллиардов. Примерно столько же возникает в результате дыхания животных и растений. В то же время одна группа насекомых — термиты (*Isoptera*) — производила не менее 55 миллиардов тонн углекислоты [26–30]. В ходе фотосинтеза в среднем усваивается 170 миллиардов тонн углекислоты в год, причем эта цифра имеет слабую тенденцию к росту. Общий выход углекислоты в атмосферу составляет 750 миллиардов тонн. Анализ всех аспектов проблемы глобального изменения климата, связанной с динамикой углерода, не является целью статьи. На сей счет имеются достаточно полные сводки [31]. Сделаем лишь два качественных вывода. Первое — влияние человека и его деятельности на обмен углерода, входящего в состав углекислого газа, незначительно. Второе — влияние термитов на эти процессы значительно. При анализе вопросов глобального климата им следует

уделять больше внимания, чем антропогенным факторам.

Метан для парникового («псевопарникового») эффекта менее значим, чем водные пары, но важнее, чем углекислый газ. Глобальная эмиссия метана в атмосферу составляет около 535 миллионов тонн [3, 24]. 375 миллионов из них имеет антропогенное происхождение, из них от 50 до 280 миллионов тонн дают рисовые поля. Крупный рогатый скот выделяет 219 000 тонн метана в сутки [15, 21]. Есть указания на образование огромного количества метана (большего, чем антропогенные выбросы) микроорганизмами почвы [24].

Сопоставим роли разных биотических факторов в продукции метана. Термиты образуют 150 миллионов тонн. Ниже приводим таблицу 2, отражающую удельную роль разных источников образования метана, составленную на основании данных К.Я. Кондратьева и материалов международных конференций по урбанизированным биоценозам [6, 16].

Содержание CO_2 в атмосфере в основном зависит от процессов в океане, зато источники CH_4 находятся на суше: это сильно увлажненные территории, залежи углеводородов, включая газогидраты, колонии термитов и т.п. Обмен у термитов идет интенсивнее, чем у человека и иных крупных животных и чем у транспортных средств. Добавлю, что на одного человека в мире приходится 17 тонн массы термитов. В их кишечнике живут в симбиозе с ними представители жгутиковых, которые помогают переваривать древесину. В результате переваривания образуются необходимые термитам органические вещества и выделяются газы — углекислый, метан и аммиак. Последние вносят свой вклад в динами-

Таблица 2. Роль разных источников в поступлении в атмосферу метана

Table 2. Role of different sources in methane input to the atmosphere

Источники	Млн тонн в год
Рисовые поля	280
Термиты	150
Иные биотические факторы	250
Социальные факторы	150
Всего	830



Рис. Доли отдельных источников в общем потоке метана в атмосферу, %

Fig. Fractions of individual sources in the total methane input to the atmosphere, %

ку атмосферных процессов. В дополнение к таблице 2, дающей количественный аспект производства метана, приведем данные по относительному распределению источников по их мощности (рис.).

Природа образования метана в таких источниках, как болота, озера, рисовые поля, жвачные животные, насекомые, свалки, примерно одинакова — ферментативная переработка клетчатки. В настоящее время масса используемой в хозяйстве древесины сокращается и площадь лесов на Земле медленно возрастает [22]. Однако ввиду запаздывания популяционных процессов (эффект гистерезиса) популяция термитов продолжает расти. Рост сопровождается адаптацией термитов к более холодным и более засушливым условиям существования. Популяционная динамика всех живых организмов включает как необратимые, так и обратимые процессы. Закономерности необратимых процессов в разные годы изучали Мальтус, Ферхюльст, Гаузе и др. [31–33]. Мальтус и Дарвин обосновали существование стадии экспоненциального роста в жизни любой популяции и вида. Ферхюльст и Гаузе показали, что рано или поздно рост любой популяции стабилизируется, подтвердив то философское положение, что ни один процесс не может развиваться бесконечно [33].

