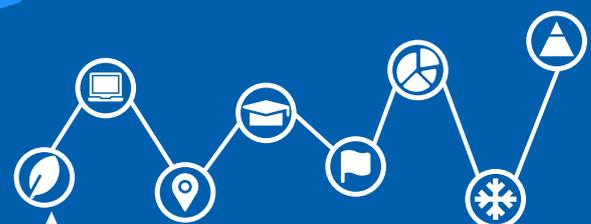


ISSN:3034-1434

Том / Vol. **2**

№ / No. **1**

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 / № 1 / 2024

Scientific Journal

“Arctic and Innovations”

Vol. 2 / No. 1 / 2024



ФГАОУ ВО «МАУ»
FSAEI HE "MAU"



Том **2**
№ **1**
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 марта 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 разработками.

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 Ahmad Alaa Ali – PhD (Geoecology), expert of environmental sector 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, St. 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 geoecology of the Northern region of the Department of geography at the Moscow State Lomonosov University (Moscow, Russian Federation)



Vol. **2**
1
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 March 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

Верстка

Olga V. Khramova

- 6** Воспитание патриотизма — необходимый фактор для российской государственности
Аксенов А.А., Фофанова А.Ю.
- 14** Некоторые вопросы о месте литодинамических процессов в общей классификации геологических опасностей и явлений
Рыбалко А.Е., Щербаков В.А., Рябчук Д.В., Иванова В.В., Жамойда В.А., Сличенков В.И., Котов С.Р., Сергеев А.С.
- 27** Теоретическое обоснование 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., Шилин М.Б.
- 45** Гражданская наука в исследованиях микропластикового загрязнения Российской Арктики
Ершова А.А., Смолокуров А.В.
- 56** Автоматизированная система для содержания литоральных моллюсков с имитацией приливо-отливного цикла
Козминский Е.В., Лезин П.А.
- 65** Дифференциация качества общего образования в арктических моногородах в оценке участников образовательных отношений
Пунанцев А.А.
- 71** Современные перспективы развития портовой инфраструктуры Северного морского пути
Леонтьева Е.О., Агафонов С.А.
- 80** Современное состояние природных вод и донных отложений южной части Кольского залива
Царькова Н.С., Григорьев С.С., Иванов И.М., Осинцев В.Н.

Patriotic education as a necessary factor for Russian statehood Aksenov A.A., Fofanova A.Yu.	6
On certain issues related to the place of lithodynamic processes in the general classification of geologic hazards and phenomena Rybalko A.E., Shcherbakov V.A., Ryabchuk D.V., Ivanova V.V., Zhamoida V.A., Slichenkov V.I., Kotov S.R., Sergeev A.S.	14
Theory behind an innovative non-disassembly repair technology for assemblies in marine, railway, and motor transport, as well as industrial equipment in the Arctic Pavlov O.G., Dunaev A.V., Lavrov Yu.G., Tseyko A.P., Shilin M.B.	27
Citizen science in studying the microplastic pollution of the Russian Arctic Ershova A.A., Smolokurov A.V.	45
Automated system for intertidal mollusk keeping with tidal cycle imitation Kozminsky E.V., Lezin P.A.	56
Differentiation of general education quality in single-industry Arctic towns by educational as assessed participants Punantsev A.A.	65
Modern prospects for the port infrastructure development of the Northern Sea Route Leonteva E.O., Agafonov S.A.	71
Current state of natural waters and bottom sediments in the southern part of Kola Bay Tsarkova N.S., Grigoriev S.S., Ivanov I.M., Osintsev V.N.	80

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 355.233.231.1

ББК 74.200.522

<https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-6-13>



Воспитание патриотизма — необходимый фактор для российской государственности

Аксенов А.А.¹✉, Фофанова А.Ю.²

¹ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова», Воронеж, Россия

² ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет», Мурманск, Россия

✉ aaa-aksenov@mail.ru

Аннотация. В статье раскрыт термин «патриотизм» и значимость его содержания; обращается внимание на изменения, происходящие в обществе, на реализуемые патриотические мероприятия в Воронежской и Мурманской областях с целью формирования патриотизма у молодежи.

Представленный материал доказывает необходимость постоянного проведения работы по воспитанию патриотизма в обществе как фактора формирования у граждан страны активной гражданской позиции, готовности к самоотверженному служению своему Отечеству, уважения к законности и правопорядку, что является мобилизующими ресурсами развития современного общества России.

Ключевые слова: патриотическое воспитание, защита Отечества, формирование личности, мероприятия, реализация проекта, нацизм, история, ветераны, Вооруженные силы РФ, школьники, молодежь, гражданское общество, государственность

Конфликт интересов: авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Аксенов А.А., Фофанова А.Ю. Воспитание патриотизма — необходимый фактор для российской государственности. *Арктика и инновации*. 2024;2(1):6–13. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-6-13>

Patriotic education as a necessary factor for Russian statehood

Aksenov A.A.¹✉, Fofanova A.Yu.²

¹ Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

² Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia

✉ aaa-aksenov@mail.ru

Abstract. The article examines the term “patriotism” and the significance of its meaning, drawing attention to the changes taking place in society and patriotic activities being conducted in Voronezh and Murmansk Regions in order to promote patriotism among young people.

The presented material proves the need for constant work on promoting patriotism in society as a factor in the development of civic engagement

among the citizens of the country, readiness to selflessly serve their country, and respect for law and order, which is a mobilizing resource for the development of modern Russian society.

Keywords: patriotic education, homeland defense, personality formation, activities, project implementation, Nazism, history, veterans, Armed Forces of the Russian Federation, schoolchildren, youth, civil society, statehood

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

For citation: Aksenov A.A., Fofanova A.Yu. Patriotic education as a necessary factor for Russian statehood. *Arctic and Innovations*. 2024;2(1):6–13. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-6-13>

Всем известный термин «патриотизм» происходит от греческого «патрис», определяющего «землю отцов; место рода; Родину» [1]. В.И. Даль в «Словаре живого великорусского языка» указал, что патриот — «любитель отечества, отчизнолюб, отечественник или отчизник» [2].

Само значение патриотизма раскрывает его значимость и необходимость воспитания данного качества в каждом гражданине Российской Федерации.

Сегодняшнее состояние общества в России является ярким доказательством роли воспитания патриотизма среди населения, и прежде всего молодого поколения страны.

Происходящие в обществе изменения порой отрицательно влияют на мнения и поступки граждан, приводя к расслоению общества, миграции, накаливанию национальных отношений. Подобной ситуации противостоит уровень патриотизма, которым обладает общество.

В настоящее время это проявляется в равнодушии к личному долгу по защите Отечества, различным интересам государства, осознании необходимости усиления Вооруженных Сил РФ и постоянного роста их боеготовности, что следует из отношения к частичной мобилизации граждан и добровольных обращений на призывные пункты.

Так, уже 22.09.2022 г. Минобороны сообщило, что, не дожидаясь повесток в рамках частичной военной мобилизации, в военкоматы самостоятельно явились 10 тысяч россиян [3].

По нашему мнению, развитие современного российского общества позволяет сформулировать понятие «патриотизм» как патриотическое воспитание под управлением государства и общественных организаций

детей, молодежи и иного населения независимо от возраста с целью повышения патриотического сознания, долга и готовности реализовывать меры по защите России и ее многонационального населения.

Для регионов России характерны самые разнообразные мероприятия по патриотическому воспитанию, включающие активную подготовку молодежи к службе в Вооруженных силах РФ.

Например, проведение «Дня призывника» в муниципальных образованиях Мурманской и Воронежской областей включает разные мероприятия:

- в г. Коле Мурманской области проходила демонстрация вооружения и спецсредств, показательные выступления подразделения военнослужащих войсковой части, звучали напутствия от председателя районного Совета ветеранов, жителей района, прошла интересная концертная программа [4];
- в Мурманске в мероприятии участвовало более 500 учащихся 9–11-х классов школ и гимназий. Празднование «Дня призывника» в регионе является традиционным. Для гостей организовываются показательные выступления морских пехотинцев Северного флота, и все желающие, в большинстве из числа ребят, получают возможность познакомиться с солдатским бытом, боевым оружием и военной техникой [5];
- «День призывника», проводимый ежегодно с участием школьников г. Мурманска и на базе ремонтно-восстановительного батальона Северного флота [6]. Подобные мероприятия знакомят старшеклассников с реальными условиями службы и быта военнослужащих срочной службы. Посещение войсковой части включало осмотр казарм личного состава, ознакомление с выставкой вооружения и военной техники, ремонтной мастерской батальона, где бронетехнике дается «вторая жизнь».

На встрече с ветеранами Вооруженных сил России и действующими военными будущие призывники много узнали о военной службе и приемах рукопашного боя, с которыми их познакомили бойцы отдельной Киркенесской Краснознаменной бригады морской пехоты.

В мероприятии активное участие приняли бойцы ОМОН Росгвардии по Мурманской области, осуществившие показ современной бронетехники и спецобмундирования, познакомившие школьников с возможностью и порядком обучения в институтах Росгвардии России;

- в Семелукском районном Дворце творчества Воронежской области ежегодно проводится «День призывника». Перед призывниками выступили: военный комиссар по Семилукскому району, заместитель председателя Совета ветеранов района, заместитель председателя районной общественной организации ветеранов боевых действий, руководитель казачьего клуба «Ватага» и многие другие заслуженные, уважаемые представители района. Все выступающие говорили о долге, о воинской чести, о стойкости духа российских солдат и выражали надежду, что сегодняшние призывники не посрамят звание солдата — защитника Родины.

Собравшиеся присутствовали на показательных выступлениях, мастер-классе участников военно-патриотического клуба «Ватага» и концерте творческих коллективов Дворца [7];

- на территории сборного пункта Воронежской области всегда празднично проходят мероприятия «Дня призывника». Он сопровождается брифингом военного комиссара региона и присутствием большого числа школьников города Воронежа, подростков из военно-патриотических клубов и общественных движений области, представителей муниципальных и районных делегаций Воронежа.

Показ современного и исторического оружия, техники общевойсковой армии Западного военного округа, оборудования подразделений Росгвардии и сотрудников МЧС, выступления по рукопашному бою и специальной подготовке представляли интерес для всех участвующих в мероприятии [8].

По нашему мнению, является заслуживающим внимания тот факт, что набирает силу новая форма военно-патриотического воспитания — юнармейский призыв. Так, по мнению с мест дислокации воинских частей и соединений, где служит молодежь из числа юнармейцев, они характеризуются, как отлично выполняющие свой долг, являясь положительным примером для остальных военнослужащих [9].

Интересна для молодежи акция «В армию на денек». Она организована командованием Северного флота и администрацией города Мурманска. Во время акции будущие призывники из числа старшекласников мурманских школ и юнармейских отрядов знакомятся с условиями прохождения службы в рядах военнослужащих Северного флота на базе ремонтно-восстановительного батальона. Во время акции будущие призывники познакомились со стрелковым вооружением и средствами связи, военной техникой, армейским снегоходом «А-1», двухзвенным гусеничным снегоболотоходом высокой проходимости ГАЗ-3344 «Алеут», мастерской техобслуживания МТО-УБ1, ремонтно-эвакуационной — РЭМ-КЛ и бронированной ремонтно-эвакуационной — БРЭМ-1, машинами, стоящими на вооружении армейского корпуса Северного флота.

Не остались без внимания школьников не только условия службы, быта, образцы военной формы, экипировки современных военнослужащих, но и физическая подготовка пехотинцев бригады морской пехоты из поселка Спутник Мурманской области, показавших приемы рукопашного боя [10].

Юнармейцы Центра патриотического воспитания «Юная гвардия» ежегодно принимают участие в городской Вахте памяти и скорби. Данное мероприятие посвящено празднованию разгрома немецко-фашистских войск в Заполярье.

Каждый октябрь проводятся Уроки мужества, тематические беседы, виртуальные экскурсии, возложение цветов к мемориальным доскам, посвященным героям-защитникам Советского Заполярья, а также организуются почетные караулы у памятников, приуроченные к этому знаменательному событию [11].

Заслуживающим внимания стало открытие памятно-мемориальной аллеи в честь героев-земляков в сентябре 2021 года. Она представлена девятью стендами вдоль тротуара к Дому Юнармии по улице Строителей в городе Апатиты Мурманской области. Создание памятной аллеи осуществлялось как социально значимый проект Всероссийского военно-патриотического общественного движения и АНО «Дрозд-Хибины».

Аллея начинается с памятного знака, расположенного между двумя пограничными столбами с гербами СССР и России как символами охраняемой государственной границы, ведь Мурманская область соседствует с двумя государствами — Финляндией и Норвегией.

Аллея памяти и славы изначально проектировалась в честь ветеранов Великой Отечественной войны. Однако по инициативе юнармейцев и их родителей было решено увеличить содержание экспозиции материалами о героях, отдавших свою жизнь за Отечество в локальных войнах и конфликтах.

Значимым в патриотическом воспитании молодежи явился тот факт, что основное количество портретов на стендах — это земляки, и население Мурманской области помнит и гордится ими. К примеру, Героём Российской Федерации ефрейтором Игорем Чиликановым. Создание этой аллеи выражает взаимосвязь поколений, объединившей реальные примеры отваги и доблести в служении своей Родине, что актуально для формирования личных качеств у молодежи.

Когда жители города, независимо от возраста, увидели на фотографиях лица своих родственников, то они испытали незабываемое чувство гордости за своих прародителей и весь советский народ, выстоявший и победивший фашизм в Великой Отечественной войне.

В планах — расширение Аллеи памяти и славы. В экспозицию войдут материалы о юных защитниках Отечества, именно здесь планируется проведение Уроков мужества и торжественных приемов в ряды юнармейцев.

Отметим, что в 2021 году в Доме Юнармии города Полярный Мурманской области при помощи военнослужащих состоялось открытие впечатляющей экспозиции — «Кто и как нас защищает». На выставке представлялись образцы военного обмундирования и вооружения.

Над юнармейцами городов Полярный, Гаджиево и Снежногорск шествуют военнослужащие подводных сил Северного флота [12].

Заслуживает внимания проведенная 1 июня 2022 года патриотическая межрегиональная конференция «Петровская Ассамблея» в Воронежском государственном университете [13].

«Петровская Ассамблея» — федеральный проект фонда «Достойная память». Он объединил несколько регионов России с целью сохранения историко-культурного наследия императора Петра I, развития туризма и территорий в контексте патриотического воспитания и духовно-нравственного просвещения населения. В рамках конференции также прошла выставка «Великое Петровское посольство в лицах и куклах», сюжетные экскурсии по экспозиции и персональная выставка графических работ «Великое посольство Петра Первого» и прочее. Ведь Воронеж — колыбель военно-морского флота, одного из самых сильных в мире, и важно передавать молодому поколению понимание и знание историко-культурного наследия России, гордость и необходимость сохранения исторических достижений Отечества. Данное мероприятие было интересно и привлекло к участию не только студентов, но и значительное число школьников региона.

Также в вузах Воронежа проходят интересные для студентов встречи с ветеранами Великой Отечественной войны, которые рассказывают о своих подвигах. 22 апреля студенты Воронежского лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова встретились с ветераном Великой Отечественной войны Николаем Николаевичем Борисовым, участником Парада Победы 2022 г. Бывший танкист, командир экипажа танка Т-34 рассказал молодежи о том, как началась война, о тяжелых воинских буднях, о том, как били фашистов и как была завоевана Победа.

Считаем, что сильным воспитательным моментом является то, что с 1 сентября 2022 года каждая учебная неделя в каждой школе начинается исполнением гимна и поднятием государственного флага. Президент страны В.В. Путин отметил: «Да, это очень правильно и востребовано. Но только нужно, чтобы это было сделано достойно», а «там, где это невозможно организовать таким образом, лучше пока перенести» [14] реализацию этой традиции. Кроме того, он подчеркнул, что процедура должна соответствовать значимости государственных символов.

Безусловно, честь поднятия флага будет доверяться лучшим из лучших учащихся, отличившимся в учебе, спорте, внеклассной работе, что станет дополнительной мотивацией для школьников в достижении высоких целей, повышая их личное сознание и уважение к символам государства.

Важно, что с 1 сентября 2022 года в школах Воронежской области реализуется новый патриотический проект. Программу для детей подготовили активисты региона. Проект «Я наследник героев и я против нацизма» призван осветить для подрастающего поколения все аспекты темы нацизма: истории и причины его возникновения, чем последствия его страшны для человечества. Данная тема особенно остро звучит с начала специальной военной операции на Украине. Подобный проект является и демонстрацией героизма россиян, показывая, на что может ориентироваться подрастающее поколение и какими поступками следует гордиться.

Кроме того, в школах планируется уделять больше времени патриотическому воспитанию учащихся, обеспечивая изучение истории и понимание причин и последствий важных вех истории страны.

Планируется проведение серий внеклассных занятий «Разговоры о важном», и для этого выделено 34 учебных часа на год. Школьники под руководством классных руководителей познакомятся с общественно-политической жизнью страны и своего региона. Они смогут не только слушать, но и получать ответы на свои вопросы, обсуждать и высказывать собственные точки зрения [15].

В школах и университетах Воронежской области проводятся и иные мероприятия с целью организации патриотического воспитания.

Отметим, что элемент патриотического воспитания для всего населения России (в сложных современных условиях специальной военной операции на Украине) имеют и принятые в сентябре 2022 года дополнения в действующее законодательство, а именно: поправки в Уголовный кодекс (УК) РФ, предусматривающие новые составы преступлений периода мобилизации и военных конфликтов. Так, поправки предусматривают появление в УК новых статей и норм, которые ужесточили существующие составы «в период мобилизации, военного положения, военных действий и вооруженного конфликта».

Ужесточение наказания касается практически всех статей главы о воинских преступлениях, а некоторые нормы переформулированы. Статья 332 («неисполнение приказа») теперь наказывает военнослужащих не просто за неисполнение приказа, а за отказ от участия в военных действиях сроком. Максимальное наказание: от 3 до 10 лет. Часть норм направлена на ужесточение дисциплины, в том числе на пресечение дезертирства.

К новым статьям относятся статья 356.1 («Мародерство») и статья 352.1 («Добровольная сдача в плен»). Мародерством будет считаться совершенное с корыстной целью «изъятие чужого имущества» (максимальное наказание — от 8 до 15 лет лишения свободы). Добровольная сдача в плен при отсутствии признаков госизмены (т.е. перехода на сторону противника) будет наказываться сроком от 3 до 10 лет [16].

Итак, развитие современной законодательной базы РФ, приведенные примеры из практики реализации патриотического воспитания в Воронежской и Мурманской областях доказывают необходимость его постоянного проведения как фактора формирования активной гражданской позиции личности, готовности к самоотверженному служению своему Отечеству, уважения к законности и правопорядку, чувства ответственности за выполнение конституционного долга и обязанностей по защите Отечества. Считаем, что это мобилирующий ресурс развития современного общества России.

Президент РФ В.В. Путин высоко оценил патриотизм, назвав его одной из ключевых основ российской государственности, а также важной ценностью российского общества, проявляющейся в решающие для страны моменты [17].

Благодарности

Исследование выполнено в рамках инициативной НИОКР № 122061400033-4.

Acknowledgments

The reported study was conducted under the independent research and development project No 122061400033-4.

Список литературы

1. Шевелева Н.В. Роль патриотического воспитания в системе современного образования. Интерактивное образование [интернет]. 2018;(77). Режим доступа: <http://www.io.nios.ru/articles2/96/2/rol-patrioticheskogo-vospitaniya-v-sisteme-sovremennogo-obrazovaniya> (дата доступа: 17.09.2022).
2. Шарахова В.С. Патриотическое воспитание как необходимое условие духовно-нравственного воспитания. Студенческий научный форум — 2013 [интернет]. Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2013/article/2013007592> (дата доступа: 11.09.2022).
3. Генштаб заявил о 10 тыс. самостоятельно прибывших в военкомат граждан. РБК [интернет]. 22.09.2022. Режим доступа: <https://www.rbc.ru/politics/22/09/2022/632c882d9a794727c03df66a> (дата доступа: 07.09.2022).
4. На «Дне призывника» в Коле продемонстрируют современное вооружение. Север Пост.ру [интернет]. 13.04.2016. Режим доступа: <https://severpost.ru/read/40649/> (дата доступа: 11.09.2022).
5. В Мурманске отметили День призывника. Телекомпания ТВ-21 [интернет]. 26.10.2019. Режим доступа: <https://www.tv21.ru/news/2019/10/26/v-murmanske-otmetili-den-prizyvnik> (дата доступа: 10.09.2022).
6. В Мурманске прошёл «День призывника». В-порт [интернет]. 26.10.2018. Режим доступа: <https://b-port.com/news/220691> (дата доступа: 07.09.2022).
7. Во Дворце творчества состоялась традиционная весенняя акция «День призывника». Семилукский муниципальный район Воронежской области [интернет]. 14.04.2021. Режим доступа: <https://www.semiluki-rayon.ru/ru/about/news/rayon/vo-dvortse-tvorchestva-sostoyalas-traditsionnaya-vesennaya-aktsiya-den-prizyvnik/> (дата доступа: 12.09.2022).
8. На территории сборного пункта Воронежской области прошли праздничные мероприятия в честь Дня призывника. Министерство обороны Российской Федерации (Минобороны России) [интернет]. 16.04.2021. Режим доступа: https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12354948@egNews (дата доступа: 19.09.2022).
9. В ЗАТО Александровск продолжается весенний призыв. ЗАТО Александровск [интернет]. 08.06.2021. Режим доступа: <https://zato-a.ru/about/info/news/5288/> (дата доступа: 13.09.2022).
10. Мурманские школьники погрузились «В армию на денёк» [интернет]. Мурманский вестник [интернет]. 28.02.2020. Режим доступа: <https://www.mvestnik.ru/newslet/murmanskie-shkolniki-pogruzilis-v-armiyu-na-denk/> (дата доступа: 14.09.2022).
11. 5 мая юнармейцы и кадеты Мурманской области заступили в почётный караул у памятника «Алёши». Мурманск Без формата [интернет]. 06.05.2022. Режим доступа: <https://murmansk.bezformata.com/listnews/kadeti-murmanskoy-oblasti-zastupili/105274231/> (дата доступа: 18.09.2022).
12. Юнармейцы Мурманской области открыли Аллею памяти и славы, посвященную героям-землякам. Юнармия. События [интернет]. 22.09.2022. Режим доступа: <https://yunarmy.ru/press-center/news/yunarmeytsy-murmanskoy-oblasti-otkryli-alleyu-pamyati-i-slavy/> (дата доступа: 11.09.2022).
13. В ВГУ прошла патриотическая межрегиональная конференция «Петровская Ассамблея». ВГУ. Воронежский государственный университет [интернет]. 01.06.2022. Режим доступа: <https://www.vsu.ru/ru/news/feed/2022/06/15019> (дата доступа: 05.09.2022).

14. Путин оценил идею поднимать флаг и исполнять гимн в школах. НТВ [интернет]. 20.04.2022. Режим доступа: <https://www.ntv.ru/novosti/2702618> (дата доступа: 10.09.2022).
15. В школах Воронежской области стартует новый патриотический проект. Мое! Online [интернет]. 26.08.2022. Режим доступа: <https://moe-online.ru/news/byd-v-kurse/1134149> (дата доступа: 12.09.2022).
16. Путин подписал закон о 10 годах колонии за добровольную сдачу в плен. РБК [интернет]. 24.09.2022. Режим доступа: <https://www.rbc.ru/politics/24/09/2022/632eff3a9a794748824ec621> (дата доступа: 20.09.2022).
17. Путин назвал ключевую основу государственности России. Lenta.ru [интернет]. 27.04.2022. Режим доступа: <https://lenta.ru/news/2022/04/27/patriotism/> (дата доступа: 04.09.2022).