Термиты постепенно расширяют ареал своего обитания. Причины этого две. Первая — расширение кормовой базы за счет

увеличения объема использования сухой древесины и производства бумаги. Вторая — глобальное потепление, шедшее с XVII по XX век. Площадь, где фиксируются эти насекомые, составляет более 10 миллионов квадратных километров. В ходе исторического развития человек все больше использовал древесину, давая тем самым дополнительный источник сырья для термитов. За счет этого их популяция стала стремительно расти. В XVIII веке человечество при населении менее 1 миллиарда потребляло 18×10^8 тонн древесины. В середине XX века этот показатель вырос приблизительно в пять раз, после чего стал медленно сокращаться за счет замены древесины иными материалами. Соответственно, стала сокращаться ресурсная база для термитов. Для насекомых со скоростью смены поколений, близкой к таковой термитов, время запаздывания обычно заключается в пределах 60–75 лет. Некоторое время по инерции еще будет наблюдаться рост, после чего произойдет стабилизация популяции термитов.

Таким образом, основная масса газов, влияющих на климат, выделяется вовсе не в результате деятельности человека [34]. Количество углекислоты, попадающее в атмосферу из тектонических разломов в земной коре, уже на порядок перекрывает промышленные выбросы. Количество углекислого газа в атмосфере мало меняется за миллионы лет за счет гомеостатичности биосферы. Его дополнительный выброс компенсируется активизацией фотосинтеза. Вклад человека в систему циркуляции углекислого газа в атмосфере незначителен по сравнению с количествами CO_2 , вовлеченными в естественные циклы в атмосфере, океане, почве, геологических отложениях и в живых организмах на суше и в океане. Но в ряде случаев человек выступал как триггер, включающий значимые биосферные процессы [8]. Содержание CO_2 зависит как от океанских, так и от наземных процессов. Основным источником CH_4 являются экологические системы, локализующиеся на суше.

Возможный глобальный прогноз

Динамика температуры полярных регионов подчиняется циклам около 60 лет, открытым в прошлом веке Н.Д. Кондратьевым [17]. Прогноз Кондратьева подтвердился современными данными [35]. Они связаны

не с социальными, а с природными процессами [20]. Этот факт имеет большое значение как для теории, так и для практического использования Заполярья для транспортных коммуникаций и как источника природного газа и других ресурсов.

Положение Земли в пространстве, взаимное положение Солнца и Земли существенно влияют на климат. В прошлом веке сербский астроном М. Миланкович (по [5]) разработал достаточно смелую для того времени из-за отсутствия в то время геологических данных концепцию, объясняющую природу климатических циклов. Гипотеза, или теперь теория, основывалась на синтезе методов астрономии и климатологии. Основные климатические явления ученый объяснял законами вращения Земли, колебанием наклона оси относительно орбиты и неравномерностью вращения. Ученый смог объяснить асимметрию Земли — преобладание суши в северном полушарии по сравнению с южным. На суше в период похолодания образуются обширные ледники, увеличивающие альбедо планеты, т.е. долю отраженного солнечного света. Освещенность северных широт существенно меняется из-за изменений астрономических параметров. Направление оси вращения планеты относительно перигелия земной орбиты меняется с периодом 41–42 тысячи лет. Когда планета зимой медленно проходит афелий орбиты северного полушария, ее средняя освещенность невелика и ледники существенно разрастаются. За короткое лето вблизи перигелия они не успевают растаять из-за возросшего альбедо. Через 20 тысяч лет, когда афелий приходится на лето северного полушария, южные ледники существенно не разрастаются. Известно также, что с периодичностью в 100 000 лет форма орбиты Земли меняется от более круглой к эллиптической. Согласно циклу в 260 000 лет, плоскость орбиты колеблется. Не все климатические процессы объясняются теорией Миланковича, поскольку на климат влияет множество других вещей помимо колебаний земной оси. Таким образом, по Чижевскому, динамика климатических процессов связана с периодическими процессами на Солнце, по Миланковичу — основана на способности Земли воспринимать солнечную энергию. Эти теории не противоречат, а конструктивно дополняют друг друга. К числу астрономических факторов, регулирующих климат, следует отнести и измене-