References

1. Sheveleva N.V. The role of patriotic education in the system of modern education/N.V. Sheveleva. Interaktivnoe obrazovanie [internet]. 2018;(77). Available at: <http://www.io.nios.ru/articles2/96/2/rol-patrioticheskogo-vozpitanija-v-sisteme-sovremennogo-obrazovaniya> (accessed 17 September 2022). (In Russ.).
2. Sharakhova V. S. Patriotic education as a necessary condition for spiritual and moral education. Student Science Forum — 2013 [internet]. Available at: <https://scienceforum.ru/2013/article/2013007592> (accessed 11 September 2022). (In Russ.).
3. The General Staff announced 10 thousand citizens who arrived at the military registration and enlistment office on their own. RBC [internet]. 22 September 2022. Available at: <https://www.rbc.ru/politics/22/09/2022/632c882d9a794727c03df66a> (accessed 07 September 2022). (In Russ.).
4. At the «Conscript's Day» in Kola, they will demonstrate modern weapons. Sever Post. ru [internet]. 13 April 2016. Available at: <https://severpost.ru/read/40649/> (accessed 11 September 2022). (In Russ.).
5. Murmansk celebrated Conscript Day. Television company TV-21 [internet]. 26 October 2019. Available at: <https://www.tv21.ru/news/2019/10/26/v-murmanske-otmetili-den-prizyvnik> (accessed 10 September 2022). (In Russ.).
6. In Murmansk, the «Conscript Day» was held. B-port [internet]. 26 October 2018. Available at: <https://b-port.com/news/220691> (accessed 07 September 2022). (In Russ.).
7. The traditional spring action «Conscript's Day» was held at the Palace of Creativity. Semiluksky municipal district of Voronezh region [internet]. 14 April 2021. Available at: <https://www.semiluki-rayon.ru/ru/about/news/rayon/vo-dvortse-tvorchestva-sostoyalas-traditsionnaya-vesennaya-aktsiya-den-prizyvnik/> (accessed 12 September 2022). (In Russ.).
8. On the territory of the national assembly point of the Voronezh region, festive events were held in honor of the Conscript's Day. Ministry of Defense of the Russian Federation [internet]. 16 April 2021. Available at: https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12354948@egNews (accessed 19 September 2022). (In Russ.).
9. The spring call continues in ZATO Aleksandrovs. ZATO Aleksandrovs [internet]. 10 June 2021. Available at: <https://zato-a.ru/about/info/news/25182/> (accessed 13 September 2022). (In Russ.).
10. Murmansk schoolchildren plunged «Into the army for a day». Murmansk Bulletin [internet]. 28 February 2020. Available at: <https://www.mvestnik.ru/newslent/murmanskie-shkolniki-pogruzilis-v-armiyu-na-denk/> (accessed 14 September 2022). (In Russ.).
11. On May 5, the youth army and cadets of the Murmansk region took up the guard of honor at the monument «Alyoshi». Murmansk Bezformata [internet]. 06 May 2022. Available at: <https://murmansk.bezformata.com/listnews/kadeti-murmanskoy-oblasti-zastupili/105274231/> (accessed 18 September 2022). (In Russ.).
12. Yunarmey of the Murmansk region opened the Alley of Memory and Glory, dedicated to the heroes-fellow countrymen. Yunarmia [internet]. 22 September 2022. Available at: <https://yunarmy.ru/press-center/news/yunarmeytsy-murmanskoy-oblasti-otkryli-alleyu-pamyati-i-slavy/> (accessed 11 September 2022). (In Russ.).
13. The patriotic interregional conference «Petrovsky Assembly» was held at the Voronezh State University. Voronezh State University [internet]. 01.06.2022. Available at: <https://www.vsu.ru/ru/news/feed/2022/06/15019> (accessed 05 September 2022). (In Russ.).

14. Putin appreciated the idea of raising the flag and singing the anthem in schools. NTV [internet]. 20 April 2022. Available at: <https://www.ntv.ru/novosti/2702618> (accessed 10 September 2022). (In Russ.).
15. A new patriotic project is starting in schools in the Voronezh region. Moe! Online [internet]. 26 August 2022. Available at: <https://moe-online.ru/news/byd-v-kurse/1134149> (accessed 12 September 2022). (In Russ.).
16. Putin signed a law on 10 years in prison for voluntary surrender. RBC [internet]. 24 September 2022. Available at: <https://www.rbc.ru/politics/24/09/2022/632eff3a9a794748824ec621> (accessed 20 September 2022). (In Russ.).
17. Putin called the key basis of Russia's statehood. Lenta.ru. 27 April 2022. Available at: <https://lenta.ru/news/2022/04/27/patriotism/> (accessed 04 September 2022). (In Russ.).

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 550.9 / 551.51

ББК

<https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-14-26>



Некоторые вопросы о месте литодинамических процессов в общей классификации геологических опасностей и явлений

Рыбалко А.Е.^{1,2,✉}, Щербаков В.А.¹, Рябчук Д.В.³,
Иванова В.В.¹, Жамойда В.А.³, Сличенков В.И.¹,
Котов С.Р.¹, Сергеев А.С.³

¹ ФГБУ «ВНИИОкеанология», Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия

³ ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского», Санкт-Петербург, Россия

✉ alek-rybalko@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы, связанные с изучением литодинамических процессов на шельфе как опасных явлений. На примере прибрежных зон Южного Сахалина, где проводится Государственный мониторинг опасных экзогенных процессов на шельфе, показано, что в пределах выделенных ключевых участков происходит ежегодное перераспределение зон аккумуляции и размыва донных осадков. Другие примеры, взятые из практики аналогичных работ на Финском заливе Балтийского моря, свидетельствуют, что литодинамические процессы в береговой зоне приводят к значительным нарушениям состояния берега, что представляет конкретную опасность для населения. Делается вывод, что литодинамические процессы должны изучаться с применением стандартных литологических и геофизических методов, используемых при морских геологических работах.

Ключевые слова: литодинамические процессы, шельф, Южный Сахалин, Финский залив, Государственный мониторинг, гидролокация бокового обзора, эхолотирование, заносимость техногенных объектов, геоэкология шельфа

Конфликт интересов: авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Рыбалко А.Е., Щербаков В.А., Рябчук Д.В., Иванова В.В., Жамойда В.А., Сличенков В.И., Котов С.Р., Сергеев А.С. Некоторые вопросы о месте литодинамических процессов в общей классификации геологических опасностей и явлений. *Арктика и инновации*. 2024;2(1):14–26. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-14-26>

On certain issues related to the place of lithodynamic processes in the general classification of geologic hazards and phenomena

Rybalko A.E.^{1,2,✉}, Shcherbakov V.A.¹, Ryabchuk D.V.³,
Ivanova V.V.¹, Zhamoida V.A.³, Slichenkov V.I.¹, Kotov S.R.¹,
Sergeev A.S.³

¹ FSBI «VNIIOkeangeologia», Saint Petersburg, Russia

² Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

³ Karpinsky Russian Geological Research Institute, Saint Petersburg, Russia

✉ alek-rybalko@yandex.ru

Abstract. The article addresses issues related to the study of lithodynamic processes on the shelf as dangerous phenomena. On the example of the coastal zones of South Sakhalin where hazardous exogenous processes on the shelf are state-monitored, it is shown that an annual redistribution of bottom sediment accumulation and erosion zones occurs within the identified key areas. Other examples from the practice of similar works in the Gulf of Finland of the Baltic Sea indicate that lithodynamic processes in the coastal zone lead to a significant disturbance of the coast, which poses a specific danger to the population. It is concluded that lithodynamic processes should be studied via standard lithological and geophysical methods used in marine geological work.

Keywords: lithodynamic processes, shelf, South Sakhalin, Gulf of Finland, state monitoring, side-scan sonar, echo sounding, sediment accumulation on man-made objects, shelf geoecology

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

For citation: Rybalko A.E., Shcherbakov V.A., Ryabchuk D.V., Ivanova V.V., Zhamoida V.A., Slichenkov V.I., Kotov S.R., Sergeev A.S. On certain issues related to the place of lithodynamic processes in the general classification of geologic hazards and phenomena. *Arctic and Innovations*. 2024;2(1):14–26. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-14-26>

Опасные геологические процессы и явления (ОГПЯ) на шельфе в настоящее время привлекают все большее внимание как исследователей, так и практиков в связи с хозяйственным освоением морского дна [1–3]. Развитие нефтегазового комплекса на дне шельфовых морей поставило в повестку дня вопросы экологической безопасности как самих буровых, так и получающего все большее развитие трубопроводного транспорта. Обеспечение экологической безопасности подобных инженерных объектов является важнейшей проблемой при инженерном освоении дна шельфовых морей, особенно в условиях геополитической нестабильности, а также проявления таких видов ОГПЯ, которые до недавнего времени в пределах некоторых регионов даже не прогнозировались. Калининградское землетрясение в 2004 году является тому примером.

Целый ряд обычных природных процессов начинает в определенных условиях представлять опасность для подводных инженерных объектов, причем эта опасность осознавалось гораздо раньше, чем появилось само понятие «опасные геологические процессы». К таковым относятся литодинамические процессы, связанные с горизонтальным перемещением обломочного материала под влиянием волнений и течений. Наиболее активно они изучались и изучаются в береговой зоне, так как именно с ними связаны вопросы устойчивости берегов, в том числе — в зонах строительства портовых сооружений. В 80-х годах прошлого века на основе изучения литодинамики наносов в береговой зоне в Институте океанологии АН СССР проф. В.В Лонгинов организовал новую научную школу [4]. Впоследствии это учение распространилось на весь

шельф, континентальный склон и его подножие, что дало начало новой отрасли науки — литодинамика океана [5]. Изучение этих процессов нашло широкое распространение в практике морских инженерно-геологических изысканий. В своде правил СП 11-114-2004 «Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений» (ст. 7) указано, что литодинамические исследования проводятся в комплексе с проведением инженерно-геодезических, инженерно-геологических и инженерно-гидрометеорологических работ и включают изучение литолого-геоморфологических условий, динамики наносов, динамики дна и берегов, воздействие на дно ледяных образований. Большое внимание изначально уделялось изучению литодинамических процессов в береговой зоне в США, где вопрос устойчивости берегов и заносимости морских каналов был жизненно важным для многих городов, располагающихся непосредственно на побережье [6].

В отечественной практике давно осознано важное значение литодинамических процессов для формирования донных осадков, а также неблагоприятного их воздействия на инженерные объекты в береговой зоне (заносимость фарватеров и судоходных каналов), на подводные трубопроводы и кабели (подмыв их основания или наоборот, погребение под слоем движущихся осадков). Однако не существует единого мнения о профессиональной принадлежности этого вида осадкообразования (собственно динамики осадков). В настоящее время в цикле инженерно-геологических работ этот тип седиментационных процессов рассматривается, как указано выше, в разряде инженерно-гидрометеорологических изысканий. В свою очередь, структуры агентства «Роснедра» (Минприроды РФ), отвечающие за геоэкологическую безопасность инженерных сооружений на шельфе, относят эти процессы, как и все литологические факторы, к сфере гидрометеорологии, аргументируя это тем, что все осадки формируются в водной или воздушной среде (что, в принципе, никем и не оспаривается). При этом не всегда данные процессы рассматривают как опасные, относя их к природным.

Однако литодинамические процессы в определенных условиях и при размещении инженерных объектов на морском дне могут

представлять опасность для человека и создаваемой им на шельфе инфраструктуры.

Основным фактором литодинамики как природного процесса является транспортировка обломочного материала (в форме качения, сальтации или взвеси) под влиянием волнения и самых разнообразных течений. В этом смысле понятие литодинамики тесно связано с понятием морфодинамики (занимающейся в том числе вопросами образования аккумулятивных или денудационных форм рельефа), что дало в свое время Е.Н. Невесскому право объединить эти понятия в одно: литоморфодинамику [7].

Потоки наносов, формирующиеся под воздействием гидродинамических факторов, зависят от различных метеорологических, гидродинамических и геоморфологических условий. Основными из них являются величина придонной скорости и крупность обломочных частиц перемещаемых потоков [3]. С точки зрения фиксации ОГПЯ важны именно морфодинамические характеристики или образование новых форм рельефа: аккумулятивных и денудационных. Они фиксируют конечный результат таких ведущих факторов седиментогенеза, как аккумуляция (намыв) и размыв. Действие этих факторов приводит к заносимости морских каналов, размывам под нитками проложенных на морском дне газопроводов и к другим неприятным процессам, приводящим к нарушению экологической безопасности антропогенной инфраструктуры. Именно эти факторы учитывались уже много веков при строительстве портов и гаваней. В результате литодинамических процессов часто формируются формы донного рельефа (рытвины, различные валы песчаного и илистого состава, которые сами по себе представляют уже опасные геологические явления. Наконец, сам покров современных морских осадков, представленный илами и песками различного состава, полностью относится к категории неустойчивых грунтов и может послужить причиной проявления ОГПЯ.

Именно эти обстоятельства послужили основанием для включения изучения литодинамических процессов в комплекс инженерно-геологических исследований, а также в состав Государственного мониторинга геологической среды шельфа, преобразованного в настоящее время в Государственный мониторинг опасных геологических

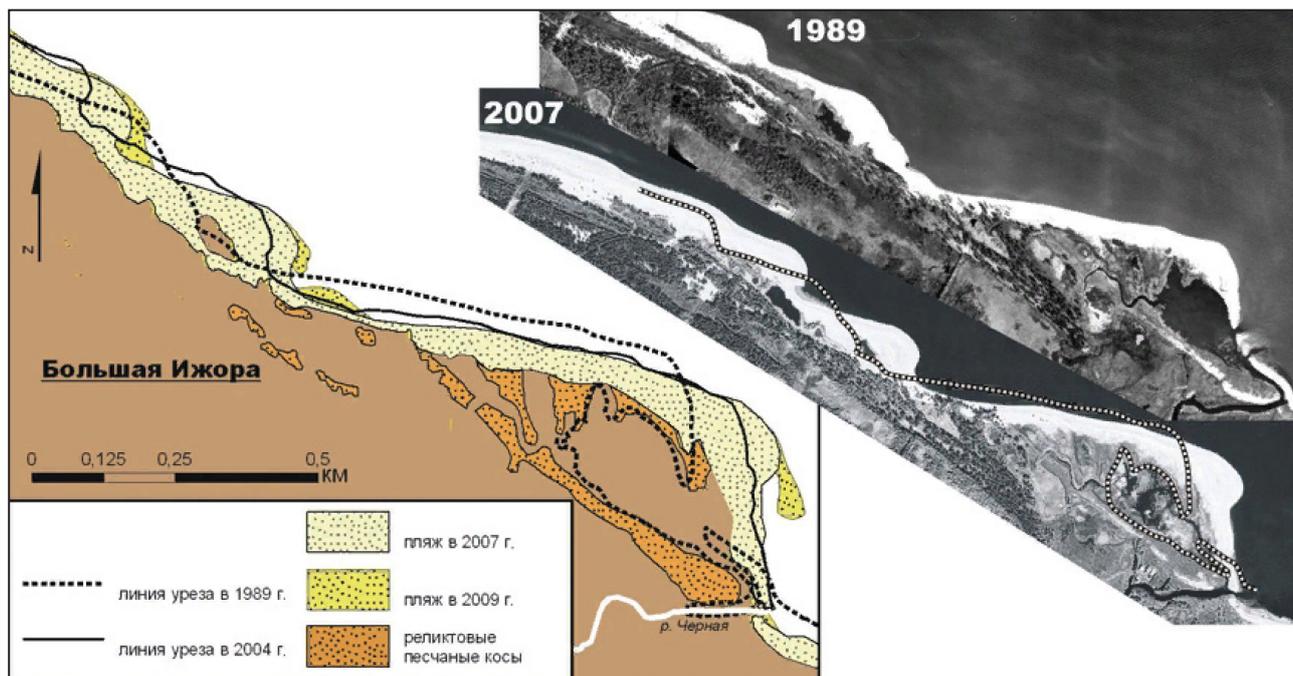


Рис. 1. Характер литодинамических процессов в районе пос. Большая Ижора. Финский залив (Материалы ВСЕГЕИ, составитель А.Ю. Сергеев) [8]

Fig. 1. Nature of lithodynamic processes in the area of Bolshaya Izhora, Gulf of Finland (VSEGEI materials compiled by A Yu. Sergeev) [8]

процессов. В рамках этих работ в последние годы были достигнуты большие успехи в организации сети постоянных наблюдений в береговой зоне Финского залива, а также на Калининградском шельфе, где береговые процессы всегда были в центре внимания природоохранных организаций.

В настоящее время все организации, выполняющие задание по Государственному мониторингу шельфа в пределах РФ, в той или иной мере занимаются вопросами литодинамики как береговой части, так и открытых участков шельфа. Так, в течение многих лет ВСЕГЕИ ведет наблюдения за устойчивостью берегов восточной части Финского залива. Была установлена высокая активность литодинамических процессов в южной береговой зоне залива в районе поселков Лебяжье и Большая Ижора. Здесь на субширотном участке берег активно размывается с формированием в толще голоценовых морских песков абразионного уступа высотой от 1 до 3–5 м. Следует отметить, что во многом за счет размываемых берегов в районе пос. Бол. Ижора на протяжении позднего голоцена происходило образование сложных песчаных кос, напоминающих по строению косы так называемого азовского типа. Между косами расположе-

ны постепенно отчлняемые от акватории и зарастающие лагуны. Здесь наблюдается чередование зон активного размыва, транзита и аккумуляции наносов (рис. 1), амплитуда изменений береговой линии достигает 5–7 м как в зонах абразии, так и на аккумулятивных участках [8].

То, что литодинамические процессы представляют конкретную опасность для инженерных объектов на дне шельфовых морей, продемонстрировано также специалистами Института им. Карпинского (ВСЕГЕИ) на примере Калининградского шельфа в районе месторождения «Кравцовское» (Д6). Здесь силами этой организации совместно с Калининградским филиалом ИОРАН проводится с 2003 года комплексный экологический мониторинг района нефтяного месторождения, совмещенный с одним из районов Государственного мониторинга состояния недр прибрежно-шельфовой зоны Балтийского, Белого и Баренцева морей (Роснедра). Использование данных гидролокации бокового обзора и многолучевого эхолотирования позволило оконтурить обстановки, маркируемые выходами коренных пород и полями грубообломочных отложений. Они наиболее широко развиты в мелководных зонах, примыкающих к Самбийскому полуострову,

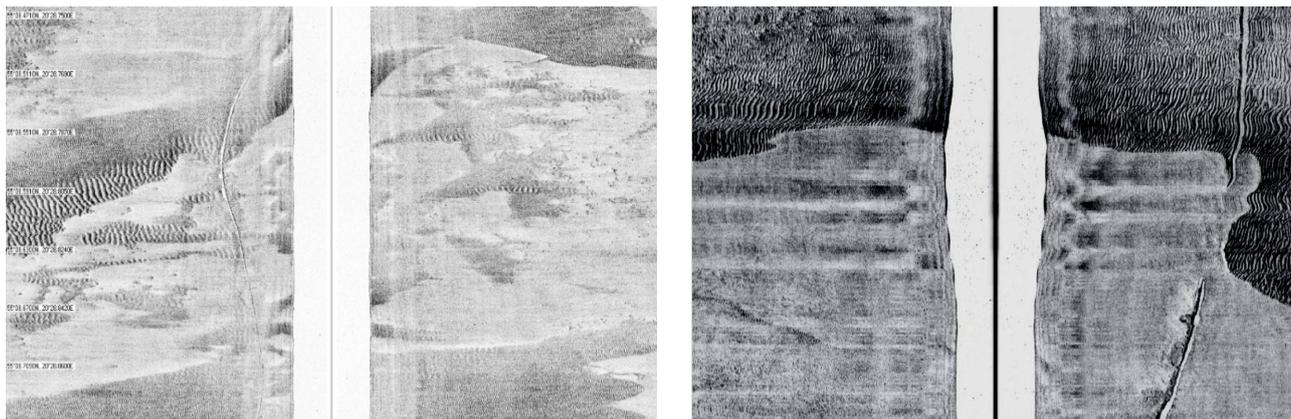


Рис. 2. Зоны активной литодинамики в районе подводного трубопровода на Калининградском шельфе (материалы гидролокации бокового обзора ВСЕГЕИ, диапазон съемки 150 м с каждого борта) [9]

Fig. 2. Zones of active lithodynamics in the area of the underwater pipeline on the Kaliningrad shelf (VSEGEI side-scan sonar data with a survey range of 150 m from each side) [9]

в основании Куршской косы и к северу от нее. Здесь на глубинах до 15–25 м зафиксированы выходы на поверхность дна коренного субстрата, обширные зоны «динамических песков» со знаками ряби, скопления валунно-галечного материала. В ряде случаев наблюдалась как заносимость трубопроводов, так и вымывание осадочного материала из подводных коммуникаций [2, 9] (рис. 2).

В 2014 г. были проведены специальные литодинамические исследования, включающие площадное обследование рельефа дна с помощью многолучевых эхолотов (МЛЭ) SeaBat 8111 (производства компании RESON), EM 2040 Compact (Kongsberg Maritime) и SeaBatT20-P (TeledyneRESON). Эти работы выполнялись ООО «Севзапгазпроект» (2011 г.), ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга» (2012 г.) и НПП «Ленарк» (2013 г.). Они выполнялись в связи с дноуглубительными работами по строительству основных гидротехнических объектов порта Сабетта — подходного и морского судоходных каналов, а также акватории порта [1].

Было установлено, что характер литодинамических процессов, обуславливающих заносимость морского канала, определяется тремя основными факторами — фоновым заилением за счет осаднения взвеси, перемещениями влекомых наносов за счет ветрового волнения и под влиянием течений, а также перемещением/переносом донного материала вследствие ледовой экзарации [1].

Используя данные интерпретации геофизических методов (многолучевого эхолотирования, гидролокации бокового обзора и акустического профилирования), материалы осаднения взвеси, полученные с помощью седиментационных ловушек, и расчетные материалы, авторы смогли оценить количественно величину годового слоя наносов, формирующегося в канале, и выделить зоны очень высокой и средней заносимости [1]. Проведенные работы отчетливо показывают, что литодинамические процессы приводят к опасным последствиям для инженерной инфраструктуры на шельфе, и для их изучения необходимо использовать комплексные геолого-геофизические методы.