ние магнитного поля Земли. В среднем раз в четверть миллиона лет магнитное поле Земли меняет свою полярность. Последний раз это было 780 000 лет назад. В момент смены полярности атмосфера менее защищена от действия солнечного ветра и космических лучей. Начинается нагрев поверхности. Все это накладывается на свойства атмосферы и земной поверхности [5, 20]. Этот глобальный эффект имеет конкретные проявления в полярных регионах. Северную ситуацию корректируют два фактора. Наиболее значительными являются выбросы природного газа. Менее значительным является антропогенное воздействие со стороны морского транспорта, горнодобывающей промышленности и военного использования. Южную ситуацию определяет огромная масса материкового льда и более интенсивное отражение энергии в космос.

Локальное потепление в Арктике

Есть региональные события, которые иногда идут в другом направлении, чем глобальные. Как известно, мореплаватели еще с конца Средних веков искали возможность пройти вдоль северных границ России от Атлантики до Тихого океана. Однако долгое время это было невозможно из-за скованности арктических льдов. Впервые один зимовочный перевал по этому маршруту, первоначально называвшемуся «Северо-Восточным перевалом», удалось осуществить в 1878–1879 гг. В XX веке по тому же маршруту во время одиночного плавания на корабле «Сибиряков» со своей командой прошел полярный исследователь О. Шмидт. С тех пор трасса получила название «Северный морской путь». В 1932 году было создано специальное управление — «Главсевморпуть» (Главный Северный морской путь), предназначенное для организации регулярного сообщения вдоль северных берегов Советского Союза. Новый экстремальный путь заработал.

До конца XIX века путь был непроходим для любой техники. Глобальное потепление, продолжающееся с XVII века, привело к сокращению площади льдов и возможности расширения судоходства. Как мы отметили, с конца XX века тенденция потепления сменилась похолоданием. Но льды Арктики продолжают таять, и очень интенсивно. Глобальной катастрофы от этого не произойдет и уровень Мирового океана не повысится.

В отличие от Антарктиды, арктические льды находятся в плавучем состоянии. В соответствии с законом Архимеда плавучий лед вытесняет ровно столько же воды, сколько в нем содержится. Поэтому таяние арктических льдов — это скорее благо для нашей экономики и транспорта. Причина таяния до конца не выяснена. Известно следующее. Крупнейшие запасы газа, главным образом метана, сосредоточены на севере Сибири и на дне Северного Ледовитого океана. В силу не до конца изученных причин в последние десятилетия он просачивался в воду и выходил из гидросферы в атмосферу. Моряки говорят, что в некоторых частях Северного Ледовитого океана вода просто кипит. В результате северная часть нашей планеты покрылась метановой шапкой. Напомним, что метан — один из парниковых (точнее, «псевдопарниковых») газов. В связи с этим на фоне тенденций глобального похолодания началась локальная северная тенденция к потеплению.

Одна из точек активного выброса метана находится к северу от Новосибирских островов. Эту местность в 1800–1811 годах исследовал полярный исследователь Я. Санников [5, 13]. Именно тогда он предположил, что к северу от этих островов находится обширная земля, названная впоследствии его именем. В дальнейшем ее долго искали различные экспедиции, но так и не нашли. Эпос поисков загадочной земли вошел в нашу культуру. Можно вспомнить прекрасную книгу В.А. Обручева «Земля Санникова» и снятый по ней яркий фильм. Теперь тайна земли Санникова почти раскрыта. Именно в том месте, где российский полярник наблюдал неизвестную землю, издавна находится мощный регулярный выброс метана. В соединении с водой он образует ледоподобную структуру — гидрат метана. Горы льда и гидрата метана по мере своего роста могли поднимать на поверхность ил со дна относительно мелкого Северного Ледовитого океана. На этих горах могла бы возникнуть простая экологическая система. Санников вполне мог принять их за постоянную землю. Позже шторм уничтожил его, и последующие экспедиции ничего не нашли.