Важное место в ряду изучения литодинамических процессов с точки зрения квалификации их как ОГПЯ являются работы ФГБУ «ВНИИОкеангеология», проведенные в период 2020–2022 гг. по заданию агентства «Роснедра» в прибрежной зоне Южного Сахалина. Они выполнялись на 10 ключевых участках (3 участка на Япономорском побережье, 6 участков на открытом Охотоморском побережье и 4 — в заливе Анива). Выбор участков определялся как различием характера литодинамических процессов в береговой зоне, так и практическими проблемами сохранения устойчивости берегов в зоне размещения береговой инфраструктуры (рис. 3). За достаточно короткий (3 года) период наблюдений было установлено, что в результате литодинамических процессов под воздействием волнения (до глубин 10–15 м) и течений было зафиксировано

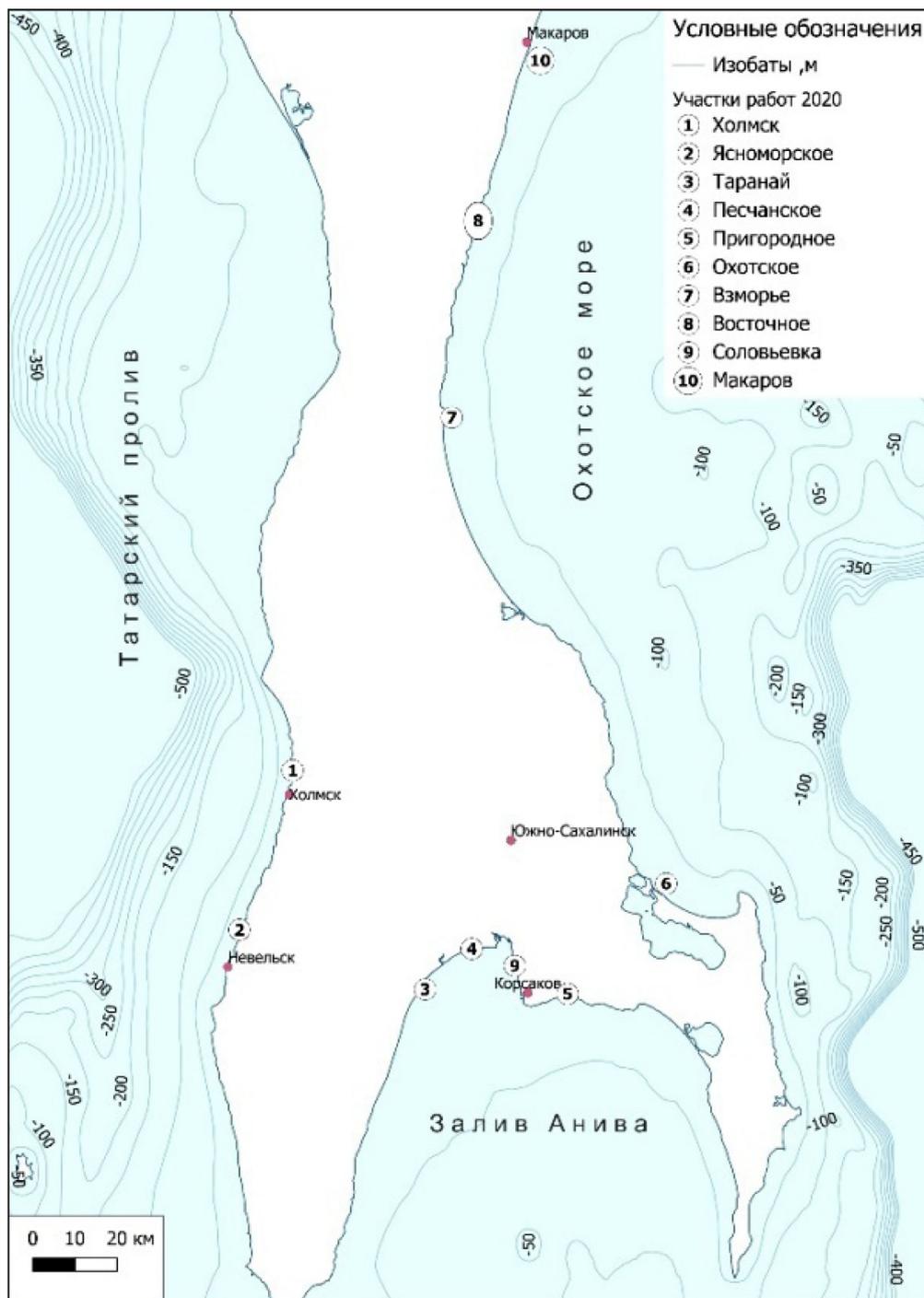


Рис. 3. Схема расположения участков наблюдения на Сахалинском побережье [ВНИИОкеангеология, 2020–2022]

Fig. 3. Layout of observation sites on the Sakhalin coast [VNIIOkeangeologia, 2020–2022]

интенсивное перемещение обломочного материала, что приводило как к локальному размыву морского дна, так и накоплению обломочного материала [9].

В результате были зафиксированы существенные преобразования фациальных условий седиментогенеза (изменения granulometric composition and ratio

on the flat bottom of sites with accumulative/denudation processes). При этом изменения высот донного рельефа может достигать более полуметра. В данном случае речь идет о ровном дне, так как в прибрежной (волновой) зоне могут формироваться валы с относительным превышением более 1 м. Объем перемытого материала в таких участках колеблется от 4000 до 300000 м³.

Это очень значительные объемы, которые, несомненно, должны учитываться при строительстве инфраструктуры на морском дне.

В качестве примера можно привести результаты мониторинга на участке вблизи пос. Макаров, находящемся на восточном побережье о-ва Сахалин, у внешней границы залива Терпения (рис. 3). На рис. 4 и 5 приведены литологические карты, построенные по данным гранулометрических анализов и площадной съемки с помощью локатора бокового обзора [9].

В 2021 году (рис. 4) выделяются несколько абразионных участков, в том числе и в южной (относительно глубоководной) части участка, которые выделяются по локальным пятнам грубообломочного материала. При этом большая часть морского дна сложена однородными мелкозернистыми песками.

В 2022 году (рис. 5) произошла существенная смена распределения донных осадков. Большая часть абразионных зон оказалась

перекрыта песками, а в распределении самих песков проявилась вертикальная зональность — то есть по мере увеличения глубин происходит замещение более крупнозернистых разностей тонкозернистыми. При этом с увеличением глубин в песках возрастает примесь тонких частиц, осадки постепенно переходят в разряд песчаных миктитов (песков алевро-пелитовых).

Эти выводы подтверждаются и картой изменения рельефа дна в пределах ключевого участка (рис. 6). Если за период с 2020 по 2021 год изменения рельефа были незначительны, то в период с 2021 по 2022 год произошло существенное увеличение мощности слоя донных грунтов, достигавшее в юго-западной части планшета за год 0,8–1,0 м. При этом продолжился рост подводной косы в северо-западной части, уже в зоне волновых отложений. Таким образом, на ключевом участке «Макаров» в 2022 году отчетливо проявилась тенденция к усилению роли аккумулятивных процессов, которые выражаются как в локальных

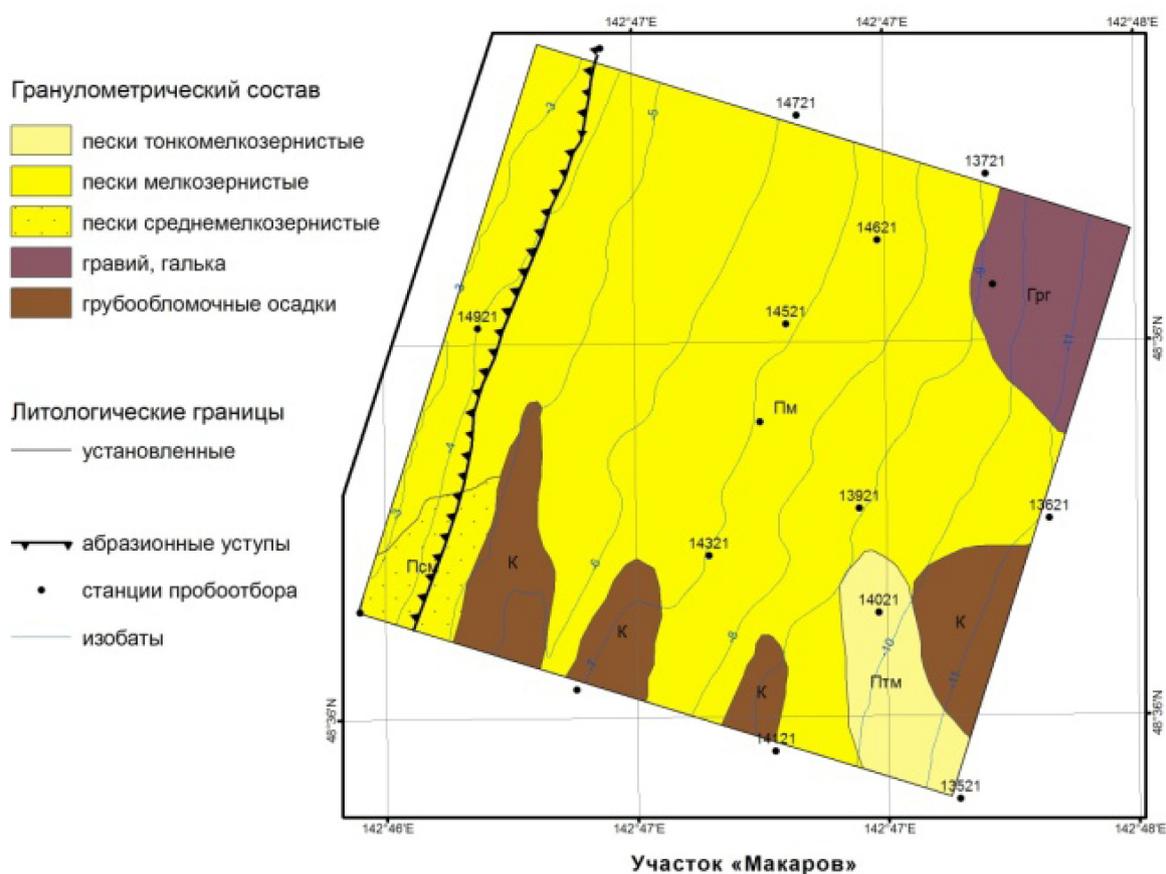


Рис. 4. Литологическая карта участка «Макаров» по данным съемок 2021 г. [9]

Fig. 4. Lithological map of the Makarov site according to 2021 survey data [9]

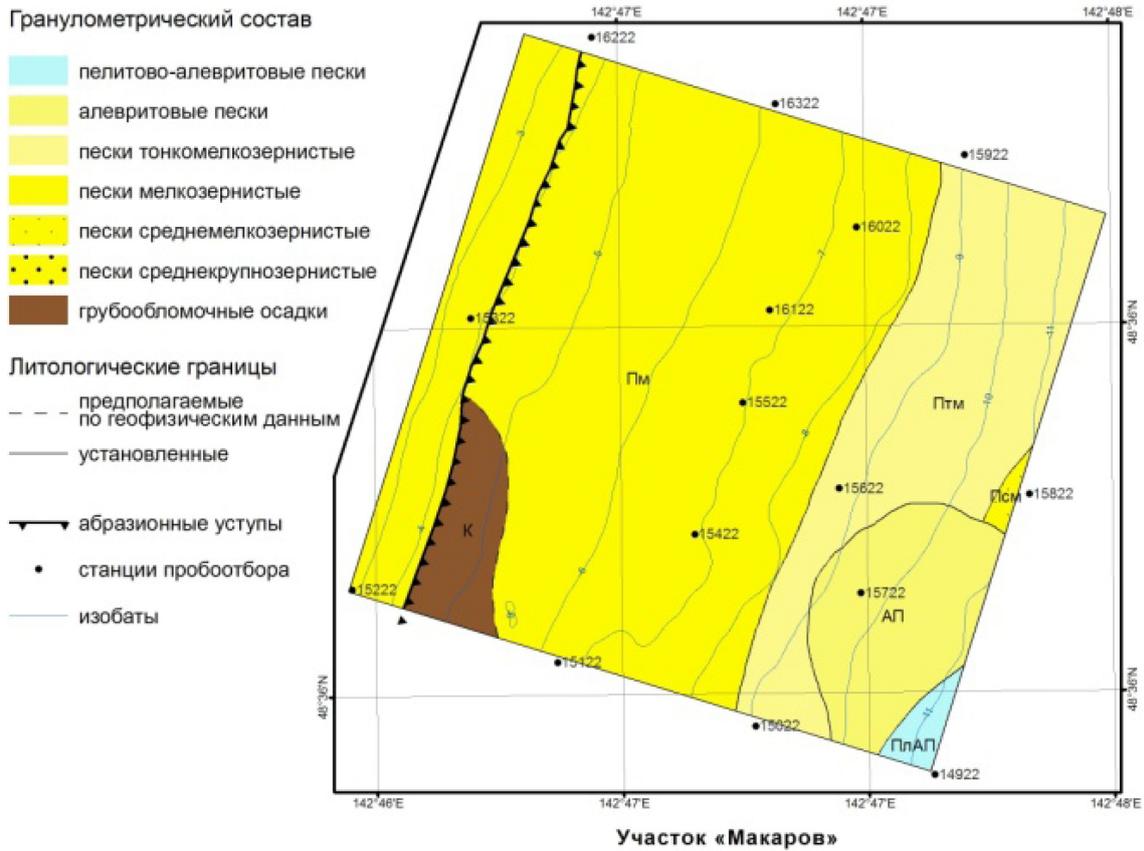


Рис. 5. Литологическая карта участка «Макаров» по данным съемок 2022 г. [9]

Fig. 5. Lithological map of the Makarov site according to 2022 survey data [9]



Рис. 6. Карты изменения донного рельефа, связанные с накоплением и размывом донных осадков. Результаты мониторинга 2020–2022 гг. [9]

Fig. 6. Maps of changes in bottom relief associated with the accumulation and erosion of bottom sediments. Monitoring results for 2020–2022 [9]

изменениях донного рельефа, так и в заметном изменении фациальных условий седиментации, на глубинах более 7 м [9].

Сводные результаты соотношения намыв/размыв по каждому из участков в период с 2021 по 2022 г. приведены в табл. 1. Анализ данных этой таблицы показывает, что объем намывных осадков в течение года может достигать 370 000 м³, а размывных и вынесенных за пределы этого контура — 429 000 м³. Подобные объемы перемещаемых наносов свидетельствуют о важности этого процесса в общем балансе наносов в прибрежной зоне в условиях развития интенсивных придонных течений.

При этом видно, что этот процесс имеет локальные особенности. На ровных аккумулятивных прибрежных равнинах он происходит на больших площадях, хотя и достаточно мозаично, как это показано на рис. 5.

На абразионных побережьях, где в прибрежной зоне на поверхность дна выходят скальные породы, они формируют неменяющийся каркас, контролирующий характер литодинамических процессов.

Прекрасным примером такого расположения является участок «Пригородное», расположенный в вершине залива Анива к востоку от порта Корсаков. Берег здесь типично абразионный — горные отроги подходят непосредственно к береговой линии. Пляжи практически отсутствуют. Вдоль берега тянется абразионная платформа (уступ), подножие которой фиксируется на глубинах 5–6 м. Далее наблюдаются 3–4 гряды, вытянутые вдоль берега и представленные, вероятно, скальными породами. Характерно, что эти гряды секут изобаты донного рельефа. На глубинах 12–15 м дно становится ровным и слабо наклоненным в сторону от берега (рис. 7).

Таблица 1. Результаты мониторинга литодинамических процессов по участкам Государственного мониторинга ОГП на Южном Сахалине с 2021 по 2022 г. [9]

Table 1. Results of monitoring lithodynamic processes at state-monitored South Sakhalin sites of geological hazards in 2021–2022 [9]

2021–2022 гг. / 2021–2022						
Названия участков / Site name	Намыв / Sediment inwash			Размыв / Erosion		
	Площадь намыва (%) / Sediment inwash area (%)	Среднее значение (м) / Average value (m)	Объем намывного материала (м ³) / Volume of inwashed sediment (m ³)	Площадь размыва (%) / Erosion area (%)	Среднее значение (м) / Average value (m)	Объем размывного материала (м ³) / Volume of eroded material (m ³)
Татарский пролив (Японское море)						
Ясноморское	70,38	0,14	142991	29,62	–0,19	81654
Холмск	62,74	0,08	86562	37,26	–0,06	38281
Залив Мордвинова (Охотское море)						
Охотское	34,25	0,09	48437	65,75	–0,10	102187
Залив Анива						
Пригородное	81,42	0,07	141086	18,58	–0,08	33817
Песчанское	64,05	0,05	57500	35,95	–0,05	30781
Таранай	23,25	0,14	72031	76,75	–0,25	429218
Охотское море						
Макаров	95,33	0,17	370000	4,67	–0,06	6875
Восточное 1	86,17	0,15	271094	13,83	–0,19	52812
Восточное 2	29,85	0,08	50156	70,15	–0,10	158750
Взморье	2,49	0,05	2562	97,51	–0,11	230312

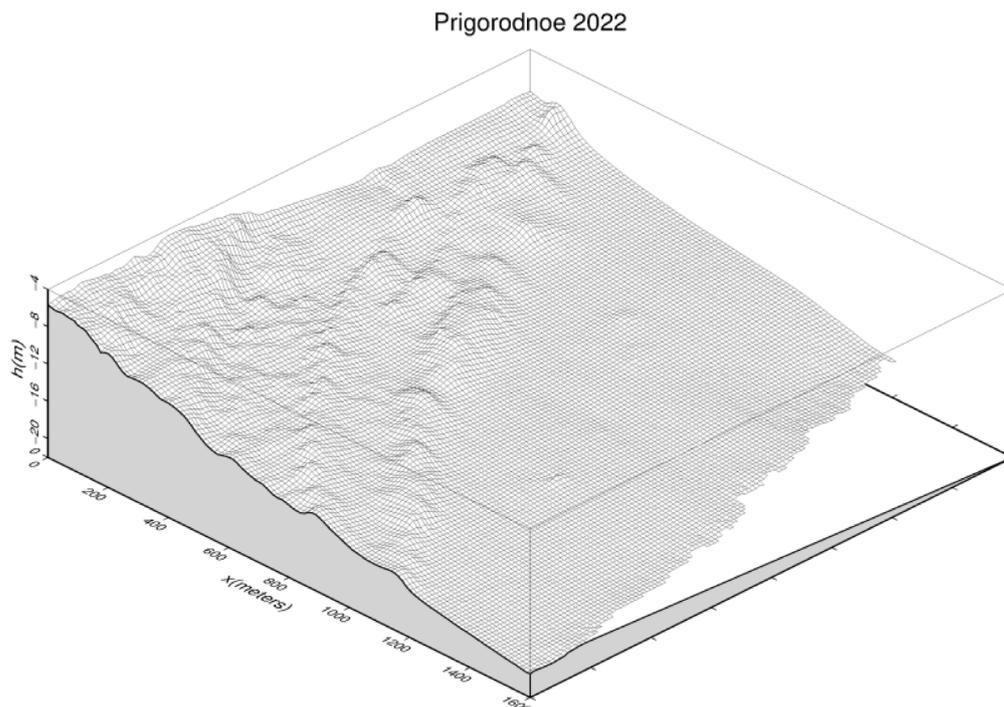


Рис. 7. Трехмерная диаграмма рельефа дна участка «Пригородное» (2022 г.) [9]

Fig. 7. Three-dimensional diagram of bottom relief at the Prigorodnoye site (2022) [9]

Гряды скальных пород, образовавшиеся под воздействием интенсивных течений, определяют распределение донных осадков. В межгрядовых понижениях формируются залежи песков, а подножие этих гряд перекрыто маломощным чехлом существенно гравийно-галечных осадков. В результате формируются две полосы песчаных отложений, положение которых сохраняется в течение обоих годов наблюдений. Они протягиваются вдоль денудационного склона на глубинах 8–10 м. Вторая полоса располагается на глубинах 15–17 м, занимая северо-восточный угол слабонаклоненной аккумулятивно-денудационной равнины и располагаясь мористее полосы вдольбереговых гряд.

На протяжении всего цикла наблюдений, начиная с 2020 года, структура распределения донных осадков сохранялась, хотя гранулометрический состав песков мог меняться в зависимости от условий конкретно существующего гидродинамического режима [9].

Комплексные исследования с использованием гидролокационного профилирования (ГЛБО), эхолотирования, интерпретационного пробоотбора, а также подводной видео- и фотосъемки на северном побережье

Финского залива, в зоне активной застройки берега, позволили выделить особенности лито- и морфодинамики прибрежной зоны — эрозионные ложбины стока на глубинах от 8 до 12 м, по которым происходит вынос обломочного материала, образующегося при размыве берега. Рельеф дна их осложнен подводными песчаными волнами, указывающими на активные литодинамические процессы. Сравнение материалов за период с 2006 по 2019 г. показало, что распределение мезоформ донного рельефа (эрозионные ложбины стока, песчаные волны, зоны динамичных песков) на протяжении времени наблюдения (6 лет) осталось стационарным (рис. 8), а скорости течений в этих ложбинах по морфометрическим показателям песчаных рифелей могут достигать 70–150 см/с.

Приведенные примеры наглядно показывают, что литодинамические процессы могут непосредственно сказываться на экологической безопасности существующих или проектируемых объектов подводной инфраструктуры, а также на устойчивости берегов. Опасность проявляется в нескольких опциях: заносимость объекта, размыв дна или подмыв фундамента сооружения, разрушение объекта в результате коррозии

при движении наносов. Изучение таких процессов должно обязательно входить в список задач Государственного мониторинга опасных экзогенных геологических процессов на шельфе, как включены они сейчас в свод Правил проведения инженерно-геологических изысканий [10].

Литодинамические процессы являются одной из важнейших составных частей геологической науки — седиментологии, которая,

в свою очередь, входит в состав литологии — науки о формировании осадочных пород. Поэтому весь комплекс методов литологических исследований может быть использован при оценке литодинамических потоков. Перспективы развития методов изучения и контроля литодинамических процессов связаны с использованием подводных станций — счетчиков интенсивности переноса обломочного материала, работающих в непрерывном режиме измерений.

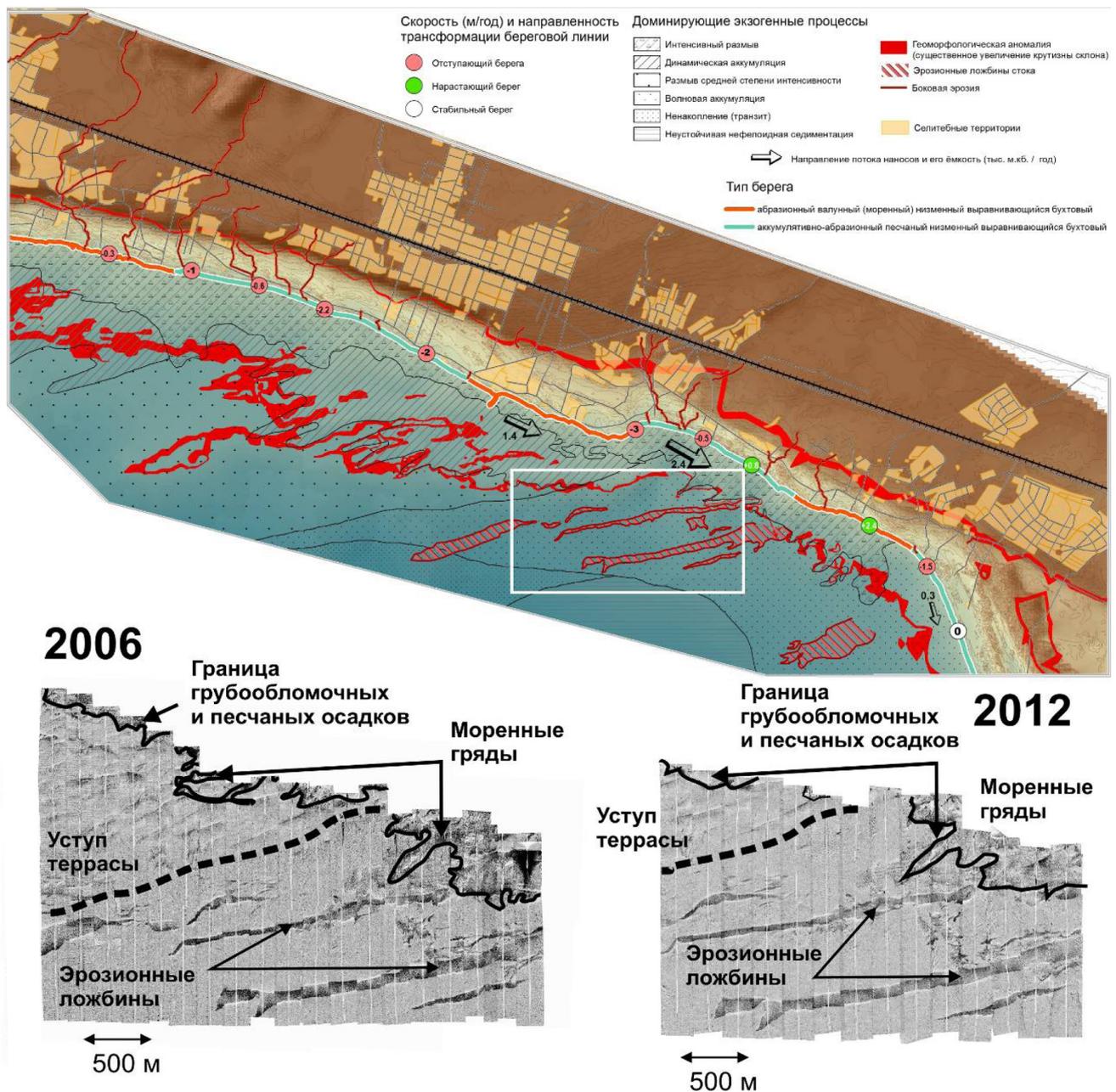


Рис. 8. Схема-мозаика ГЛБО для субаквальной части береговой зоны Курортного района с врезками на детальные участки работ по данным 2006 и 2012 гг. [2]

Fig. 8. Mosaic diagram of side-scan sonar survey for the subaqueous part of the coastal zone in the Kurortny District with insets on detailed work areas according to 2006 and 2012 data [2]

Список литературы

1. Гладыш В.А., Логвина Е.А., Нестеров А.В., Кубышкин Н.В. Оценка интенсивности литодинамических процессов в морском судоходном канале порта Сабетта. Инженерные изыскания. 2017;(4):36–44.
2. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2012 г. Санкт-Петербург: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ; 2013.
3. Кузнецова М.Н., Плинк Н.Л. Методические расчёты для предварительной оценки характеристик транспорта наносов. В: Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития. Труды II Всероссийской конференции. Санкт-Петербург: ХИМИЗДАТ; 2018, с. 377–380.
4. Лонгинов В.В. Динамика береговой зоны бесприливных морей. Москва: Изд-во Акад. наук СССР; 1963.
5. Лонгинов В.В. Очерки литодинамики океана. Москва: Наука; 1973.
6. Шепард Ф.П. Морская геология. Ленинград: Недра; 1969.
7. Невеский Е.Н. Основные перспективы и направления изучения осадочного покрова шельфа. В: Морфолитогенез и позднечетвертичная история прибрежно-шельфовых зон. Москва: Наука; 1978, с. 5–11.
8. Спиридонов М.А., Рябчук Д.В., Орвику К.К., Сухачева Л.Л., Нестерова Е.Н., Жамойда В.А. Изменение береговой зоны восточной части Финского залива под воздействием природных и антропогенных факторов. Региональная геология и металлогения. 2010;(41):107–118.
9. Рыбалко А.Е., Щербаков В.А., Иванова В.В., Рябчук Д.В., Сличенков В.И., Локтев А.С., Жамойда В.А., Сергеев А.С. Литодинамические процессы на шельфе как фактор формирования геологических опасностей для инженерных сооружений. ГеоЕвразия-2023. Геологоразведочные технологии: наука и бизнес. Труды VI Международной геолого-геофизической конференции, Москва, 27–29 марта 2023 года. Т. III. Тверь: Поли-ПРЕСС; 2023, с. 34–39.
10. СП 11-114-2004. Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений. Москва: Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве (ФГУП «ПНИИИС») Госстроя России, 2004.

Referens

1. Gladyshev V.A., Logvina E.A., Nesterov A.V., Kubyshkin N.V. Assessment of the intensity of lithodynamic processes in the sea shipping channel of the port Sabetta. Inzhenernye izyskaniya = Engineering survey. 2017;(4):36–44. (In Russ.).
2. Information bulletin on the state of the geological environment of the coastal-shelf zones of the Barents, White and Baltic seas in 2012. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory; 2013. (In Russ.).
3. Kuznetsova M.N., Plink N.L. Methodological calculations for preliminary assessment of the sediment transport characteristics. In: Hydrometeorology and Ecology: Achievements and Development Prospects. Proceedings of the II All-Russian Conference. St. Petersburg: Khimizdat; 2018, p. 377–380 (In Russ.).
4. Longinov V.V. Dynamics of the coastal zone of non-tidal seas. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1963. (In Russ.).
5. Longinov V.V. Essays on lithodynamics of the ocean. Moscow: Nauka Publ.; 1973. (In Russ.).
6. Shepard F.P. Marine Geology. Leningrad: Nedra Publ.; 1969. (In Russ.).
7. Nevesky E.N. Main prospects and directions for studying shelf sedimentary cover. In: Morpholithogenesis and late Quaternary history of coastal shelf zones. Moscow: Nauka Publ.; 1978, p. 5–11. (In Russ.).
8. Spiridonov M.A., Ryabchuk D.V., Orviku K.K., Sukhacheva L.L., Nesterova E.N., Zhamoida V.A. Changes in the coastal zone of the eastern part of the Gulf of Finland under the influence of natural and anthropogenic factors. Regional'naya geologiya i metallogeniya = Regional Geology and Metallogeny. 2010;(41):107–118. (In Russ.).

9. Rybalko A. E., Shcherbakov V.A., Ivanova V.V., Ryabchuk D.V., Slichenkov V.I., Loktev A.S., Zhamoida V.A., Sergeev A.S. Lithodynamic processes on the shelf as a formation factor geological hazards for engineering structures. In: GeoEurasia-2023. Geological exploration technologies: science and business. Proceedings of the VI International Geological and Geophysical Conference. Moscow, March 27–29, 2023. Vol. III. Tver: PolyPRESS Publ.; 2023, p. 34–39. (In Russ.).
10. SP 11-114-2004. Engineering surveys on the continental shelf for the construction of offshore oil and gas facilities. Moscow: Production and Research Institute for Engineering Surveys in Construction (FSUE «PNIIS») of the State Construction Committee of Russia; 2004. (In Russ.).

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 629.3.014.2.017

ББК 40.72

<https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-27-44>



Теоретическое обоснование 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, Шилин М.Б.⁵

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

✉ opavlov2002@mail.ru

Аннотация. Триботехнические составы на основе слоистых силикатов и, в частности, серпентина известны уже более тридцати лет. Их эффективность доказана успешным применением во многих отраслях промышленности, в сельском хозяйстве, на морских и речных судах, на железной дороге и горнодобывающем оборудовании, на легковом и грузовом автотранспорте, а также испытаниями во многих ведущих отраслевых научно-исследовательских институтах (НИИ) и вузах агропромышленного комплекса (АПК) России.

В статье изложены теоретические аспекты технологии применения геомодификаторов трения, относящейся к инновационным нанотехнологиям, позволяющим существенно улучшать эксплуатационные характеристики новой, а также изношенной дорогостоящей техники, в которой присутствуют узлы трения.

Использование предлагаемой технологии восстановления изношенных узлов техники в суровых климатических условиях Арктики представляется особенно целесообразным и экономически оправданным.

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., 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>

Theory behind an innovative non-disassembly repair technology for assemblies in marine, railway, and motor transport, as well as industrial equipment in the Arctic

Pavlov O.G.¹ ✉, Dunaev A.V.², Lavrov Yu.G.³, Tseyko A.P.⁴,
Shilin M.B.⁵

¹ “S-Wizard” LLC, Russian Federation of Cosmonautics, St. Petersburg, Russia

² Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

³ “SUPROTEC” LLC, St. Petersburg, Russia

⁴ “Newmen” LLC, St. Petersburg, Russia

⁵ Russian State Hydrometeorological University

✉ opavlov2002@mail.ru

Abstract. Tribological compositions on the basis of layered silicates and, specifically, serpentine have been known for over thirty years. Their effectiveness is confirmed by successful application in many industries, in agriculture, on sea and river vessels, on railroads, in mining equipment, on passenger and goods vehicles, as well as by tests conducted at many leading industrial research institutes and universities of the Russian agro-industrial complex. The article presents the theoretical aspects of the technology for applying friction geomodifiers related to innovative nanotechnologies, which enable a significant improvement in the operating characteristics of new, as well as worn-out, expensive equipment containing friction assemblies.

The use of the proposed technology for restoring worn-out equipment components under harsh climatic conditions of the Arctic seems particularly feasible and economically justified.

Keywords: friction geomodifiers, resource- and energy-saving tribological compositions, repair of units and mechanisms in normal operating mode, nanotechnology for friction surface restoration, serpentinite, wearlessness

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

For citation: 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. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-27-44>

Россия стремительно вошла в третье десятилетие двадцать первого века, четко обозначив свои приоритеты в освоении обширных северных территорий и укреплении границ своей Арктической зоны. Важнейшим направлением явилось ускорение развития Северного морского пути (СМП), так как геополитическая обстановка диктует существенное расширение возможностей одного из самых безопасных путей перемещения грузов между континентами и странами.

Указом Президента России № 645 от 20.10.2020 года была предложена программа углубленного изучения и дальнейшего освоения Арктических территорий. Неотъ-

емлемой частью Указа явился перечень стратегических мер, направленных на применение новых и новейших технологий, которые могут быть применены на транспортных и промышленных объектах, используемых при освоении Арктики.

К одной из таких технологий, разработанной в Санкт-Петербурге, следует отнести ресурсо- и энергосберегающую технологию обработки широкого спектра узлов трения триботехническими составами — в основном, геомодификаторами поверхностей трения, так как их основным действующим компонентом являются слоистые силикаты металлов. В них, в частности, используются

наиболее изученные, имеющие выраженный триботехнический эффект слоистые гидросиликаты магния, входящие в группу серпентиновых минералов (антигорит, лизардит, хризотил и другие).

На фоне усиления темпов освоения Арктики с ее суровым климатом многократно возрастает актуальность применения технологий, направленных на защиту от износа и на продление ресурса важнейших и дорогостоящих узлов техники и промышленных объектов, в которых применяются масла и смазки.

Очевидно, что практически вся техника, будь то морские суда, колесный и гусеничный транспорт, дизель-генераторы, военная техника, добывающие установки и другие технические устройства, активно используемые в Арктической зоне, эксплуатируются в постоянном экстремальном режиме.

Предлагаемая технология позволяет в условиях непрерывной, штатной эксплуатации объекта не только восстановить изношенные узлы, но и существенно продлить их ресурс. Это, в свою очередь, приводит к выраженному эффекту экономии денежных средств, расходуемых на ремонт и восстановление техники, а также позволяет экономить энерго- и топливоресурсы.

Особо следует отметить, что для применения технологии не требуются специально оборудованные помещения, дорогостоящие измерительные приборы, а также длительное затратное обучение персонала. Агрегаты и узлы обрабатываются в режиме их приработки при техническом сервисе, а далее — в режиме их штатной эксплуатации, что в условиях Севера даже более важно, чем получение экономического эффекта: не требуется строить специальные обогреваемые ангары, ремзоны, привлекать дополнительные человеческие ресурсы и т.д.

В упомянутом указе президента отдельным пунктом обозначен план по строительству флотилии, состоящей из мощнейших универсальных ледоколов проекта 22220 и проекта «Лидер», десятков аварийно- и буксирно-спасательных судов различной мощности, нескольких гидрографических и лоцмейстерских судов для Северного морского пути. Это означает, что планируется значительное увеличение количества круп-

ных объектов, узлы и механизмы которых неизбежно придется ремонтировать и осуществлять профилактическое обслуживание. Особое внимание уделяется «сердцу» любого современного судна — двигателю. Без уверенности в его надежности рискованно выйти далеко в море или Северный Ледовитый океан.

В Арктической зоне условия эксплуатации любого судна или оборудования, содержащего узлы трения, повышают требования к двигателям, редукторам, генераторам, подшипникам и т.д. Важнейшие из этих требований — надежность и выносливость основных узлов и механизмов, определяющие жизнестойкость всего судна.

Самым главным препятствием на пути к выносливости судовых дизелей, других важнейших агрегатов и узлов является трение [1]. В двигателях трение особенно разрушительно. Основным противодействием в борьбе с трением являются различные масла и смазки, а также добавки к ним. Конструкторское «оружие противодействия» — точность расчетов геометрии деталей и цикла Карно (цикла сгорания топлива в камерах), которые, казалось бы, достигли своего совершенства. Тем не менее в экстремальных условиях эксплуатации оборудования выход из строя двигателей и других узлов морских судов — не такое уж редкое явление. При этом ремонт двигателя может обойтись дороже стоимости самого двигателя!

Главными «борцами» за снижение потерь на преодоление сил трения стали масла и смазки — нефтепродукты, под которые усилиями ученых всего мира была подведена гидродинамическая теория смазки (трения) [1]. Однако далеко не все масла и смазки имеют состав, позволяющий эффективно бороться с изнашиванием, задирами и другими последствиями трения сопрягаемых поверхностей друг о друга. Появились сотни новых присадок и добавок к маслам и смазкам.

В настоящее время широко применяемые присадки достигли высокого качества: многие владельцы различного транспорта получили возможность менять масло с присадками после 100 тыс. км пробега (примерно 2000 мото-часов работы стационарного дизельного агрегата). Имеются примеры пробегов и в миллион миль. По результатам ряда

испытаний моторных масел различной вязкости класса качества SJ/SL они могут снижать коэффициент трения до 0,025 в должном диапазоне нагрузок [1, 2].

На этом основании крупные фирмы — производители масел подвергают сомнению все инновационные предложения по совершенствованию моторных масел путем добавления в них новых присадок и добавок. Тем не менее уже много лет используются специальные масла с необычными добавками для экстремальных режимов эксплуатации различных двигателей, включая и судовые.

Развал экономики России в 90-х годах XX столетия, катастрофическое старение машин и оборудования дали толчок применению естественных минеральных ремонтно-восстановительных трибопрепаратов на основе высокодисперсных порошков слоистых минералов группы серпентина (в настоящее время — 27 различных видов). Российские инженеры, решающие задачи продления ресурса и восстановления узлов трения различной техники, многие годы называли их ремонтно-восстановительными составами. Сегодня их называют триботехническими составами (ТС), или геомодификаторами поверхностей трения (ГМТ). Далее по тексту они будут обозначаться «ремонтно-восстановительные составы», ТС или ГМТ.

Известные в настоящее время ремонтно-восстановительные составы по физико-химическому составу, механизму их воздействия на трущиеся поверхности, свойствам получаемых покрытий можно условно разделить на три основные группы:

- металлоплакирующие соединения;
- полимерсодержащие добавки;
- геомодификаторы поверхностей трения.

Составы, включающие противоизносные присадки, добавки в масла и смазки, различаются по физическому состоянию и способам применения. В большинстве случаев присадки вводят непосредственно в товарные моторные и трансмиссионные масла, топливо или добавляют в пластичные смазки в определенной концентрации. Некоторые из них подают через впускной трубопровод в виде аэрозолей и добавок к топливно-воздушным смесям. Ряд препаратов подается прямо в зону трения, например в цилиндропоршневую группу (ЦПГ) [1, 2].

Какое-то время осуществлялись попытки применения фуллеренов в качестве противоизносных добавок, но от них быстро отказались, так как производство фуллеренов очень затратное, они крайне неустойчивы к высоким температурам и давлению, которые присутствуют в подавляющем большинстве узлов трения.

Среди триботехнических составов эффективными в условиях больших нагрузок оказались ГМТ, состоящие, например, из смесей порошков минералов группы серпентина и хлорита. В производстве составов для технологии безразборного ремонта различные производители чаще всего используют основные разновидности минералов группы серпентина: антигорит, хризотил, лизардит конфигурации 1Т и другие. Они описываются общей формулой $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$, но идентифицируются с помощью рентгенофазового анализа различно, и библиотека спектров ICDD включает до 12 их разновидностей. Так, например, формула лизардита прописывается как $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ или как $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Последний вариант наглядно показывает, что лизардит, как и все серпентины, относится к группе гидросиликатов металлов.

Триботехнические составы на основе лизардита и других серпентинов исследовали десятки отраслевых НИИ, вузов, в т.ч. в АПК (ЧГАУ, МСХА, МГАУ, Саратовский и Воронежский государственные аграрные университеты, Ивановская государственная сельскохозяйственная академия, Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства и др.), Санкт-Петербургские Институт проблем машиноведения Российской академии наук, Центральный научно-исследовательский институт материалов, Центральный научно-исследовательский дизельный институт и другие [3–6].

Имеются сотни актов и заключений, подтверждающих эффективность применения ГМТ на различных промышленных стационарных объектах, на судах, на дизелях локомотивов, на грузовых и легковых автомобилях, карьерной и сельскохозяйственной технике, на паре «рельс — колесо». К 2020 г. в РФ с помощью ГМТ на основе ультратонкоизмельченных минералов серпентина обработано более десяти миллионов агрегатов, но в основном это двигатели (ДВС)

легковых автомобилей. В Японии безразборный ремонт с применением ГМТ проводят около 30 автотехцентров. Несколько центров успешно функционируют в Финляндии, Чехии, а в Китае на государственном уровне действует программа применения ГМТ на железнодорожном транспорте. Трибосоставы на основе слоистых гидросиликатов, кроме 20–30 российских фирм, производят в Японии, Финляндии, Германии, Швеции, США.

История исследований

Активная фаза разработок технологий, направленных на борьбу с износом узлов и механизмов в процессе трения, началась в 1956 году с открытия Д.Н. Гаркуновым и И.В. Крагельским «эффекта безызносности». В открытии было сделано предположение о возможности значительного улучшения фрикционно-износных характеристик отдельных пар трения при граничной смазке [7].

Исследования производились на шасси штурмовика Ил-28, которое с течением времени изнашивалось, подшипники истирались, и их приходилось заменять. Д.Н. Гаркунов, изучив изношенные детали, обнаружил, что при трении в кислой спирто-глицериновой среде с медных поверхностей отделяются ионы меди, и мягкая медь образует на твердой стальной поверхности защитную пленку, которая препятствует дальнейшему износу сопряжения. Авторы открытия предположили, что процесс, названный избирательным переносом, основан на самоорганизации: защитная пленка на стали штока возникает только там, где его поверхность испытывает наибольшие нагрузки, то есть система из трущихся поверхностей и спиртоглицериновой смеси между ними как бы приспосабливается к условиям трения [7].

Б.И. Костецкий и его ученики в 1976 году в книге «Поверхностная прочность материалов при трении» [8] обобщили работы по изучению процессов трения и поверхностного разрушения, а также работы по вопросам образования вторичных структур при трении в условиях граничной смазки.

В 1984 г. было опубликовано открытие «Эффект низкого трения гидратов по стали» (Маринич Т.Л., Ревнивцев В.И., Гаркунов Д.Н.) [9]. Суть эффекта заключается в том, что серпенти-

тины под действием контактного давления соприкасающихся поверхностей внедряются в эти поверхности и инициируют процессы как бы саморегуляции трения, снижая силу трения в несколько раз. Отмечалась высокая стойкость против заедания и схватывания, способность к непрерывной модификации поверхностей. Так было объяснено явление увеличенного срока службы (до 6 раз) бурового инструмента при прохождении содержащих серпентиниты участков сверхглубокой скважины на Кольском полуострове. Авторы открытия получили за него несколько медалей и дипломов ВДНХ [9].

В 1988 г. член-корреспондентом РАН В.И. Ревнивцевым на базе Кировского завода была организована Академия технического творчества, выпускники которой основали НПО «Руспромремонт» и еще целый ряд фирм, заложив научно-технологическую базу использования геомодификаторов поверхностей трения на основе серпентинитов. Одной из первых в использование ГМТ включился бывший Союз инженеров СССР, а именно «Энион-Балтика».

Логическим завершением первого этапа исследований серпентиновых ГМТ явилось открытие, зарегистрированное Российской академией естественных наук под номером 323, «Свойство высокоэнергосплотных минеральных веществ изменять параметры триботехнических систем» [10]. Авторами открытия являются Т.Л. Маринич, В.В. Зуев, Ю.Г. Лавров и еще пятеро соавторов. Приоритет открытия — 16.11.1995 г. — по дате подписания к печати книги «Энергосплотность, свойства минералов и энергетическое строение Земли» (Санкт-Петербург. «Наука», 1995 г.) [11].

Авторами было экспериментально установлено неизвестное ранее свойство высокоэнергосплотных минеральных веществ изменять параметры триботехнических систем (пар трения), заключающееся в том, что при нанесении высокоэнергосплотных минеральных веществ (серпентинов, кварца, магнетита, бадделеита и др.) на поверхности контакта двух деталей триботехнических систем происходит формирование вторичных трибоструктур, приводящих к изменению параметров триботехнических систем, в частности, снижению трения, уменьшению водородного износа, упрочнению поверхностей в узлах трения.

В.В. Зуев, один из авторов открытия, ввел понятие «энергочетность минералов» и подробно обосновал, что этот параметр во многом определяет способность минералов формировать особо прочные структуры с другими веществами [12]. По данным В.В. Зуева и Т.Л. Маринич [11, 12], взаимодействие атомов кремния (Si) и магния (Mg), содержащихся в молекулах серпентинита, с металлом (Fe) подложки происходит на атомарном уровне. Именно такая структура, по их мнению, позволяет создать очень прочный защитный слой с уникальными свойствами. Этот слой тогда назвали металлокерамическим защитным слоем, но позже детальными исследованиями, проведенными в КНР и в России, было показано образование слоистыми гидросиликатами магния углеродных алмазоподобных трибопокрытий.

После открытия № 323 и получения десятков патентов начались попытки широкомасштабного применения ГМТ не только в России, но и за рубежом. Относительная простота и легкость обработки агрегатов и узлов трения еще больше ускорила темпы внедрения трибосоставов на основе серпентинов.

В начале третьего тысячелетия совместно китайскими и французскими учеными были проведены фундаментальные исследования механизмов формирования защитных структур на поверхностях трения при использовании ГМТ на основе серпентина [11]. В качестве материала для обработки был взят тонкодисперсный порошок серпентинита лизардитовой 1Т конфигурации, составлявшего основу АРТ-составов, разработанных ООО «Неосфера» (Санкт-Петербург), но произведенных уже в Китае.

Затем, учитывая научную важность и высокую практическую значимость полученных результатов, китайские ученые расширили исследование с применением нескольких видов рентгеновской, тоннельной, оже-спектроскопии (ЭОС), а также современных методов избирательной зонной дифракции, атомной эмиссионной спектроскопии (AES), конфокальной Raman-спектроскопии и т.д. [13].