Потепление и таяние льдов Арктики — локальный процесс. Если ледники на севере тают, то на главном аккумуляторе холода — в Антарктиде — они растут. С 1979 года

и до начала нового тысячелетия площадь ледникового покрова здесь выросла с 14,6 до 15,9 миллиона квадратных километров. Поскольку Антарктида отражает привнесенное тепло в космос, она существенно охладит все южное полушарие [5]. В связи с тем что северные ледники плавают, а южные находятся на континенте, то при дальнейшем направлении таких процессов уровень воды в океане может падать, а не расти, как говорят апологеты глобального потепления.

Арктический регион представляет интерес для всего мира, особенно для России, США, Канады и Нидерландов. Несмотря на сложную экологическую ситуацию, эта территория используется для разных целей. Арктический регион является перспективным для добычи метана и других полезных ископаемых. В современной России ведутся исследования и практические работы в этом направлении. Они имеют значение как для национальной, так и для международной экономики.

Перспективные направления исследований

В прогнозах динамики мирового климата полного единства между разными специалистами нет. Одну из наиболее аргументированных моделей предложили специалисты Главной астрономической обсерватории РАН [5, 6]. Они полагают, что в течение XXI века будет иметься тенденция к снижению температуры. Период относительно низких температур сменится потеплением лишь в начале XXII века. Если исходить из цикла малых оледенений, то это вполне возможно. Температура в нынешнем веке будет медленно снижаться и достигнет минимума ориентировочно в 2041 году. С Солнцем климат связан с некоторым опозданием. Поэтому после этого, даже с учетом действий человечества и продолжающейся индустриализации, температура на какое-то время снизится. Тепловая инерция Мирового океана несколько замедлит этот процесс, но похолодание продолжится еще несколько десятилетий.

Солнечно-земные связи определяют ряд циклов изменения климата [9]. Уровень современных знаний уже позволяет выделить несколько основных групп циклов. Это большие циклы, длящиеся десятки миллионов лет. Минимальная температура этого цикла приходилась на палеозой. К мезозой — эпохе динозавров — температура этого цикла

достигла максимума. Сейчас мы снова идем к минимуму, но еще не достигли его. Колебания этого цикла настолько продолжительны, что человечество практически не сможет их ощутить в ближайшем будущем. Далее идут средние циклы оледенения. Здесь счет идет на десятки тысяч лет. Последний минимум покрыл льдом Северную Европу, привел к вымиранию мамонтовой фауны. Затем следует цикл небольших оледенений, продолжающийся веками. Здесь минимум был в XVII веке, максимум был достигнут в 1997 году. Дальше процесс пошел на снижение температуры. Это проявилось, в частности, в бурном росте главного аккумулятора холода планеты — Антарктиды [4, 5]. Однако именно этот цикл определит ситуацию на ближайшие десятилетия. Минимум будет достигнут, очевидно, через триста лет. Но из-за наложения среднего цикла этот минимум будет выше минимума XVII века. И процесс усиления погодной нестабильности будет накладываться на всю тенденцию снижения температуры. Но в любом случае глобальных катастроф не произойдет [22]. И человечество, и биосфера выживут.

Увеличение нестабильности климата сказалось на увеличении количества чрезвычайных ситуаций и катастроф примерно в два раза. Ущерб от стихийных бедствий обходится в среднем в 230 миллиардов долларов в год. В последнее время число погибших в результате катастроф достигло 230 000–1 000 000 человек в год. Наряду с землетрясениями, цунами, наводнениями увеличилось количество лесных и степных пожаров [6]. Во время написания статьи некоторые районы России накрыли мощные экстремальные наводнения.

Эти процессы имеют до конца не известные глобальные, геофизические и космические причины. Есть данные, что на состояние поверхности планеты и атмосферы влияют процессы в ядре Земли [12]. Понимание причин и предсказание трагических событий требуют комплексных усилий, основанных на синтезе различных наук, а также истории, обладающей знаниями о катастрофах прошлого. Фактором, снижающим риск, является постоянный мониторинг, в том числе дистанционный и контактный. Российская Федерация, обладая огромной территорией, имеет низкую концентрацию наземных метеорологических пунктов. Сети мониторинга недостаточно для эффективного прогнози-

рования динамики погоды и чрезвычайных ситуаций. В условиях увеличения экстремальных ситуаций и происшествий — ураганов и др. — реконструкция и «перестройка» сети мониторинга необходима. Основой такого прогресса является дистанционный мониторинг с использованием самолетов и спутников, дополняющий базу мониторинга наземных пунктов и станций.

Взаимодействие контактных и дистанционных методов наблюдения может сделать гидрометеорологические данные и прогнозы более точными и значимыми. Традиционные физические методы должны быть дополнены новыми биологическими методами исследований. Согласно исследованиям, животные способны предсказывать чрезвычайные опасности природного и антропогенного характера на основе взаимодействия биологической материи и вероятного физического поля, которое находится в стадии первичного изучения [16]. Дополнение биологического признака комплексом метеорологических данных может повысить значимость прогноза опасностей. Объединение всех данных и подходов может стать основой предлагаемых гидрометеорологических моделей погоды. Внедрение в практику заявленных комплексных методов может снизить потери от гидрометеорологических рисков и опасностей и повысить стабильность экономики страны.

Выводы

Основные тенденции глобального климата:

1. Замедление потепления с тенденцией к переходу к слабому снижению мировых температур.
2. Повышение нестабильности климатических и геофизических параметров.

Основные факторы, влияющие на климат, в порядке уменьшения значения:

1. Космические: Солнечная активность, положение Земли в мироздании, прохождение Солнечной системы через разные участки Вселенной с различной плотностью космической пыли, действие предполагаемых и не до конца изученных полей.
2. Глобальные — вулканическая деятельность, выходы из литосферных разломов ме-

тана и других газов, не до конца изученные процессы в земных недрах и в земном ядре.

3. Биологические — деятельность живых организмов, влияющая на состав атмосферы.
4. Социальные, связанные с развитием транспорта, индустрии и других областей человеческой деятельности. Локально эти виды деятельности могут существенно повлиять на климат и геофизическую обстановку, но глобально их энергетика слабее, чем вышеперечисленные факторы. Вместе с тем нельзя сбрасывать со счетов возможный триггерный эффект форм человеческой деятельности, которые могут активизировать или ослаблять действие природных сил.

Основные причины, обуславливающие асимметричные тренды климата Арктики и Антарктики:

1. В Арктике это выходы из литосферных плит метана — «псевдопарникового» газа, что имеет место в Северном Ледовитом океане. Итогом является потепление на севере России и повышение климатической нестабильности в Северо-Западном федеральном округе и некоторых других районах планеты.
2. В Антарктиде это высокая отражательная поверхность ледяного континента, ведущая к снижению температуры как на этом континенте, так и в южном полушарии в целом.

Заключение

С XVII до конца XX века наблюдался период глобального потепления. Это было связано с большим количеством не до конца изученных факторов, основными из которых были причины абиотической природы. С 1997 года начался период глобального похолодания. Земля имеет несколько сфер. Это атмосфера, гидросфера и литосфера. Живая сфера — биосфера. Внутри последней возникла пятая — сфера разума — ноосфера. Все эти оболочки находятся в состоянии динамического взаимодействия и, по сути, представляют собой единую систему, чрезвычайно устойчивую к любым воздействиям. Предположение о том, что деятельность человека может разрушить эту систему и кардинально изменить климат, на сегодняшний день не имеет серьезных доказательств [1]. Начало

похолодания не может кардинально нарушить структуру оболочек Земли и не приведет к катастрофическим последствиям для человечества [20]. Однако в северных регионах земного шара эти климатические процессы все равно будут заметны и возможны некоторые негативные последствия их. В Арктике из-за массового выброса метана возможно незначительное повышение температуры, в Сибири и на Крайнем Севере — понижение. Еще более заметное снижение произойдет в Антарктиде, что будет сопровождаться увеличением ледяной брони и понижением температур всего южного полушария.