ЭОС — электронная оже-спектроскопия. Раздел спектроскопии, изучающий энергетические спектры оже-электронов, которые возникают при облучении исследуемого

вещества электронным пучком. ЭОС широко используется для определения элементного состава поверхности твердых тел, для изучения электронного строения и химического состояния атомов в пробе.

AES — совокупность методов элементного анализа, основанных на изучении спектров испускания свободных атомов и ионов в газовой фазе.

Конфокальная рамановская (Raman) спектроскопия — метод спектроскопии, основанный на неупругом рассеянии фотонов, известном как комбинационное рассеяние. Обычно используется в химии для получения структурных «отпечатков пальцев», по которым можно идентифицировать молекулы. Метод назван в честь индийского физика Ч.В. Рамана.

В 2004 году в Китае вышла книга «ART-Technology», в основу которой легли результаты именно этих двух исследований [14].

На результатах этих исследований стоит остановиться подробно, так как именно после их опубликования в сборнике научных статей под общим названием «Superlubricity» («Сверхсмазывающая способность») [15] защитный слой, формирующийся при добавлении серпентина в зону трения двух тел, стали рассматривать не как металлокерамический, а как слой, относящийся к группе DLC (Diamond Like Coating), что переводится с английского как «алмазоподобное покрытие».

DLC-покрытия состоят из атомов углерода, как с алмазными, так и с графитоподобными связями. Такие аморфные покрытия можно получать в широкой области температур, вплоть до комнатной, на различных материалах: металлах, керамике, стекле, пластических материалах.

Высокое содержание атомов углерода с алмазными связями в присутствии графитоподобных связей приводит к появлению уникальных характеристик алмазоподобных покрытий, таких как:

- высокая твердость;
- низкий коэффициент трения;
- высокая износостойчивость;
- химическая инертность;
- биосовместимость;
- прозрачность в широком диапазоне спектра;
- экологическая чистота.

DLC-структуры обладают особой прочностью и одновременно эластичностью, а также устойчивостью к воздействию нагрузок и различных коррозионных факторов [16]. Подход к исследованиям такой глубины, с которой они были проведены китайскими и французскими трибологами, в России провести не представляется возможным даже в настоящее время: высокая стоимость, а также отсутствие перечисленного оборудования или его аналогов в пределах нескольких институтов будут непреодолимым препятствием.

Перед лабораторными исследованиями были проведены полевые испытания совместно с Пекинским тепловозным депо на двух локомотивах DF11-типа, приводимых в движение дизельным двигателем модели 16V280Z. Двигатели локомотивов DF11-0063 и DF11-0163 были обработаны пакетом механохимического восстановителя «ART», который был смешан с картерным маслом (китайской классификации ТВ/Т-2933-1998). После длительной эксплуатации (300 000 км пробега) двигатели были разобраны. На всех исследуемых поверхностях трения были обнаружены прозрачные новообразования, похожие на стеклянное покрытие. Они и были исследованы.

Было показано, что в сформированном (новом) слое не содержится ни магния, ни кремния, которые присутствуют в молекуле серпентинита — $Mg_6(Si_4O_{10})[OH]_8$. В то же время было показано, что защитный слой, образованный на поверхностях гильзы и колец дизельного двигателя тепловоза, включает Fe, C и O, а основной фазой (матрицей) является карбид железа Fe_3C , с включениями C, CO, CO_2 , FeOOH (рис. 1).

Далее в результатах исследования отмечается, что основными компонентами, из которых состоит изучаемый слой, являются металл поверхностей трущихся деталей, углерод из «третьего тела» — смазки, и вещества из рекондиционера (АРТ-состава, состоящего из серпентина лизардитовой конфигурации), и делается предположение, что основным источником железа (Fe) в защитной структуре является железо из поверхности трения и продуктов износа, находящихся в смазке, источником углерода (C) — третье тело, которым являются масла и смазки. Их общая формула — C_xH_y . Источников кислорода (O) несколько: из серпентинита, продуктов распада масла, окружающей среды.

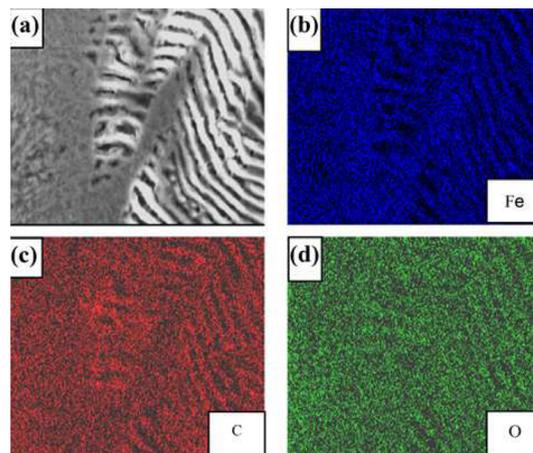


Рис. 1. SEM фото (a) и EDX многоэлементное картирование (b, c и d) защитного слоя (увеличение 10 000к), сформированного после обработки ДВС тепловоза серпентинитовым ГМТ, произведенным по АРТ-технологии [12]. SEM — сканирующий электронный микроскоп (модель CSM-950). EDX-многоэлементное картирование — спектрофотометрическое исследование химического состава с помощью энергодисперсного рентгено-флуоресцентного спектрометра EDX [14].

Fig. 1. SEM image (a) and multi-element EDX mapping (b, c, and d) of the protective layer (magnification of 10000k) formed following the treatment of a diesel locomotive ICE with a serpentine friction geomodifier produced according to the APT technology [12]. SEM — scanning electron microscope (CSM-950 model). Multi-element EDX mapping — spectrophotometric study of the chemical composition using an energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometer [14].

Присутствие в защитном покрытии кремния (Si), магния (Mg) и алюминия (Al), находящихся в исходном ГМТ, пока четко не выявлено. Но несколькими независимыми исследованиями отмечено, что в ГМТ-покрытии содержание этих элементов имеется, но не превышает значений стандартных примесей металлов, используемых в узлах трения [5, 16–19].

Подтверждением результатов исследований в Китае были результаты, полученные при исследовании серпентиновых ГМТ, проведенном по заказу ООО «Неосфера» в Санкт-Петербургском институте материаловедения (ФГУП ЦНИИМ) совместно с ФГУП «ВНИИ метрологии» им. Д.И. Менделеева [3]. Нарботка защитного слоя пары трения «ролик — колодочка» проводилась на машине трения (рис. 2, 3). Третьим телом служило масло с добавлением в него АРТ-состава, в котором основным компонентом был лизардит конфигурации 1Т.

На фото слева (рис. 3) фотоскрин показывает, что углерода в поверхностных слоях 29 %, в то время как в самой молекуле

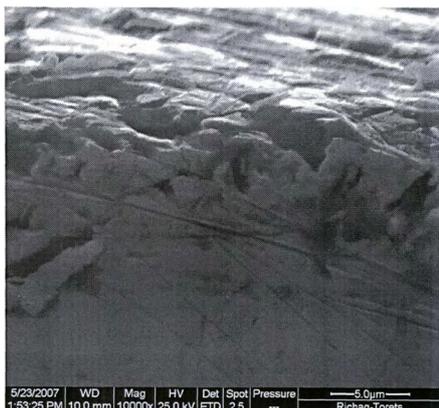


Рис. 2. Фотография фрагмента защитного слоя, образованного после обработки ролика машины трения составом «АРТ» производства ООО «Неосфера» [3]

Fig. 2. Photograph of the protective layer formed following the treatment of the tribometer roller with an APT composition (Neosphere, LLC)

серпентинита исходного сырья (в минерале серпентине лизардитовой 1Т-конфигурации) его ничтожно мало.

На фото справа (рис. 3) на фотоскрине видно, что углерода во внутренних слоях защитной структуры практически нет, а содержание железа — более 85 %.

И, наоборот, на рисунке 4 показано, что внешние слои могут содержать очень большое количество углерода — до 65 %.

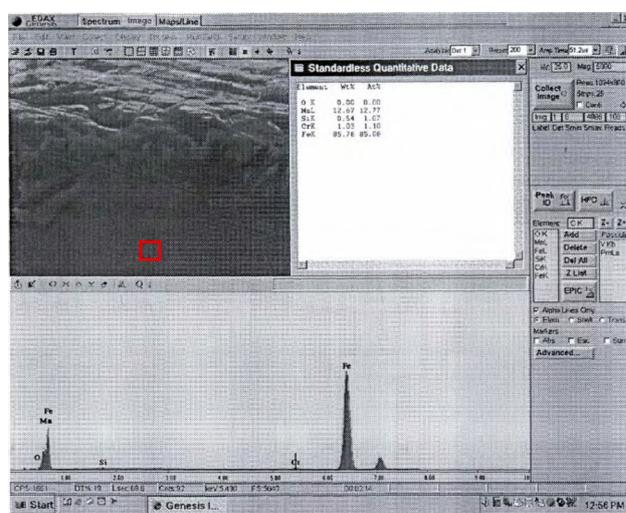
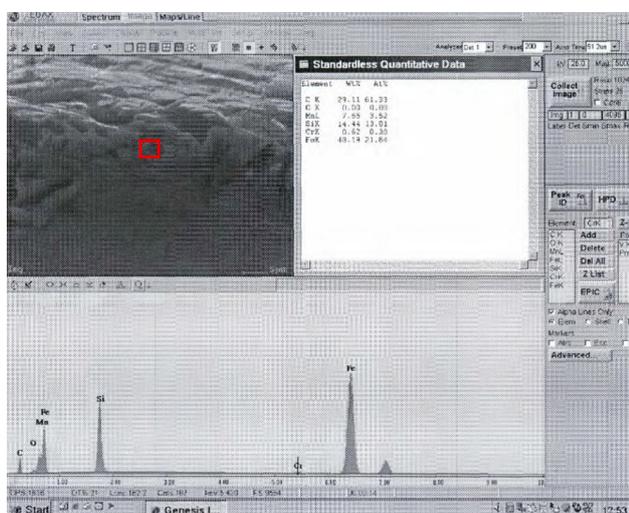


Рис. 3. Фотографии двух фрагментов защитного слоя, образованного после обработки ролика машины трения составом «А.Р.Т.» и фотоскрин результатов атомно-эмиссионных спектрометрических исследований химического состава слоя в точках, взятых для анализа (на фото слева и справа отмечены прямоугольником). Фото слева — внешние области защитного слоя, фото справа — область защитного слоя, граничащая с металлической подложкой ролика [3]

Fig. 3. Photograph showing two fragments of the protective layer formed following the treatment of the tribometer roller with the APT composition and a screenshot of results obtained in the atomic-emission spectrometry studies into the chemical composition of the layer at the points selected for analysis (marked with a rectangle on the left and right photos). Left photo — outer regions of the protective layer; right photo — area of the protective layer bordering the metal substrate of the roller [3]

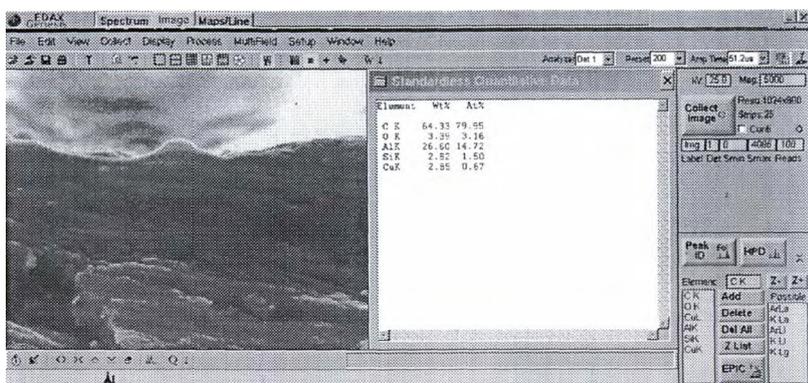


Рис. 4. Фотография внешних слоев защитной структуры, образованной после обработки ролика машины трения составом «АРТ», и фотоскрин результатов атомно-эмиссионных спектрометрических исследований химического состава защитного слоя в точке, взятой для анализа. На фотоскрине отмечено содержание углерода — 64,33 % [3]

Fig. 4. Photograph showing the outer layers of the protective structure formed following the treatment of the tribometer roller with the APT composition and a screenshot of results obtained in the atomic emission spectrometry studies into the chemical composition of the protective layer at the point selected for analysis. A carbon content of 64.33% is reported in the screenshot [3]

Зона начала
образования
МКЗС Основной
слой МКЗС Поверхность
МКЗС

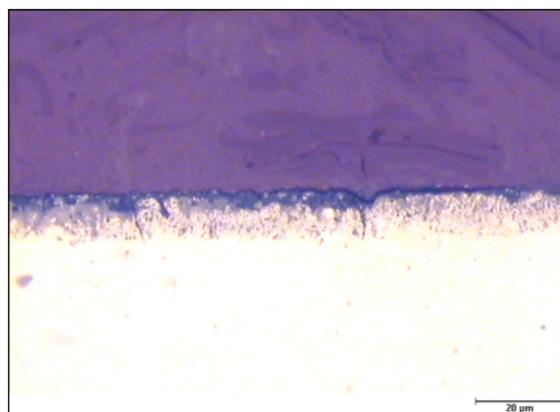
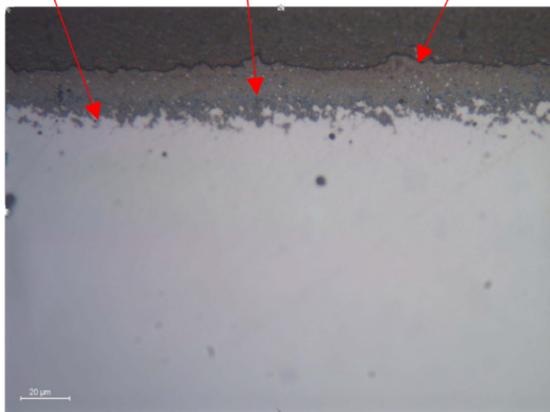


Рис. 5. Металлокерамический защитный слой (МКЗС) на стальной поверхности ролика, обработанного геомодификатором трения «РВС». Снимки выполнены в лаборатории «Семіс», Государственный геологический университет, Хельсинки, Финляндия [17]

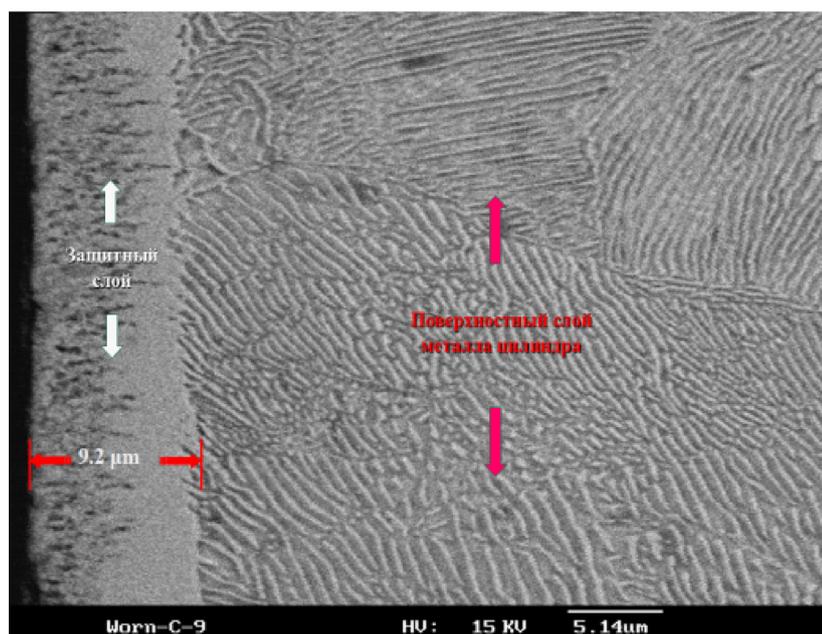
Fig. 5. Metal-ceramic protective layer on the steel surface of a roller treated with an RVS friction geomodifier. Images were taken at the Cemic Laboratory of the State Geological University, Helsinki, Finland [17]

Таким образом, результаты исследования, проведенного в ЦНИИМ, демонстрируют неоднородность химического состава защитного слоя, сформированного в результате добавления тонкодисперсного серпентина в зону трения двух металлических поверхностей. Подтверждением неоднородности защитной структуры (трибопокрытия) послужили результаты испытаний ГМТ-составов производства НПО «Руспромремонт». Исследования были проведены в Финляндии в лаборатории «Семіс» Государственного геологического университета в Хельсинки.

На рисунке 5 показано ГМТ-трибопокрытие на стальной поверхности ролика, обработанного геомодификатором трения «РВС» («Ремонтно-восстановительный состав») [17].

На фото справа (рис. 5) защитный слой показан в более контрастном варианте, чтобы наглядно продемонстрировать его внешнюю и внутреннюю границы.

В китайско-французском исследовании удалось показать защитный слой более наглядно (рис. 6) [14].



На особо контрастном фото отчетливо видны границы слоя (на фото слой — слева), толщина которого составила от 8 до 12 мкм.

Рис. 6. BSE-фотография защитного слоя, сформированного на гильзе одного из цилиндров после обработки ДВС тепловоза серпентинитовым ГМТ, произведенным по АРТ-технологии (Государственная ключевая лаборатория трибологии, Университет Циньхуа, Китай) [14]

Fig. 6. BSE photo of the protective layer formed on the barrel of one of the cylinders following the treatment of the diesel locomotive ICE with a serpentine friction geomodifier produced according to the APT technology. (State Key Laboratory of Tribology, Tsinghua University, Beijing, China) [14]

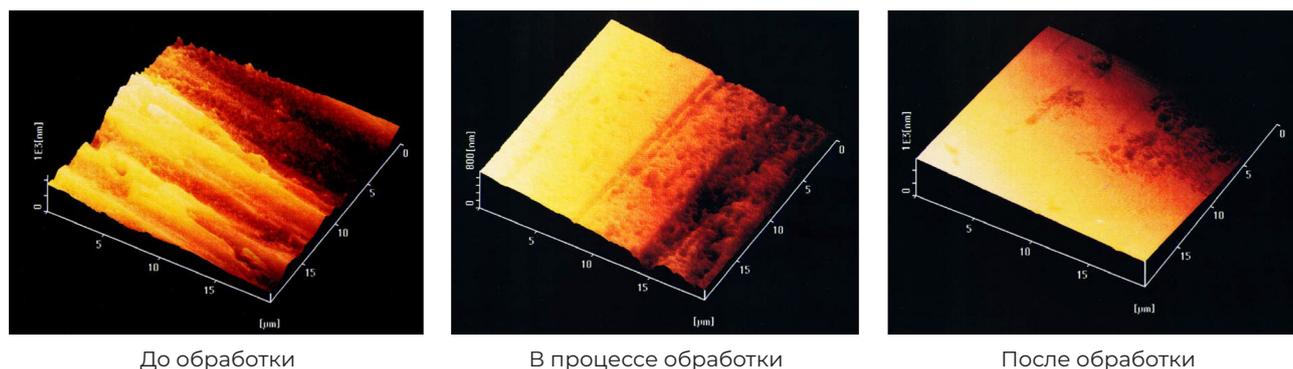


Рис. 7. Изменение (выравнивание) геометрии поверхности трения в процессе приработки состава «РВС» на разных стадиях образования металлокерамического слоя (использованы материалы из презентации «РВС-технология», подготовленной НПО «Руспромремонт») [17]

Fig. 7. Change (alignment) in friction surface geometry in the process of RVS composition break-in at different stages of metal-ceramic layer formation (materials from the RVS-Technology presentation prepared by Ruspromremont) [17]

Прилегание слоя настолько плотное, что без контрастного режима сканирования среза детали покрытия трудно было бы отличить от подложки.

Подтверждение процессов преобразования поверхностей трения под воздействием серпентинитовых ГМТ получили японские ученые из Токийского государственного университета Васэда при исследовании пары трения-скольжения «вал — вкладыш». Полученные результаты наглядно показывают (рис. 7), какие изменения происходят на поверхностях в процессе приработки состава ГМТ на разных стадиях образования металлокерамического слоя [17].

Следует отметить, что, несмотря на полученные результаты в лаборатории «Сетис», по которым содержание углерода было аномально высоким по сравнению с ожидаемым, в НПО «Руспромремонт» продолжали называть это покрытие металлокерамическим.

Получив различными методами подтверждение высокого содержания углерода в образовавшемся ГМТ-покрытии, китайские и французские ученые сфотографировали и металл-карбидную (Fe_3C) матрицу слоя, и аморфную структуру нанодiamondных частиц, встроенных в эту матрицу [14–16] (рис. 8).

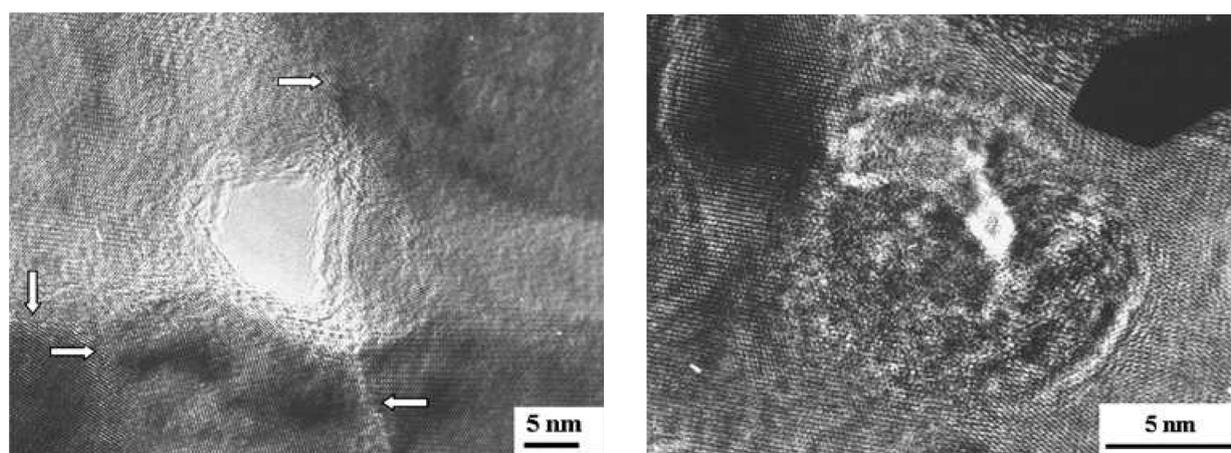


Рис. 8. Изображение границы алмазоподобного зерна нанокристаллической металлокерамической матрицы (фото слева) и его аморфной структуры (фото справа). Получено с помощью HRTEM-микроскопии при исследовании защитного покрытия, сформированного после обработки дизеля тепловоза с помощью ГМТ, произведенного по АРТ-технологии [14]

Fig. 8. Image of a diamond-like grain boundary in a nanocrystalline metal-carbide matrix (left photo) and its amorphous structure (right photo). It was obtained via HRTEM microscopy in the study of the protective coating formed following the treatment of the diesel locomotive engine with a friction geomodifier produced according to the ART-technology) [14]

HRTEM — просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения

Данные о химическом и фазовом строении, полученные с помощью конфокального Раман-спектрометра модели RM2000, позволяют сделать заключение, что аморфные фазы защитного слоя можно отнести к DLC-структурам (рис. 9).

Применив комплексный подход, китайские исследователи [14, 15] определили не только химические, но и физические параметры защитного слоя, полученного в результате обработки тонкодисперсным серпентинитом узлов трения дизелей двух локомотивов (рис. 10, 11).