Антарктический регион менее доступен для практического использования, чем Арктический. Сегодня Антарктика важна для фундаментальной науки и прогнозирования климата. В далекой перспективе

этот регион будет передан под контроль ООН и станет источником неограниченных ресурсов для будущего развития в соответствии с принципом устойчивого развития.

Программа будущего практического использования регионов должна учитывать следующие факты: 1. Глобальное потепление мало реально в ближайшие годы. 2. Неустойчивость климата может усилиться, и то же самое возможно с экстремальными климатическими явлениями. 3. Уровень воды Мирового океана, судя по всему, существенно не изменится.

Современная наука может в определенных пределах прогнозировать подобные изменения при условии соблюдения независимости научных исследований и освобождения ученых от финансовой зависимости и давления политической конъюнктуры.

Список литературы

1. Кокин А.В., Кокин А.А. Современные экологические мифы и утопии. Санкт-Петербург; 2008.
2. Кондратьев К.Я. Глобальные изменения на рубеже тысячелетий. Вестник РАН. 2000;70(9):788–796.
3. Кондратьев К.Я., Демирчан К.С. Климат Земли и «протокол Киото». Вестник РАН. 2001;71(11):1002–1009.
4. Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Савиных В.П. Перспективы развития цивилизации. Многомерный анализ. Москва: Логос; 2003.
5. Сапунов В.Б. Грядет глобальное похолодание. Москва: АСТ; 2011.
6. European Geosciences Union General Assembly 2019 [internet]. Available at: <https://www.egu2019.eu/>
7. Global crises, global solutions. Cambridge: Cambridge Univ Press; 2004.
8. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. Москва: Рольф; 2002.
9. Юбилейные чтения памяти А.Л. Чижевского, посвященные 110-летию ученого. Сб. тр. Всерос. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 27–30 нояб. 2007 г. Санкт-Петербург: Политехнический ун-т; 2007.
10. Данилов-Данилян В.И., Лосев К.С. Экологический вызов и устойчивое развитие. Москва: Прогресс-традиция; 2000.
11. Лавров С.Б., Селиверстов Ю.П., Концепция устойчивого развития: стереотипы и реальность. Гуманитарные науки. 1996;(1-2):123–125.
12. Попов А.А. Ядро Земли. Смоленск: Манджента; 2012.
13. Резанов И.А. Атлантида: фантазия или реальность? Москва: Наука; 1976.
14. Сапунов В.Б. Антинаучная революция. В: Биоинформационные ресурсы человека: резервы образования. Материалы 1 Междунар. науч.-образоват. конф. СПб.: Астерион; 2004, с. 264–273.
15. <https://dzen.ru/a/ZRoxgcopFoFvza5>
16. Sapunov V. Temperature in the Arctic and Antarctic: The different directed trends. In: Handbook of Research on International Collaboration, Economic Development and Sustainability in the Arctic. Hershey: USA IGI Global; 2019, p. 416–428. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-6954-1.ch019>
17. Кондратьев Н.Д. Основные проблемы экономической статистики и динамики. Москва: Наука; 1991.