Шероховатость поверхности Ra оценивалась профилометром Talysurf и составила 0,0694 μ m, что соответствует параметрам ультрагладких поверхностей. Такие характеристики шероховатости достигаются только ультрасупершлифованием, суперполировкой и зеркальным фрезерованием, если стоит задача достичь 14-го класса чистоты поверхности — максимально возможного класса чистоты по ГОСТ 2789-73.

Из данных, представленных на рисунке 11, видно, что твердость (по шкале Викерса) сформированного защитного слоя в два раза выше твердости металла подложки, на которой этот слой сформировался. Такая твердость покрытия, сформированного на поверхности кольца и гильзы дизеля теплового двигателя, прошедшего 300 000 км после обработки АРТ-составом, равна твердости «самой твердой керамики» при высокой эластичности.

Рис. 11. Сравнение результатов контроля микротвердости поверхности гильзы до и после GMT-обработки (546 и 1145 HV) [14, 15]

Fig. 11. Compared results of monitoring barrel surface microhardness prior to and following treatment with a friction geomodifier (546 and 1145 HV) [14, 15]

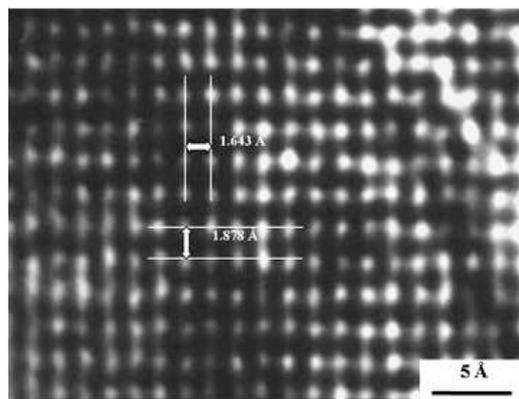


Рис. 9. Изображение (в масштабе нанoshкалы) нанокристаллической металлокарбидной (Fe_3C) матрицы, показывающее размеры и упорядоченность (сетчатость) кристаллических ячеек. Получено с помощью HRTEM-микроскопии при исследовании защитного покрытия [14]

Fig. 9. Nanoscale image of a nanocrystalline metal-carbide (Fe_3C) matrix showing the size and ordered arrangement (lattice) of cells (obtained via HRTEM microscopy in the study of the protective coating) [14]

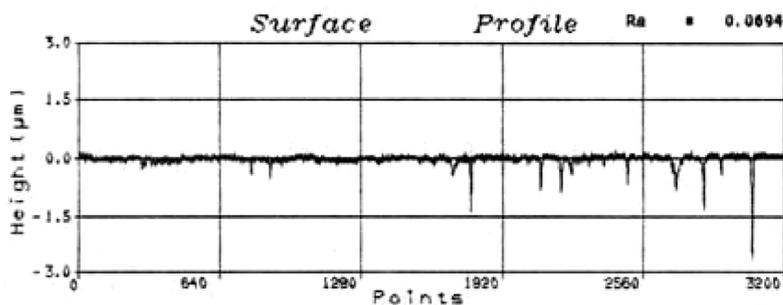
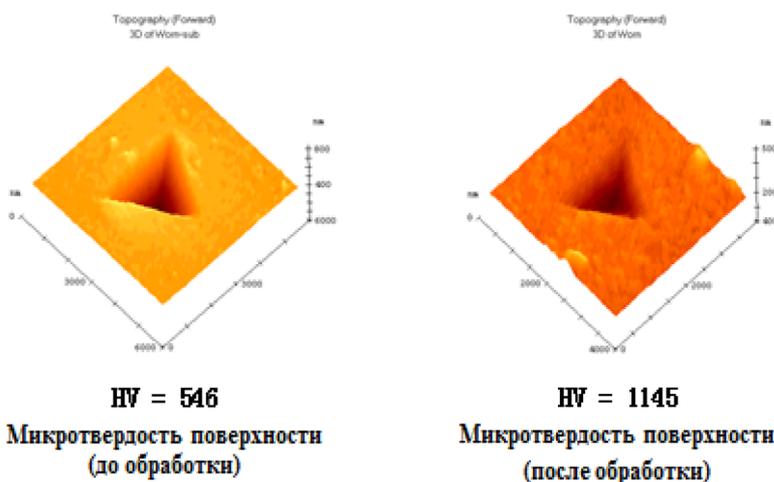


Рис. 10. Профилограмма поверхности гильзы цилиндра тепловозного дизеля после GMT-обработки [14, 15]

Fig. 10. Surface profilogram for the cylinder barrel of the diesel locomotive engine following treatment with a friction geomodifier [14, 15]

Результаты определения микротвердости (HV) поверхности цилиндра теплового двигателя до и после обработки GMT



После публикации проведенного в Китае комплексного исследования физико-химической структуры защитного покрытия в России началась следующая активная фаза исследований и испытаний серпентиновых ГМТ на различных узлах трения [3, 4, 13, 14, 18–24].

В январе 2009 года в Москве в конференц-центре «ИнфоПространство» состоялся круглый стол на тему «Трибология в России: текущие проблемы и перспективы развития». В заключительном докладе О.Г. Павлов, в то время руководивший ООО «Неосфера», предложил больше не называть защитные структуры, инициируемые тонкодисперсными порошками серпентинов, металлокерамическими. В докладе было показано, что оснований называть такие покрытия металлокерамическими гораздо меньше, чем доказательств их принадлежности к алмазоподобным покрытиям (DLC).

Некоторое время даже пионеры использования ГМТ на основе серпентина не могли принять версию алмазоподобной природы защитного слоя, так как не могли объяснить, откуда в защитном слое появилось так много углерода. Но к середине первого десятилетия накопилось достаточно материала, объясняющего причины образования DLC-покрытия.

И такой возможной причиной является трибоплазма. В процессе трения двух твердых тел даже в случае гидродинамического скольжения в присутствии смазки возникают множественные точечные контакты, где локальная температура может быть более 2000 °С. При таких температурах любые вещества распадаются на составные части и на атомы с эмиссией электронов [25, 26].

Таким образом, в зонах микроконтакта формируется неустойчивое высокотемпературное состояние веществ, называемое плазмой.

На рисунке 12 схематично показаны события, происходящие в зоне контакта в момент удара двух твердых поверхностей.

Рисунок взят из статьи «Магма в ступке» [25], в которой авторы подробно описали эффект активного перемещения углерода из воздуха во время измельчения одной из разновидностей серпентина. После измельчения

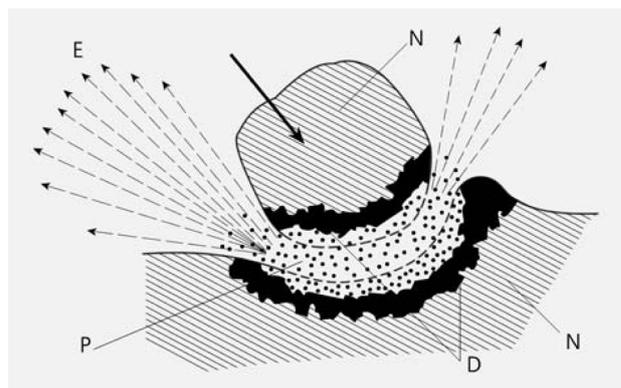


Рис. 12. Несколько состояний вещества, возникающих при ударе (например, при измельчении в шаровой мельнице), согласно модели «магма — плазма». Области состояний: экзоэмиссия (E), нормальная структура (N), «плазма» (P), нарушенная структура (D). Направление удара показано стрелкой [25]

Fig. 12. Several states of matter resulting from an impact (e.g., grinding in a ball mill) according to the magma-plasma model: exoemission (E), normal structure (N), plasma (P), and disordered structure (D). Impact direction is indicated by the arrow [25]

авторы обнаружили высокое содержание углерода в тонкодисперсных зернах измельченного серпентина.

Таким образом, косвенно было подтверждено высокое сродство молекул серпентинов к углероду, которое активно проявляется при высоких температурах и высоком давлении. Такая ситуация как раз и наблюдается в зонах точечного контакта в узлах трения.

К этому следует добавить, что именно высокая энергоплотность (по В.В. Зуеву, удельная объемная энергия атомизации) серпентинов, как и других слоистых силикатов, и особенности пространственной структуры их кристаллической решетки «выделили» этот камень как «трибоминерал» [11]. Чем выше энергоплотность вещества, тем более устойчивую структуру это вещество может создать с другими веществами [10, 11].

Серпентин — основное вещество минерала серпентинита, — является главным действующим агентом при попадании в зону трения двух тел, усиливая и ускоряя процессы формирования трибоплазмы.

Такие процессы изучает молодая наука механохимия. И, так как она молодая, в ней нет строгой единой теории, объясняющей и обобщающей сложные и многообразные физико-химические явления, вызываемые действием механических сил на вещество.

Можно привести пример: высекание искр при ударе друг о друга двух кусков кварца известно человеку с доисторических времен. Древние люди научились использовать его для добывания огня. Обыкновенный механический удар. Казалось бы, примитивное действие. На самом деле оно вызывает сложную комбинацию деформационно-структурных, термических, электромагнитных, оптических и химических процессов. Они включают возникновение и миграцию дефектов структуры твердого вещества, его аморфизацию и быстрый локальный разогрев в месте удара. Одновременно рвутся химические связи при образовании свежей поверхности и появляются на ней короткоживущие активные центры. Добавим для полноты картины эмиссию электронов, фотонов, ионов и возникновение электростатического заряда. Такое простое по исполнению и одновременно «внутренне богатое» действие, как удар кремня о кремень, когда-то озарило сознание древнего человека и сыграло свою роль в искусственном получении огня.

При отсутствии теории в механохимии используются аналогии и модели, заимствованные из других областей науки. И понятие «магма» здесь — не исключение. По представлениям немецкого физико-химика П.А. Тиссена (P.A. Thiessen) и его последователей, удар зерен друг о друга при измельчении приводит к концентрации энергии в микроскопической поверхностной зоне [26, 27]. В результате на очень короткие промежутки времени образуется тонкий слой расплава и даже вещество в высокоэнергетическом состоянии, аналогичное плазме или магме. Такое состояние было названо трибоплазмой (от греч. «трибо» — трение).

В отчете ЦНИИМ было отмечено, что при нагревании серпентинит разлагается на «более простые» вещества, при этом отмечался экзотермический эффект, свидетельствующий об образовании новой кристаллической фазы (предположительно, форстерита) с точкой экстремума при 779 °С. Потеря гидроксильной группы сопровождалась поэтапной кристаллизацией со значительным тепловыделением [3].

В связи с этим следует отметить, что твердость серпентинитов по шкале Мооса находится в диапазоне 2,5–3,0; а веществ типа форстерита — в диапазоне 7,0–7,4. Это важ-

но для понимания многофазного воздействия частиц серпентинита на поверхности трения в зоне их контакта друг с другом.

В подробно описываемом исследовании, проведенном китайскими и французскими учеными [14], говорится о том, что в процессе трения между пиками может формироваться температура, при которой вещества поверхности, из которых состоят пары трения, и вещества среды (содержащиеся, например, в моторном масле) превращаются в трибоплазму. Отмечается, что в состоянии трибоплазмы неорганические и органические вещества смазки входят (внедряются) в состав трибопокрытия.

Исследователи предложили выделить новое направление трибологии — углеродную трибологию, т.к. все яснее становится понимание уникальных свойств DLC-структур, которые образуются на поверхностях трения при наличии третьего тела (масла, смазки), содержащего углерод. В заключение авторы исследования отмечают, что свойство «сверхсмазки» можно объяснить именно наличием DLC-структур.

Итак, серпентиновые ГМТ инициируют и участвуют в создании на поверхностях трения антифрикционного, противоизносного ремонтно-восстановительного покрытия, которое не только восстанавливает изношенные поверхности, но и изменяет условия трения. ГМТ, являясь эффективным инструментом в борьбе с трением и износом, уносящими ежегодно до 15 % ВВП человечества, создают условия «безызносности», что особенно актуально для дорогостоящей техники, которая используется в экстремальном режиме.

На рисунке 13 схематично показан процесс формирования ГМТ-покрытия при попадании частиц ультратонкоизмельченного серпентина в зону трения металлических поверхностей.

Благодаря многочисленным испытаниям на стендах и в штатной эксплуатации агрегатов (двигателей легковых автомобилей) выяснилось, что ГМТ-покрытие обладает высокой маслоудерживающей (олеофильной) способностью. Пробег по маршруту Москва — Санкт-Петербург — Москва (рис. 14), организованный ООО «Ньюмэн» на легковом автомобиле, у которого после обработки двигателя трибосоставами

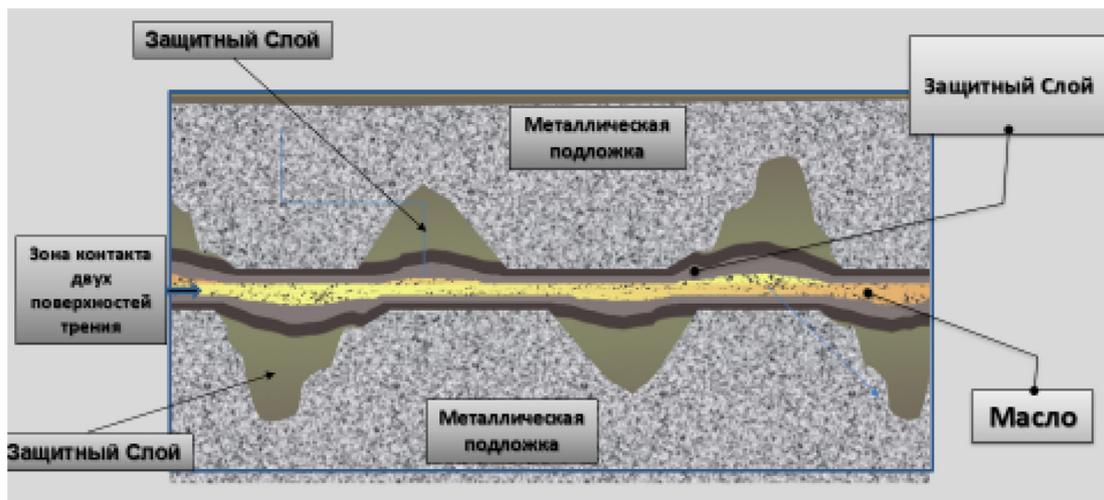


Рис. 13. Схематичное изображение двух изношенных поверхностей трения, на которых сформировался защитный слой [1, 2]

Fig. 13. Schematic representation of two worn friction surfaces on which a protective layer has formed [1, 2]

«Форсан» (современное название — «Практекс») было полностью слито моторное масло, мог состояться только в том случае, если хоть какое-то количество масла находилось в цилиндропоршневой зоне и в зоне подшипников распределвала. Иначе двигатель заклинило бы даже в случае сформированной защитной структуры на поверхностях трения двигателя.

На свойстве защитного слоя удерживать масляную пленку основано «чудо», которое многие годы демонстрирует на различных выставках компания «НПТК «СУПРОТЕК», Санкт-Петербург: на постаменте демонстрируется работающий на холостом ходу автомобиль, у которого снят поддон картера (рис. 15).



Рис. 14. Сертификат Книги рекордов России, выданный компании «Ньюмэн» за организацию в 2001 году пробега Москва — Санкт-Петербург — Москва на легковом автомобиле, у которого после обработки двигателя трибосоставом «Форсан» (новое название — «Практекс») было полностью слито моторное масло. Дальность пробега без моторного масла составила 1500 км

Fig. 14. Certificate of the Russia Book of Records issued to the Newmen company for the organization of the 2001 Moscow — St. Petersburg — Moscow car run, which following engine treatment with a Forsan tribological composition (new name — Practex) was completely drained of engine oil. The kilometrage without engine oil was 1500 km



Рис. 15. У двигателя автомобиля «Лада», предварительно обработанного геомодификатором трения (ГМТ) производства ООО «НПТК «Супротек», снят поддон картера. Двигатель работает без моторного масла на холостых оборотах в течение всего дня. Выставка «Интеравто-2010», Москва, 2010 г.

Fig. 15. Lada car engine pre-treated with a friction geomodifier (Suprotec, Russia) with the removed oil sump. The engine runs at idle speed without engine oil all day long. InterAuto-2010 exhibition, Moscow

Подводя итог вышеизложенному материалу, можно заключить следующее.

Пространственная структура ГМТ-покрытия (защитного слоя) представляет собой сложный упорядоченный кристаллический комплекс, в который входят аморфные и кристаллические частицы с размерами от 0,5 до 20 нанометров. Покрытие имеет слоистое строение (толщина каждого слоя — не более 100 nm), что обусловлено динамикой постепенного формирования покрытия как полимолекулярного наслоения на металлическую подложку.

Практическим подтверждением послойного образования защитного DLC-покрытия на металлических поверхностях пары трения могут служить результаты испытаний, проведенных на винтовой паре качения патронно-центрового станка. Было показано, что уменьшение зазора винтовой пары качения со 100 микрон до 35 происходило поэтапно, в течение 240 часов работы станка после обработки ГМТ-составом производства ООО «Неосфера».

Мы полагаем, что практически во всех узлах трения, где применяли ГМТ-составы и получали восстанавливающие геометрию трущихся поверхностей защитные слои, в DLC-покрытии формируется подобие «металлокарбидного» слоя. Но самые верхние слои ГМТ-покрытия могут содержать до 90 % углерода.

Эффект от обработки геомодификаторами может проявиться через час, а толщина ГМТ-покрытия может увеличиваться в эксплуатации обработанного агрегата даже после смены масла. Новая поверхность имеет высокую чистоту и твердость. ГМТ-покрытие прозрачно, под ним видна металлическая подложка, ее цвета — желто-золотистый, золотисто-сиреневый, светло-серый. Формирование покрытия интенсивнее идет на поработавших маслах, поэтому целесообразно проводить обработку за 50–100 мото-часов до смены масла, а добавление в геомодификатор сажи ускоряет формирование покрытия. Покрытия сохраняются после смены масла, но из-за неизбежного, хотя и замедленного изнашивания через 30–50 тыс. км пробега автомобилей, или 3000–5000 мото-часов работы дизель-генераторов и других дизельных стационарных агрегатов, или год-два работы трактора требуется повторная обработка.

Основными факторами динамики процесса формирования защитного слоя после добавления ГМТ на основе серпентинов являются давление и температура в зонах контакта. В холодном масле процесс идет менее интенсивно. А эффективной частью ГМТ на основе серпентинов являются субмикронные (размер от 0,5 до 20 микрон) порошки. Особенности структурного строения серпентина (моноклинная межслойная сингония, высокая энергоплотность и т.д.) являются одной из «причин» их уникальных триботехнических свойств.

Для эксплуатации техники в экстремальных условиях Севера и Арктики имеют значение все перечисленные эффекты от применения ГМТ на основе слоистых гидросиликатов, но особое значение может иметь облегчение «холодного запуска» дизельных и бензиновых агрегатов.

Благодарности

В статье использованы материалы далеко не всех исследователей и инженеров, активно развивавших тему «применение геомодификаторов трения на основе серпентинов». Авторы статьи выражают всем им глубочайшую благодарность за упорство, большой объем проделанной работы по внедрению триботехнических составов в различные отрасли промышленности России. Особая благодарность авторам открытия № 323: Маринич Т.Л., Зуеву В.В., Лаврову Ю.Г., Лазареву С.Ю., Денисову Г.А., Половинкину В.Н., Соловьеву А.П., Холину А.Н., а также д.т.н. Шарифуллин С.Н., Соколу С.А., Пустовому И.Ф., Шабанову А.Ю. и многим другим испытателям, внесшим весомый вклад в развитие описанной технологии.

Acknowledgments

Not all materials of researchers and engineers who actively developed the “application of serpentine-based friction geomodifiers” were used in the article. The present authors express their deepest gratitude to all of them for the perseverance and a large amount of work done on the introduction of tribological compositions in various Russian industries. Special thanks are owed to the authors of discovery No. 323: Marinich T.L., Zuev V.V., Lavrov Yu.G., Lazarev S.Yu., Denisov G.A., Polovinkin V.N., Solovyov A.P., Kholin A.N., as well as Sharifullin S.N. (Dr. Sci. in Engineering), Sokol S.A., Pustovoy I.F., Shabanov A.Yu. and many other testers who have made a significant contribution to the development of the described technology.

Список литературы

1. Павлов О.Г. Ремонт без разбору. Новые технологии обработки судовых двигателей. Катера и Яхты. 2014; (3): 57–59.
2. Павлов О.Г. Инновационная технология безразборного ремонта узлов промышленного оборудования и автотехники. Инженерный Клуб. 2013; март: 42–45.
3. 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.
4. ООО «Центральный научно-исследовательский дизельный институт». Моторные испытания «АРТ-технологии» на дизель-генераторе 4Ч 9.5/11. Технический Отчёт. Санкт-Петербург; 2007.
5. Телух Д.М., Кузьмин В.Н., Усачев В.В. Введение в природу использования слоистых гидросиликатов в трибосопряжениях. Трение, износ, смазка. 2009;(3). [Интернет]. <http://www.oilchoice.ru/download/file.php?id=2209>
6. Дунаев А.В., Филиппова Е.М. Нетрадиционная триботехника для повышения ресурса автотракторной техники. Итоги 25-летнего развития. Москва: Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 2017.
7. Гаркунов Д.Н., Крагельский И.В. Эффект безызносности. Научное открытие №41, 12 ноября 1956. [Интернет]. <https://ross-nauka.narod.ru/o6/o6-o41.html>
8. Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Караулов А.К. Поверхностная прочность материалов при трении. Киев: Техніка; 1976, 296 с.
9. Дунаев А.В., Павлов О.Г., Пустовой И.Ф., Рыжов В.Г. Механизмы образования триботехнических покрытий при использовании геомодификаторов трения. В: 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.
10. Маринич Т.Л., Зуев В.В., Лавров Ю.Г., Лазарев С.Ю., Денисов Г.А., Половинкин В.Н., Соловьев А.П., Холин А.Н. Свойство высокоэнергосплотных минеральных веществ изменять параметры триботехнических систем. Открытие №323, приоритет от 16 ноября 1995 г.
11. Зуев В.В. Энергосплотность, свойства минералов и энергетическое строение Земли. Санкт-Петербург: Наука; 1995, 128 с.
12. Зуев В.В. Конституция, свойства минералов и строение земли (энергетические аспекты). Санкт-Петербург: Наука; 2005, 402 с.
13. 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 $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$. World Tribology Congress III, Vol. 2. Washington; 2005, p. 449–450. [Интернет]. <https://doi.org/10.1115/wtc2005-63927>
14. Li Shenghua, Yang He, Wang Feng. ART-technology. China, Beijing; 2004. 403 p.
15. 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: Superlubricity. Ed. Erdemir A., Martin J.-M., Elsevier Science B.V.; 2007, p. 445–469.
16. Jin Yuansheng, Li Shenghua, Zhang Zhengye, Yang He, Wang Feng. In situ mechanochemical reconditioning of worn ferrous surfaces. Tribology International, Volume 37, Issue 7, July 2004, Pages 561–567. [Интернет]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301679X03002354>
17. РВС-технология (патент РФ №2266979) — Эффективный инструментальный достижения целей устойчивого развития. [Интернет]. <http://rvs-tech.ru/o-kompanii/prezentaciya/>
18. Дунаев А.В. Инновационные приемы повышения ресурса и экономичности тракторов при их техническом сервисе. Москва. РУСАЙНС, 2023 г. 202 с.
19. Дунаев А.В., Павлов О.Г. Пустовой И.Ф., Рыжов В. Механизмы образования триботехнических покрытий при использовании серпентиновых геомодификаторов трения. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2018;(9): с. 414–418.
20. Дунаев А.В., Павлов О.Г., Пустовой И.Ф., Рыжов В.Г. Механизмы образования триботехнических покрытий при использовании серпентиновых геомодификаторов трения. Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2017;(5-6): с. 30–37.