18. Тайерни Д. Пари о мировых ресурсах. Диалог — США. 1992;(50):60–65.
19. Фруммин Г.Т. Геоэкология: реальность, наукообразные мифы, ошибки и заблуждения. СПб.: РГГМУ; 2006.
20. Lomborg B. The skeptical environmentalist. Cambridge: Cambridge Univ. press; 2002. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139626378>
21. Sapunov V.B. Global dynamics of termite population: modeling, control and role in green houses effect // Proc. 6th Int Conf Urban pests, Budapest, 2008, p. 389 — 393.
22. Kovach R., McGuire B. Guide to global hazards. Philips; 2003.
23. Исидоров В.А. Еще немного об антарктической озоновой дыре и заменителях «озоно-разрушающих фреонов». Химия и жизнь. 2001;(3):18–19.
24. Кеплер Ф., Рекманн Т. Метан и изменение климата. В мире науки. 2007;(5):165–169.
25. Арнольд В.И. Антинаучная революция и математика. Вестник РАН. 1999;69(8):555–558.
26. Термиты влияют на климат. Природа. 1983;(9):116–117.
27. <https://archive.org/details/handbookofpestcooomall>
28. Zimmerman P.R., Greenberg J.P., Darlington J.P., Termites and atmospheric gas production. Science. 1982;224(4644):86. <https://doi.org/10.1126/science.224.4644.86>
29. Anderson A., Jacklyn P.M., Morris I., Dawes-Gromadzki T. Termites of Northern Australia. Barker Souvenirs; 2005.
30. Esenther G., Beal R. Termite control. Sociobiology. 1979; 4:215–222.
31. Вольтера В. Математическая теория борьбы за существование. Москва: Наука; 1974.
32. Gause G. The struggle for existence. Baltimore. The Williams & Wilkins company; 1934. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.4489>
33. Жужиков Д.П. Термиты СССР. Москва: Изд-во МГУ; 1979.
34. Обухов В.Л., Сальников В.П., Алябьева З. Реалистическая философия. СПб.: Химиздат; 2009.
35. Sapunov V. Criteria of ecological pressure on agricultural systems. In: Cavallo E., Auat Chee-in F., Marinello F., Saçılık K., Muthukumarappan K., Abhilash P.C. (eds). 15th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy in Agriculture. ANKAEng 2023. Lecture Notes in Civil Engineering. Vol. 458. Springer, Cham.; 2024, p. 217–226. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51579-8_21

References

1. Kokin A., Kokin A. Modern Environmental Myths and Utopias. Saint Petersburg; 2008. (In Russ.).
2. Kondratyev K.Ya. Global processes toward тысячелетий. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2000;70(9):788–796. (In Russ.).
3. Kondratyev K., Demirchan K. Climate of the Earth and Kyoto Protocol. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2005;71(11):1002–1009. (In Russ.).
4. Kondratyev K., Krapivin V., Savinykh V. Perspectives of civilization development. Many measures analysis. Moscow: LOGOS Publ.; 2003. (In Russ.).
5. Sapunov V. B. Toward global cold snap. Moscow: ACT Publ.; 2011. (In Russ.).
6. European Geosciences Union General Assembly 2019 [internet]. Available at: <https://www.egu2019.eu/>
7. Global crises, global solutions. Cambridge: Cambridge Univ Press; 2004.
8. Vernadsky V. Biosphere and Noosphere. Moscow: Rolf Publ.; 2002. (In Russ.).
9. Memory meeting for A. Chizevsky for 110 anniversaries. All Russian with intern. Participation conference. St. Peterburg: Polytechnic University; 2007. (In Russ.).
10. Danilov-Danilyan V., Losev, K. Environmental Challenge and Sustainable Development. Moscow: Progress-Tradition Publ.; 2000. (In Russ.).
11. Lavrov S.B., Seliverstov Yu.P. Sustainable development — tradition and reality. Gumanitar-nye nauki [Humanitarian sciences]. 1996;(1-2):123–125. (In Russ.).
12. Popov A.A. Earth nucleus. Smolensk: Mandzenta; 2012. (In Russ.).
13. Resanov I.A. Atlantida — myth or reality? Moscow: Nauka Publ.; 1976. (In Russ.).
14. Sapunov V.B. Anti-science revolution. In: Biological and informative resources of man. International conference. St. Peterburg: Asterion; 2004, p. 264–273. (In Russ.).
15. <https://dzen.ru/a/ZRoxgcopFoFvza5>
16. Sapunov V. Temperature in the Arctic and Antarctic: The different directed trends. In: Handbook of Research on International Collaboration, Economic Development and Sustainability