21. Соловьев Р.Ю., Шарифуллин С.Н., Соловьев С.А., Ольховацкий А.К., Ломухин В.Б., Дунаев А.В., Гительман Д.А., Хисметов Н.З. Безызыносная эксплуатация двигателей внутреннего сгорания. Москва: ГОСНИТИ; 2015 г.
22. Дунаев А.В., Александров В.А., Павлов О.Г., Пустовой И.Ф., Сокол С.А., Селютин Г.Е. Испытания добавок к смазочным материалам. Труды ГОСНИТИ. 2014; 114(1). с. 39–45.
23. Дунаев А.В., Шарифуллин С.Н. Модернизация изношенной техники применением трибопрепаратов. Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет; 2013 г, 272 с.
24. Лавров Ю.Г., Ладиков В.В., Пустовой И.Ф., Павлов О.Г. Системное применение триботехнологий на всех этапах жизненного цикла машин и оборудования. Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2013;(3): с. 62–69.
25. Калинин А.М., Калинин Е.В. Магма в ступке. Природа. 2005 (4). с. 3–8.
26. Koga N., Nakagoe Y., Tanaka H. Crystallization of amorphous calcium carbonate. *Thermochim. Acta*. 1998; 318 (1-2): p. 239–244. [Интернет]. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(98\)00348-7](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(98)00348-7)
27. Wu J., Wang X., Zhou L., Wei X., Wang W. Formation Factors of the Surface Layer Generated from Serpentine as Lubricant Additive and Composite Reinforcement. *Tribology Letters*. 2017. p. 65-93. [Интернет]. <https://doi.org/10.1007/s11249-017-0873-1>

References

1. Pavlov O.G. Repair indiscriminately. New technologies for processing of marine engines. *Power & Sail Boats*. 2014; (3): p. 57–59. (In Russian).
2. Pavlov O.G. Innovative technology of non-disassembly repair of units of industrial equipment and motor vehicles. *Inzhenernyi klub*. 2013; March: p. 42–45. (In Russian).
3. 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 Russian).
4. LLC «Central Research Diesel Institute». Motor tests of ART-technology on diesel generator 4Ch 9.5/11. Technical Report. Saint Petersburg; 2007. (In Russian).
5. Telukh D.M., Kuzmin V.N., Usachev V.V. Introduction to the nature of the use of layered hydrosilicates in tribo interface. *Trenie, iznos, smazka*. 2009;(3). [Internet]. Available at: <http://www.oilchoice.ru/download/file.php?id=2209> (In Russian).
6. 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 Russian).
7. Garkunov D.N., Kragelsky I.V. The effect of inviolability. *Scientific discovery* No №41, 12 November 1956. [Internet]. Available at: <https://ross-nauka.narod.ru/06/06-041.html> (In Russian).
8. Kostetsky B.I., Nosovsky I.G., Karaulov A.K. Surface strength of materials under friction. Kyiv: Tekhnika Publ.; 1976. 296 p. (In Russian).
9. Dunaev A.V., Pavlov O.G., Pustovoy I.F., Ryzhov V.G. Mechanisms of formation of threebototechnical 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.
10. Marinich T.L., Zuev V.V., Lavrov Y.G., Lazarev S.Y., Denisov G.A., Polovinkin V.N., Soloviev A.P., Kholin A.N. The property of high-energy mineral substances to change the parameters of tribotechnical systems. *Discovery* No. 323, 16 November 1995. (In Russian).
11. Zuev V.V. Energy density, mineral properties and energy structure of the Earth. St. Petersburg: Nauka Publ.; 1995. 128 p. (In Russian).
12. Zuev V.V. Constitution, mineral properties and earth structure (energy aspects). Petersburg: Nauka Publ.; 2005. 402 p. (In Russian).
13. 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 $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$. *World Tribology Congress III*, Vol. 2. Washington; 2005, p. 449–450. [Internet]. <https://doi.org/10.1157/wtc2005-63927>
14. Li Shenghua, Yang He, Wang Feng. ART-technology. China, Beijing; 2004. 403 p.

15. 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: Superlubricity. Ed. Erdemir A., Martin J.-M., Elsevier Science B.V.; 2007, p. 445–469. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52772-1/50055-X>
16. Jin Yuansheng, Li Shenghua, Zhang Zhengye, Yang He, Wang Feng. In situ mechanochemical reconditioning of worn ferrous surfaces. *Tribology International*, Volume 37, Issue 7, July 2004, Pages 561–567. [Internet]. Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301679X03002354>
17. RVS-technology (patent of the Russian Federation No. 2266979) — An effective tool for achieving sustainable development goals. [Internet]. Available at: <http://rvs-tech.ru/o-kompanii/prezentacziya/> (In Russian).
18. Dunaev A.V. Innovative techniques for increasing the resource and efficiency of tractors during their technical service. Moscow: Rusains; 2023. 202 p. (In Russian).
19. Dunaev A.V., Pavlov O.G., Pustovoi I.F., Ryzhov V. Mechanisms of the formation of triborate when using geomodifiers friction. *Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making*. 2018 (9): 414–418. (In Russian).
20. Dunaev A.V., Pavlov O.G., Pustovoi I.F., Ryzhov V. Gears of formation of tribotechnical coverings when using serpentine geomodifiers of friction. *Sel'skokhozyaistvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont*. 2017;(5-6): p. 30–37. (In Russian).
21. Soloviev R.Yu., Sharifullin S.N., Soloviev S.A., Olkhovatsky A.K., Lomukhin V.B., Dunaev A.V., Gitelman D.A., Khismetov N.Z. Weariness operation of internal combustion engines. Moscow: GOSNITI; 2015. (In Russian).
22. Dunaev A.V., Aleksandrov V.A., Pavlov O.G., Pustovoi I.F., Selyutin G.E. Tests of additives to lubricants. *Proceedings of GOSNITI*. 2014;114(1): p. 39–45. (In Russian).
23. Dunaev A.V., Sharifullin S.N. Modernization of worn-out equipment using tribo compounds. Kazan: Kazan (Volga Region) Federal University; 2013. 272 p. (In Russian).
24. Lavrov Yu.G., Ladikov V.V., Pustovoy I.F., Pavlov O.G. Systemic application of tribotechnologies at all stages of the life cycle of machines and equipment. *Sel'skokhozyaistvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont*. 2013;(3): p. 62–69. (In Russian).
25. Kalinkin A.M., Kalinkina E.V. Magma in mortar. *Priroda*. 2005;(4): p. 3–8. (In Russian).
26. Koga N., Nakagoe Y., Tanaka H. Crystallization of amorphous calcium carbonate. *Thermochim. Acta*. 1998;318(1-2): p. 239–244. [Internet]. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(98\)00348-7](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(98)00348-7)
27. Wu J., Wang X., Zhou L., Wei X., Wang W. Formation Factors of the Surface Layer Generated from Serpentine as Lubricant Additive and Composite Reinforcement. *Tribology Letters*. 2017. p. 65–93. [Internet]. <https://doi.org/10.1007/s11249-017-0873-1>

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ББК 26.221

УДК 504.4.054

<https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-45-55>



Гражданская наука в исследованиях микропластикового загрязнения Российской Арктики

Ершова А.А.¹✉, Смолокуров А.В.²

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

² Архангельское региональное молодежное экологическое общественное движение «Чистый Север — Чистая страна», Архангельск, Россия

✉ plasticlab.2019@gmail.com

Аннотация. Представлена работа по исследованию микропластикового загрязнения морей Российской Арктики с помощью метода «гражданской науки» в течение 2020–2022 гг. Представлены методические подходы к отбору проб и их лабораторной обработке при выделении частиц микропластика из природных проб, а также некоторые результаты исследования роли Нордкапского течения в переносе микропластика в российскую часть Баренцева моря из региона Северной Атлантики. Показана эффективность совместного сотрудничества общественных организаций и научных институтов для обеспечения научно обоснованными методическими подходами волонтеров, проводящих исследования в труднодоступных регионах Арктики. Опубликованные методические пособия и образовательные материалы находятся в открытом доступе для использования в будущих исследованиях всех желающих.

Ключевые слова: гражданская наука, Арктика, микропластик, Баренцево море

Конфликт интересов: авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ершова А.А., Смолокуров А.В. Гражданская наука в исследованиях микропластикового загрязнения Российской Арктики. *Арктика и инновации*. 2024;2(1):45–55. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-45-55>

Citizen science in studying the microplastic pollution of the Russian Arctic

Ershova A.A.¹✉, Smolokurov A.V.²

¹ Russian State Hydrometeorological University (RSHU), Saint Petersburg, Russia

² Arkhangelsk regional youth environmental public movement “Clean North — Clean Country”, Arkhangelsk, Russia

✉ plasticlab.2019@gmail.com

Abstract The article presents a long-term study (2020–2022) on microplastic pollution in the seas of the Russian Arctic using the citizen science method. Methodological approaches to sample collection and their laboratory processing for isolating microplastic particles from environmental samples are presented, as well as some results of studying the role of the North Cape Current in microplastics transfer from the North Atlantic region to the Russian part of the Barents Sea. The joint cooperation between public organizations and scientific institutes is shown to be effective in providing science-based methodological approaches to volunteers conducting research in hard-to-reach regions of the Arctic. The published guidelines and educational materials are publicly available to everyone interested in using them in future research.

Keywords: citizen science, Arctic, microplastics, Barents Sea

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

For citation: Ershova A.A., Smolokurov A.V. Citizen science in studying the microplastic pollution of the Russian Arctic. *Arctic and Innovations*. 2024;2(1):45–55. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-45-55>

Введение

В последние годы проблема микропластикового загрязнения Мирового океана стала одной из самых актуальных экологических проблем. Микропластик (частицы пластика менее 5 мм) представляет серьезную угрозу для морской биоты: эти частицы накапливаются в организме, затрудняя дыхание и питание животных, а также переносят на своей поверхности опасные токсиканты [1, 2]. Микропластик обнаружен в том числе и в организме человека [3].

Особенный интерес представляют исследования загрязнения микропластиком Арктического региона, который считается одним из наиболее уязвимых в мире к антропогенному воздействию. Исследования микропластикового загрязнения в данном регионе проводятся на протяжении нескольких лет. Было описано накопление пластикового мусора на берегах Западной Арктики, в том числе на архипелаге Новая Земля, и проглатывание пластикового мусора арктическими морскими птицами и млекопитающими [4–6]. В Баренцевом море был обнаружен как крупный плавающий мусор [7], так и синтетические микроволокна в водной толще [8, 9].

Исследования пластикового загрязнения особенно сложны в Арктике из-за удаленности этого региона, отсутствия инфраструктуры и суровых условий окружающей среды. Традиционные научные исследования часто ограничиваются летними месяцами и требуют использования судов ледового класса [10]. Из-за высокой стоимости исследовательских экспедиций в Арктике они проводятся редко, а существующие опу-

бликованные данные обычно представляют только один год (или один месяц) отбора проб и фактически показывают лишь одномоментную концентрацию, чего недостаточно для оценки сезонной динамики, накопления и распределения микропластика. Для более регулярных мониторинговых исследований в Арктике возможно применение «гражданской науки», то есть научных исследований с привлечением обученных волонтеров.

«Гражданская наука» в мире и в Арктике

«Гражданская наука» успешно используется при очистке пляжей по всему миру и привлекает волонтеров, туристов, а также местных жителей, которые принимают активное участие в очистке родных территорий и перенимают опыт ученых для самостоятельного проведения регулярных мониторинговых исследований выброшенного на берег мусора [11, 12]. Одним из примеров применения «гражданской науки» в исследованиях микропластикового загрязнения природных вод является глобальная инициатива под названием «100 Plastic Rivers — a global investigation» («100 пластиковых рек — глобальное исследование»), направленная на понимание распределения микропластика в реках по всему миру и объединяющая ученых в более чем 60 странах для отбора проб воды и донных отложений в реках с помощью простого, надежного, недорогого и стандартизированного подхода. Используя «гражданскую науку», пробы воды собирают из выбранных рек, а затем перевозят в оборудованную лабораторию для анализа микро-

пластика. Все собранные данные затем компилируются в базу данных с открытым доступом.

Другим примером успешного применения «гражданской науки» в мире является сбор морского мусора волонтерами на берегах, например инициатива «Nurdle Hunt» («Охота за гранулами»), которая охватывает все континенты, а база данных насчитывает вклад от более чем 1000 организаций. Успешным примером реализации подхода «гражданской науки» в мониторинге морского мусора в Российской Федерации является акция «Чистый берег», ежегодно проводимая под эгидой Правительства Санкт-Петербурга на побережье Финского залива и объединяющая до 500 участников ежегодно — местных жителей, волонтеров и студентов образовательных учреждений города. В рамках этой акции проводится мониторинг берегового мусора по единой международной методике (протокол ОСПАР), а данные объединяются в единой базе данных для последующего использования учеными [13].

В Арктике «гражданская наука» в последнее время также стала основой для относительно регулярного мониторинга морского мусора на побережьях. Участники туристических круизов активно помогают собирать и классифицировать мусор на побережьях при высадках на наиболее отдаленные и необитаемые острова арктических архипелагов, тем самым пополняя базу данных по характеристикам выброшенного на берег макромусора [14]. В российском секторе Западной Арктики береговые исследования (или так называемые «учеты») морского мусора с участием волонтеров и туристов проводятся с 2019 года сотрудниками Национального парка «Русская Арктика», охватывающего часть архипелага Новая Земля (мыс Желания на острове Северный) и архипелаг Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) и представляющего собой уникальную среду обитания многих редких видов животных и птиц. Ежегодные летние экспедиции «Арктического плавучего университета (АПУ)» Северного Арктического федерального университета (САФУ) приобрели первостепенное значение для изучения морского мусора в регионе Баренцева и Карского морей. В основе этой программы лежит концепция «обучение через исследование» — образовательная технология

ЮНЕСКО, реализуемая в России с начала 1990-х годов в формате плавучих университетов [15], предполагающая активное участие студентов на всех этапах обучения, в том числе в ходе полевых работ. Экспедиции АПУ включают обязательную серию высадок на побережья архипелагов Новая Земля и Земля Франца-Иосифа, что позволяет получить уникальные данные о морском мусоре в самых труднодоступных местах Западной Арктики. Таким образом, для регулярных исследований микропластикового загрязнения Российской Арктики концепция «гражданской науки» представляется экономически эффективной и относительно простой в исполнении.

В 2020 году с помощью волонтеров экологического молодежного движения «Чистый Север — Чистая страна» было проведено первое скрининговое исследование содержания микропластика в прибрежной зоне Белого моря и внутренних водоемах Архангельской области на основе научно обоснованного подхода. В полевых работах и изучении отбора проб приняли участие более 200 волонтеров, среди которых молодые ученые и школьники из многих населенных пунктов Архангельской области. Совместно с региональной общественной организацией «Экопатруль» были проведены однодневные выезды по сбору и вывозу мусора из труднодоступных мест. Последующие мероприятия также включали подготовку образовательных видеороликов, ведение онлайн-дневника экспедиции и 7 экологических уроков, которые просмотрели онлайн более 6000 человек. Дневник полевых работ, транслируемый онлайн в социальных сетях, позволил зрителям «прожить» экспедицию, познакомиться с полевыми работами и уникальной природной средой Русского Севера, освоить навыки жизни на природе с минимизацией личного экоследа. Заключительная конференция проекта собрала 150 человек в возрасте от 18 до 35 лет.

Методика отбора проб была разработана в научно-исследовательской лаборатории ПластикЛаб РГГМУ и в дальнейшем адаптирована для использования волонтерами. Таким образом было разработано и опубликовано в открытом доступе «Методическое пособие по мониторингу микропластика в водной среде с использованием гражданской науки» [16], которое представляет

руководство по отбору проб с использованием легкого в применении и доступного оборудования. Впервые был применен опыт сотрудничества научного сообщества и волонтерского движения, благодаря чему была создана прочная основа настоящей «гражданской науки» в Архангельской области и в Российской Арктике в целом в области изучения важной экологической проблемы XXI века — загрязнения морской среды микропластиком.

Результаты 2020 года стали основой для дальнейшего углубленного исследования этой проблемы в Российской Арктике. Для понимания источников поступления микропластика и путей его распространения в этом регионе было необходимо исследовать прилегающую акваторию Баренцева моря и, в частности, Нордкапское течение, ветви которого омывают побережье Кольского полуострова, простираясь до Печорского моря. Исходя из этого следующее исследование провели летом 2022 года в ходе «Экологической экспедиции по исследованию содержания микропластика в Нордкапском течении Арктического бассейна» в рамках Международной премии #МЫВМЕСТЕ при Президенте Российской Федерации с участием 240 волонтеров Архангельского молодежного движения «Чистый Север — Чистая страна». В исследовании участвовали студенты и ученые из научных учреждений и университетов, Мурманские и архангельские экологические организации, местные жители из ЗАТО Островной, поселка Териберка, а также поселка Вайда Губа, которые проявили особый интерес к защите окружающей среды на своих родных территориях. Участие территориальных волонтеров в этой экспедиции подчеркивает роль «гражданской науки» в сборе данных, формировании общественного сознания и принятии решений в сфере охраны окружающей среды. Сбор данных для настоящего исследования также частично осуществлялся в ходе экспедиции «Арктический плавучий университет — 2022: меняющаяся Арктика».

Исследование микропластикового загрязнения в Российской Арктике

Отбор проб

Специфика проведения полевых исследований определяла выбранный метод отбора проб. Использование традиционных методов исследования микропластика, таких как нейстонные сети (траление с суд-

на) или насосные фильтрующие устройства (требующие источников энергии) было затруднительно в 2020 году. Полевые работы проводились в отдаленных регионах с ограниченным доступом, где не было дорог и транспортного сообщения; при этом некоторые однодневные маршруты более 20 км преодолевались пешком. Основными критериями выбора стратегии отбора проб стали: легкие и простые в использовании инструменты, независимые от источника энергии; процедура отбора проб, которую легко повторить волонтерам; размер фракции микропластика, ограниченный определением прибором (спектрометр ИК Фурье). В 2020 году для исследования использовались чистые ведра и набор сит с ячейками разного размера. При этом смыв образца с сит производился в специально оборудованной полевой лаборатории со всеми необходимыми требованиями к чистоте рабочего места, а также с помощью предварительно подготовленного в лаборатории Архангельска оборудования. В 2022 году исследование загрязнения Нордкапского течения микропластиковыми частицами проходило в прибрежных водах Кольского полуострова и в открытой части Баренцева моря (июнь — июль 2022 г.), а также в прибрежных водах Печорского моря (сентябрь 2022 г.). Таким образом, наличие маломерного или крупного судна обуславливало выбор пробоотбора в этом исследовании. Отбор проб воды в прибрежных водах производился в момент отлива с помощью автономного пробоотборника-фильтра «HydroPuMP-5», разработанного в ПластикЛаб РГГМУ для работы в прибрежной зоне [17]. Пробоотборник-фильтр оснащен сменными насадками с металлическими фильтрами размером ячеей 100 мкм.

Исследования 2020 и 2022 гг. проводились по единому подходу: для получения одной концентрированной пробы с помощью специальной насадки или сита фильтровалось не менее 100 литров воды на металлический фильтр/сито с размером ячеей 100 мкм. Чистота проведения пробоотбора и лабораторной обработки проб является ведущим фактором достоверности полученных данных о содержании микропластика. Специальная пробоотборная система ПластикЛаб позволяет максимально изолировать полученный образец от внешнего загрязнения микропластиком в связи с закрытой конструкцией фильтровальной насадки.



Рис. 1. Карта станций отбора проб воды и грунта на микропластик в прибрежной зоне и в открытой части Баренцева и Печорского морей в 2022 г.

Fig. 1. Map of water and soil sampling stations in the coastal zone and offshore areas of the Barents and Pechora Seas in 2022

В 2022 году пробы отобраны вдоль всего побережья Кольского полуострова (п-ов Рыбачий, Териберка, ЗАТО Островной), а также на побережьях у поселка Варандей в Печорском море. Впервые в этом регионе отобраны образцы не только морской воды, но и донных отложений в прибрежной зоне. Отбор проб грунта проводился только в прибрежной зоне у линии заплеска воды металлической лопаткой в стеклянную банку объемом 0,5 л; вес отобранного грунта составил от 400 до 600 г. Всего в 2022 г. в рамках исследования Нордкапского течения было отобрано 8 проб морской воды и 5 проб грунта (рис. 1).

Пробоподготовка

В рамках исследований 2020 и 2022 гг. лабораторную обработку образцов осуществляли несколько научных центров: лаборатория ПластикЛаб РГГМУ, лаборатория биомониторинга САФУ и ЦКП «Арктика» (г. Архангельск) согласно единому методическому подходу.

В процессе пробоподготовки удаление органического материала не синтетической (пластиковой) природы проводили путем обработки образца перекисью водорода (30 %) в присутствии катализатора на основе сернистого двухвалентного железа (реактив Фентона) на водяной бане

при температуре +60 °С, а также с дополнительной обработкой соляной кислотой (1:1.5). Для проб донных отложений проводили дополнительные этапы отделения частиц микропластика от образца: после предварительного мокрого просеивания (для освобождения от крупной фракции грунта) проводили плотностное разделение с помощью плотного раствора хлорида цинка (плотностью 1,7 г/см³) в делительной воронке [18].

После проведения всех этапов пробоподготовки образец концентрировался на фильтре политетрафторэтилена (PTFE) (Agilent Technologies, Германия, диаметр 47 мм, размер пор 0,45 мкм) с помощью вакуумной системы фильтрации, после чего проводились гравиметрический и μ FT-IR анализы в ЦКП «Арктика». ИК-спектры записывали с использованием ИК-Фурье спектрометра Vertex 70V (Bruker, Германия) и ИК-микроскопа Hyperion 3000 (Bruker, Германия), оснащенного VIS- и IR-объективами [19]. Обработку спектров проводили с использованием ПО «OPUS» (Bruker, Германия).