- in the Arctic. Hershey: USA IGI Global; 2019, p. 416–428. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-6954-1.ch019>
17. Kondratyev N.D. Main problems of economic static and dynamic. Moscow: Nauka Publ.; 1991. (In Russ.).
 18. Tayerny D. Bat of world resources. Dyalog — USA. 1992;(50):60–65. (In Russ.).
 19. Frumin G. Geo-Ecology: Reality, Pseudoscientific Myths, Mistakes, and Delusions. Saint Petersburg: Russian State Hydrometeorological University; 2006. (In Russ.).
 20. Lomborg B. The skeptical environmentalist. Cambridge: Cambridge Univ. press; 2002. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139626378>
 21. Sapunov V.B. Global dynamics of termite population: modeling, control and role in green houses effect // Proc. 6th Int Conf Urban pests, Budapest, 2008, p. 389–393.
 22. Kovach R., McGuire B. Guide to global hazards. Philips; 2003.
 23. Isidorov V.A. On “ozon hole” and compounds instead of “ozon destructive freons”. Khimiya i zhizn'. 2001;(3):18–19. (In Russ.).
 24. Keppler, F. and Rockmann, T. (2007) Methane, Plants and Climate Change. Scientific American, 296, 52–57. <http://dx.doi.org/10.1038/scientificamericano207-52>
 25. Arnold V.I. Anti-science revolution and mathematics. Herald of the Russian Academy of Sciences. 1999;(8):555–558. (In Russ.).
 26. Termites effect on climate. Priroda. 1983;(9):116–117. (In Russ.).
 27. <https://archive.org/details/handbookofpestcooomall>
 28. Zimmerman P.R., Greenberg J.P., Darlington J.P., Termites and atmospheric gas production. Science. 1982;224(4644):86. <https://doi.org/10.1126/science.224.4644.86>
 29. Anderson A., Jacklyn P.M., Morris I., Dawes-Gromadzki T. Termites of Northern Australia. Barker Souvenirs; 2005.
 30. Esenther G., Beal R. Termite control. Sociobiology. 1979; 4:215–222.
 31. Volterra V. Mathematical theory of struggle for existence. Moscow: Nauka Publ.; 1974. (In Russ.).
 32. Gause G. The struggle for existence. Baltimore. The Williams & Wilkins company; 1934. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.4489>
 33. Zhuzhikov D. P., Termites in USSR. Moscow: Moscow State University; 1979. (In Russian).
 34. Obukhov V.L., Sal'nikov V.P., Alyab'eva Z. Realistic philosophy. St. Petersburg: Khimizdat Publ.; 2009. (In Russ.).
 35. Sapunov V. Criteria of ecological pressure on agricultural systems. In: Cavallo E., Auat Chee-in F., Marinello F., Sağılık K., Muthukumarappan K., Abhilash P.C. (eds). 15th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy in Agriculture. ANKAEng 2023. Lecture Notes in Civil Engineering. Vol. 458. Springer, Cham.; 2024, p. 217–226. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51579-8_21

Сведения об авторе

Сапунов Валентин Борисович — доктор биологических наук, профессор, ЧОУ ВО «Медико-социальный институт» 195271, г. Санкт-Петербург, Кондратьевский проспект, д. 72, лит. А тел.: +7 (911) 925-40-31
[E-mail: sapunov@rshu.ru](mailto:sapunov@rshu.ru)

Information about the author

Valentin B. Sapunov — Dr. Sci. (Biology), Professor, Medical and Social Institute 195271, Saint-Petersburg, Kondratievsky Prospekt, 72, A tel.: +7 (911) 925-40-31
[E-mail: sapunov@rshu.ru](mailto:sapunov@rshu.ru)

Вклад автора

Автор подтверждает единоличную ответственность за концепцию и дизайн исследования, сбор и анализ данных, интерпретацию результатов, а также подготовку рукописи.

Author's contributions

The author confirms sole responsibility for the study conception and design, data collection, analysis and interpretation of results, and manuscript preparation.