Контроль загрязнения

Исследование содержания микропластиковых частиц в образцах компонентов природной среды обязательно проводится с контролем загрязнения на всех этапах

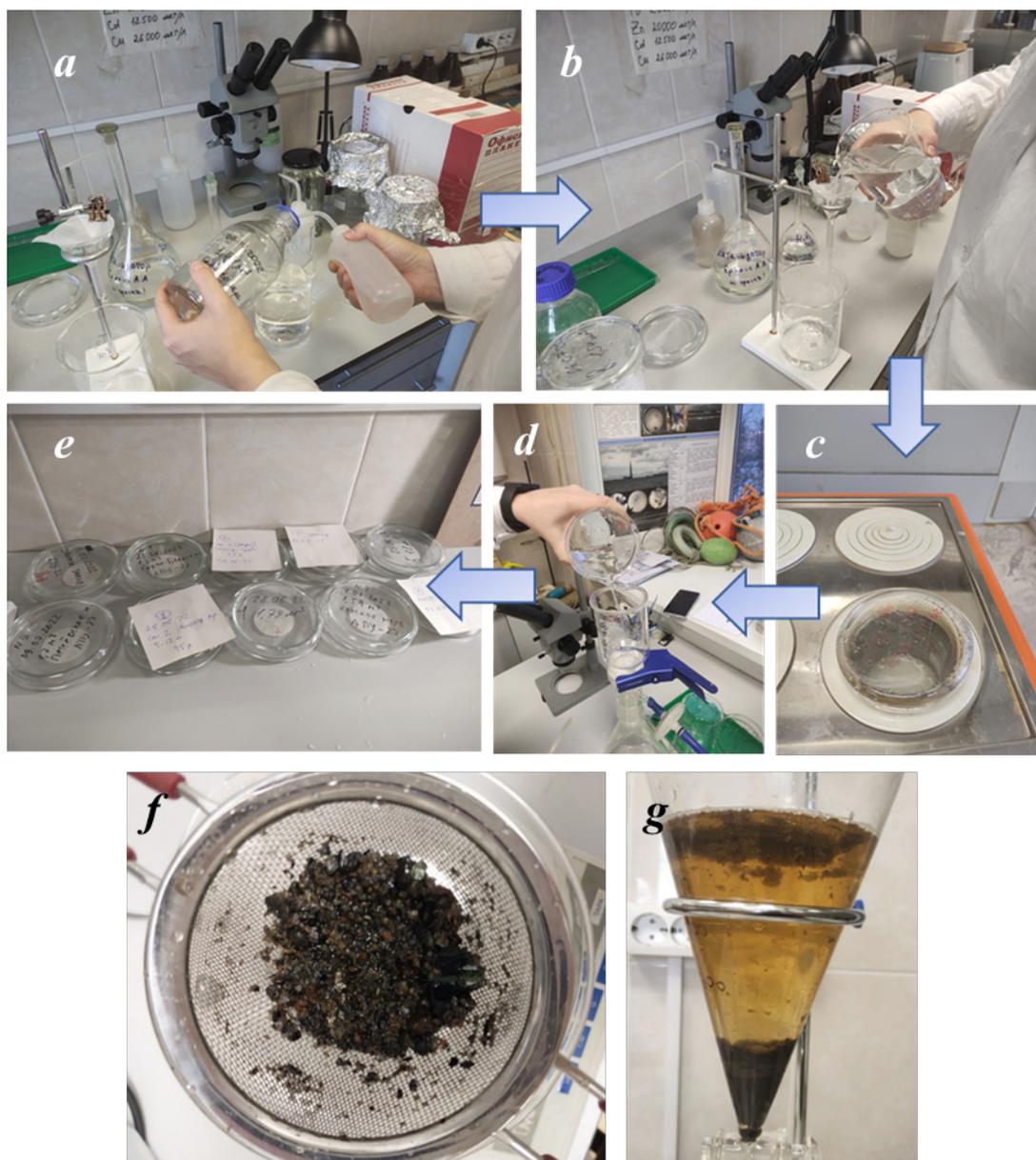


Рис. 2. Цикл лабораторной обработки проб воды в лаборатории ПластикЛаб для выделения частиц микропластика из природного образца: мокрое просеивание (а, б); термохимическая обработка (выдерживание на водяной бане с добавленными реактивами) (с); вакуумная фильтрация, высушивание фильтров в чашках Петри (д, е); отделение крупной фракции частиц грунта от мелкой (ф); плотностное разделение в делительной воронке (г)

Fig. 2. Laboratory processing of water samples at PlasticLab for isolating microplastic particles from an environmental sample: rinse of the sample and wet sieving (a, b); thermochemical treatment (incubation in a water bath with added reagents) (c); vacuum filtration and drying of filters in Petri dishes (d, e); separation of the coarse fraction of soil particles from the fine fraction (f); density separation in a separating funnel (g)

исследования. В полевых условиях в процессе отбора проб крайне сложно избежать загрязнения микропластиком от внешних источников: одежды, судна и т.п., особенно в условиях Крайнего Севера (в связи с необходимостью использовать теплую одежду). Пробоотборная система ПластикЛаб позволяет максимально изолировать полученный образец от внешнего загрязнения микропластиком в связи с закрытой кон-

струкцией разработанных фильтровальных систем. Для дополнительного контроля загрязнения отбор проб проводится в специальных плащах яркого цвета для последующей легкой идентификации частиц данного типа защитной одежды в образцах (рис. 3), а также всегда проводится контроль внешнего загрязнения с помощью экспонирования смоченного фильтра на открытой чашке Петри в месте отбора проб.



Рис. 3. Отбор проб воды с помощью пробоотборника «HydroPuMP-5» ПластикЛаб РГГМУ (использование защитных плащей яркого цвета для контроля загрязнения)

Fig. 3. Sampling of water by means of the HydroPuMP-5 sampler of RSHU PlasticLab (use of brightly colored protective cloaks to control pollution)

При пробоподготовке и лабораторной обработке образцов используются исключительно хлопковые халаты и стеклянная химическая посуда. Образцы обрабатываются в условиях «чистой лаборатории»: все реактивы и дистиллированная вода фильтруются, обработка проводится под вытяжкой с обратной тягой, с контролем загрязнения (фильтр в открытой чашке Петри). Используемые PTFE-фильтры предварительно также промываются изопропанолом с целью исключения влияния уже присутствующих на фильтре частиц (если такие имеются) на последующие анализы. Фильтры всегда хранятся и высушиваются в стеклянных чашках Петри.

Результаты исследования

В 2020 году было проведено первое (скрининговое) исследование содержания микропластика в водах Белого моря и впадающих в него рек, показавшее концентрации микропластика от 0 до 6 шт./м³. Исследование было сосредоточено на притоках Белого моря с отбором проб вблизи основных населенных пунктов и на малых озерах в труднодоступных местах для оценки фонового загрязнения микропластиком. В отдаленных озерах на незаселенных территориях микропластик не был обнаружен, тогда как в прибрежных районах населенных пунктов присутствовали частицы синтетических полимеров, причем в качестве важного источника установлена река Северная Двина, включая ее приток реку Вага, где

наблюдалось самое высокое содержание микропластиковых частиц (6 шт./м³) [12]. Данное исследование показало, что реки Архангельской области являются важным источником микропластика в Белом море.

На протяжении всего маршрута в 2020 году экспедиция обнаружила множество открытых свалок пластиковых отходов. Равнинный тундровый ландшафт с сильными ветрами благоприятствует распространению мусора на большие расстояния. Мусор, в том числе пластиковый, обнаруживался в течение всего пути вдали от населенных пунктов. Особенностью этого региона является обилие макрообъектов, оставшихся в период освоения Крайнего Севера в XX веке: больших железных бочек с топливом, строительных материалов и даже фрагментов ступеней ракет.

В 2022 году исследование проводилось в прибрежной части морских акваторий Баренцева и Печорского моря. Нордкапское течение является мощным теплым течением, определяющим климат и гидрологические условия всей южной части Баренцева моря. Оно входит в Баренцево море с запада, огибая мыс Нордкап в Норвегии, и по сути является продолжением известного всем Гольфстрима. Здесь, у берегов Кольского полуострова, Нордкапское течение по мере продвижения на восток разделяется еще на несколько ветвей: Прибрежное и Северное течения, Мурманское и Колгуевское.

Являясь мощным теплым поверхностным течением, Нордкапское течение, очевидно, переносит пластиковый мусор в акваторию Баренцева моря из Северной Атлантики, в том числе — и частицы микропластика.

Некоторые предварительные результаты экспедиции 2022 года показали следующее. Самые высокие концентрации микропластика зафиксированы в 2022 году в прибрежной зоне Кольского полуострова в зоне влияния Мурманского течения (ЗАО Островной, 110 шт./м³), а также в районе п-ова Варандей (40 шт./м³), где влияние течения уже не прослеживается, а ведущую роль в поступлении загрязнений принимает на себя сток реки Печора. При этом микропластика в открытом море значительно меньше, чем в прибрежной зоне Баренцева моря, что говорит о важнейшей роли береговой зоны в поступлении пластика в морскую среду. Действительно, можно выделить два важных источника микропластика на суше в этом регионе: крупный пластиковый мусор, выбрасываемый на берег морем (куски рыболовных сетей, веревок, ящиков), и многочисленные свалки (строительный мусор, бытовые отходы), например на п-ове Варандей.

Самые встречаемые типы синтетических полимеров в пробах 2022 года: полипропилен (PP) и полиэтилен (PE), причем в донных отложениях полиэтилена более 50%. Именно эти полимеры широко используются при изготовлении упаковки. До 85% всех микропластиковых частиц являются частицами так называемого «настоящего» микропластика, то есть размерной категории менее 1 мм, а около половины — до 300 мкм. Этот результат в очередной раз подтверждает важность использования соответствующих пробоотборных устройств при исследовании микропластика, так как использование сетей с более крупной ячейкой приводит к значительному недоучету мелких частиц микропластика.

Заключение

Результаты исследования загрязнения микропластиком в регионе Белого и Баренцева морей в 2020 и 2022 годах имеют важное значение для понимания масштабов проблемы загрязнения микропластиком в Российской Арктике в целом и способствуют разработке эффективных стратегий

борьбы с этим явлением. Помимо очевидного и подтвержденного вклада Нордкапского течения (и его ветвей) в загрязнение прибрежных акваторий Баренцева моря микропластиком, важнейшее значение имеют такие источники пластика, как свалки отходов в прибрежных населенных пунктах и сток северных рек.

«Гражданская наука» — это мощный инструмент расширения научных знаний о тех регионах, доступ к которым ограничен и сложен. Можно с уверенностью заключить, что в Арктическом регионе налажено успешное сотрудничество волонтерских и общественных организаций и научно-образовательных институтов и центров, что позволяет выполнять регулярные исследования (мониторинг) экологических проблем, в том числе таких, как загрязнение микропластиком морской среды. Результаты просветительской работы в рамках проектов экологического движения «Чистый Север — Чистая страна» — учебные материалы, экоуроки и дневники экспедиций — распространяются среди волонтеров, школьников, студентов и местных жителей и доступны в интернете для дальнейшего распространения в режиме открытого доступа.

Благодарности:

Исследования проведены в рамках проекта «Экологическая экспедиция по исследованию содержания микропластика в Нордкапском течении Арктического бассейна» в рамках Международной премии #МЫВМЕСТЕ при Президенте Российской Федерации и программы «Арктический плавучий университет-2022: Меняющаяся Арктика», при поддержке проекта Госзадания Минобрнауки РФ № FSZU-2023-0002, с использованием оборудования ЦКП НО «Арктика» Северного Арктического федерального университета при поддержке проекта Госзадания Минобрнауки РФ № 0793-2020-0007, при поддержке программы «Арктический плавучий университет».

Авторы выражают благодарность всем волонтерам, участвовавшим в проведенных исследованиях в Архангельской области.

Acknowledgments:

The studies were conducted under the project “Ecological Expedition to Study Microplastic Content in the North Cape Current of the Arctic Basin” as part of the International Award #WeAreTogether

and under the program “Arctic Floating University-2022: The Changing Arctic,” aided by the State Project No. FSZU-2023-0002 of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, by the State Project No. 0793-2020-0007 of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation with the use of the equipment of the Shared

Use of Equipment Center “Arktika” of the Northern (Arctic) Federal University, and by the program “Arctic Floating University.”

The authors would like to thank all the volunteers who participated in the studies conducted in the Arkhangelsk Region.

Список литературы

1. Frias J.P.G.L., Nash R. Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*. 2019; 138: 145–147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>
2. Чубаренко И. П., Есюкова Е. Е., Хатмуллина Л. И., Лобчук О. И., Исаченко И. А., Буканова Т. В. Микропластик в морской среде. Москва: Научный мир; 2021.
3. Rist S., Almroth B.C., Hartmann N.B., Karlsson T.M., A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics. *Science of The Total Environment*. 2018; 626: 720–726. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.092>
4. Vesman A., Moulin E., Egorova A., Zaikov K. Marine litter pollution on the Northern Island of the Novaya Zemlya archipelago. *Marine Pollution Bulletin*. 2020; 150: 110671. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110671>
5. Gavrilov M. Plastic Pollution and Seabirds in the Russian Arctic. Workshop Report, Moscow, 12–14 November 2019 [internet]. Conservation of Arctic Flora and Fauna, Akureyri, Iceland. Available at: <https://oaarchive.arctic-council.org/server/api/core/bitstreams/c390129c-06c9-4684-80d8-084dc348d958/content>
6. Meyer A.N., Lutz B., Bergmann M. Where does Arctic beach debris come from? Analyzing debris composition and provenance on Svalbard aided by citizen scientists. *Frontiers in Marine Science*. 2023; 10: 1092939. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1092939>
7. Pogojeva M., Zhdanov I., Berezina A., Lapenkov A., Kosmach D., Osadchiv A., et al. Distribution of floating marine macro-litter in relation to oceanographic characteristics in the Russian Arctic Seas. *Marine Pollution Bulletin*. 2021; 166: 112201. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112201>
8. Ершова А.А., Еремина Т.Р., Дунаев А.Л., Макеева И.Н., Татаренко Ю.А. Исследование загрязнения микропластиком морей российской Арктики и Дальнего Востока. *Арктика: экология и экономика*. 2021;11(2):164–177. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2021-2-164-177>
9. Ершова А.А., Еремина Т.Р., Макеева И.Н., Панькин Д.В., Татаренко Ю.А., Бerezina A.B., Кузьмина А. С. Микропластиковое загрязнение морской среды Баренцева и Карского морей в 2019 г. *Гидрометеорология и экология*. 2022;(69):691–711.
10. Bergmann M., Collard F., Fabres J., Gabrielsen G.W., Provencher J.F., Rochman C.M., et al. Plastic pollution in the Arctic. *Nat. Rev. Earth Environ*. 2022; 3: 323–337. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00279-8>
11. Bergmann M., B. Lutz, M.B. Tekman, L. Gutow. Citizen scientists reveal: Marine litter pollutes Arctic beaches and affects wild life. *Marine Pollution Bulletin*. 2017;125(1-2):535–540. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.055>
12. Ershova A., Makeeva I., Malgina E., Sobolev N., Smolokurov A. Combining citizen and conventional science for microplastics monitoring in the White Sea basin (Russian Arctic). *Marine Pollution Bulletin*. 2021;173(A):112955. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112955>
13. Ершова А.А. Морской мусор и микропластик в Финском заливе. Изучение глобальной экологической проблемы XXI века на региональном уровне. Окружающая среда Санкт-Петербурга [интернет]. 2022;(2):28–31. Режим доступа: <http://ecopeterburg.ru/wp-content/uploads/2022/06/OS-24-1.pdf>.
14. Meyer A.N., Lutz B., Bergmann M. Where does Arctic beach debris come from? Analyzing debris composition and provenance on Svalbard aided by citizen scientists. *Frontiers in Marine Science*. 2023;10:1092939. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1092939>

15. Karlin L., Shilin M., Eremina T., Ershova A., Suzyumov A. Studying sustainability through the research with the floating university project. In: Leal Filho W. (ed). Sustainable Development at Universities: New Horizons. Frankfurt am Main: Peter Lang Scientific Publishers; 2012, p. 723–731.
16. Ершова А.А., Макеева И.Н., Смолокуров А., и др. Метод мониторинга микропластика в воде с использованием гражданской науки: исследование в Российской Арктике. СПб: РГМУ; 2021.
17. Ершова А.А., Татаренко Ю.А. Пробоотборник для определения содержания микропластика в морской воде (HydroPuMP). Патент на полезную модель № 206110 У1. Опубл. 24.08.2021.
18. Макеева И.Н., Ершова А.А. Особенности детекции микропластика в донных отложениях. В: I Всероссийская конференция с международным участием по загрязнению окружающей среды микропластиком «MicroPlasticsEnvironment-2022». Т.1. Томск: Издательство Томского государственного университета; 2022, с. 122–125.
19. Резвый Т. В., Белесов А.В., Кожевников А.В. μ ИК-спектры частиц микропластика на различных подложках. Свидетельство о гос. регистр. БД № 2023621821. Опубл. 05.06.2023.

References

1. Frias J.P.G.L., Nash R. Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*. 2019;138:145–147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>
2. Chubarenko I.P., Etyukova E.E., Khatmullina L.I., Lobchuk O.I., Isachenko I.A., Bukanova T.V. Microplastics in the marine environment. Moscow: Nauchnyi mir Publ.; 2021. (In Russ.).
3. Rist S., Almroth B.C., Hartmann N.B., Karlsson T.M., A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics. *Science of The Total Environment*. 2018;626:720–726. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.092>
4. Vesman A., Moulin E., Egorova A., Zaikov K. Marine litter pollution on the Northern Island of the Novaya Zemlya archipelago. *Marine Pollution Bulletin*. 2020;150:110671. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110671>
5. Gavriilo M. Plastic Pollution and Seabirds in the Russian Arctic. Workshop Report, Moscow, 12–14 November 2019 [internet]. Conservation of Arctic Flora and Fauna, Akureyri, Iceland. Available at: <https://oaarchive.arctic-council.org/server/api/core/bitstreams/c390129c-06c9-4684-80d8-084dc348d958/content>
6. Meyer A.N., Lutz B., Bergmann M. Where does Arctic beach debris come from? Analyzing debris composition and provenance on Svalbard aided by citizen scientists. *Frontiers in Marine Science*. 2023;10:1092939. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1092939>
7. Pogojeva M., Zhdanov I., Berezina A., Lapenkov A., Kosmach D., Osadchiv A., et al. Distribution of floating marine macro-litter in relation to oceanographic characteristics in the Russian Arctic Seas. *Marine Pollution Bulletin*. 2021;166:112201. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112201>
8. Ershova A. A., Eremina T. R., Dunaev A. L., Makeeva I. N., Tatarenko Yu. A. Study of microplastic pollution in the seas of the Russian Arctic and the Far East. *Arctic: ecology and economy*. 2021;11(2):164–177. (In Russ.). <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2021-2-164-177>
9. Ershova A. A., Eremina T. R., Makeeva I. N., Pankin D.V., Tatarenko Yu.A., Berezina A.V., Kuzmina A.S. Microplastic pollution of the marine environment of the Barents and Kara Seas in 2019 *Gidrometeorologiya i ekologiya*. 2022;(69):691–711. (In Russ.).
10. Bergmann M., Collard F., Fabres J., Gabrielsen G.W., Provencher J.F., Rochman C.M., et al. Plastic pollution in the Arctic. *Nat. Rev. Earth Environ*. 2022;3:323–337. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00279-8>
11. Bergmann M., B. Lutz, M.B. Tekman, L. Gutow. Citizen scientists reveal: Marine litter pollutes Arctic beaches and affects wild life. *Marine Pollution Bulletin*. 2017;125(1-2):535–540. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.055>
12. Ershova A., Makeeva I., Malgina E., Sobolev N., Smolokurov A. Combining citizen and conventional science for microplastics monitoring in the White Sea basin (Russian Arctic). *Marine Pollution Bulletin*. 2021;173(A):112955. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112955>
13. Ershova A.A. Marine debris and microplastics in the Gulf of Finland. Study of the global environmental problem of the 21st century at the regional level. *Okruzhayushchaya sreda*

- Sankt-Peterburga [internet]. 2022;(2):28–31. Available at: <http://ecopeterburg.ru/wp-content/uploads/2022/06/OS-24-1.pdf> (In Russ.).
14. Meyer A.N., Lutz B., Bergmann M. Where does Arctic beach debris come from? Analyzing debris composition and provenance on Svalbard aided by citizen scientists. *Frontiers in Marine Science*. 2023;10:1092939. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1092939>
 15. Karlin L., Shilin M., Eremina T., Ershova A., Suzyumov A. Studying sustainability through the research with the floating university project. In: Leal Filho W. (ed). *Sustainable Development at Universities: New Horizons*. Frankfurt am Main: Peter Lang Scientific Publishers; 2012, p. 723–731.
 16. Ershova A.A., Makeeva I.N., Smolokurov A., et al. Method for monitoring microplastics in water using citizen science: research in the Russian Arctic. St. Petersburg: Russian State Hydrometeorological University (RSHU); 2021. (In Russ.).
 17. Ershova A.A., Tatarenko Yu.A. Sampler for determining the content of microplastics in sea water (HydroPuMP). Utility model patent no. 206110 U1. Publ. date 24 August 2021. (In Russ.).
 18. Makeeva I.N., Ershova A.A. Features of detection of microplastics in bottom sediments. In: *First All-Russian Conference with international participation on environmental pollution with microplastics «MicroPlasticsEnvironment-2022»*. Vol. 1. Tomsk: Tomsk State University Publishing House; 2022, p. 122–125. (In Russ.).
 19. Rezvyi T.V., Belesov A.V., Kozhevnikov A.V. μ IR spectra of microplastic particles on various substrates. Certificate of State Registration of the Database No. 2023621821. Publ. date 05 June 2023. (In Russ.).

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 59.082.2 : 59.087

ББК 28.6с

<https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-56-64>



Автоматизированная система для содержания литоральных моллюсков с имитацией приливно-отливного цикла

Козминский Е.В. ✉, Лезин П.А.

ФГБУН Зоологический институт Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия
✉ ekozminsky@gmail.com

Аннотация. Описан действующий прототип автоматизированной лабораторной установки с имитацией приливно-отливного цикла для содержания литоральных моллюсков. В настоящий момент установка включает две группы из пяти аквариумов. Во время прилива вода самооттеком поступает в аквариумы из общего водонапорного бака; во время отлива самооттеком сливается в общий водосборный бак. Перекачка воды между баками осуществляется специальной помпой. Блок управления установки состоит из объединенных в сеть платы Arduino Mega и двух плат Arduino Nano. С платой Arduino Mega связаны системы контроля параметров окружающей среды, регистрации данных, автоматической замены морской воды и программно реализованная система самопроверки и принятия решений. Одна из плат Arduino Nano отвечает за реализацию приливно-отливного цикла; другая — за дистанционный контроль и управление установкой с помощью SMS. Результаты пилотных экспериментов свидетельствуют о существенном снижении трудозатрат при содержании моллюсков. Разработанная установка может быть использована для содержания широкого спектра литоральных животных: при изучении их биологии, оценке воздействия факторов внешней среды, биотестировании и в образовательных целях.

Ключевые слова: литоральные моллюски, содержание, разведение, автоматизация, цифровые технологии

Конфликт интересов: авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Козминский Е.В., Лезин П.А. Автоматизированная система для содержания литоральных моллюсков с имитацией приливно-отливного цикла. *Арктика и инновации*. 2024;2(1):56–64. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-56-64>

Automated system for intertidal mollusk keeping with tidal cycle imitation

Kozminsky E.V. ✉, Lezin P.A.

Zoological institute of RAS, St. Petersburg, Russia
✉ ekozminsky@gmail.com

Abstract. The article describes a working prototype of an automated laboratory setup for intertidal mollusk keeping with tidal cycle imitation. The setup currently consists of two groups of five aquariums. At high tide, water

is gravity fed into the aquariums from a common water tank; at low tide, water is gravity drained into a common collection tank. Water is transferred between the tanks using a special pump. The control unit consists of a networked Arduino Mega board and two Arduino Nano boards. The Arduino Mega board is responsible for the environmental monitoring systems, data logging, and automatic seawater change, as well as a software-based self-checking and decision-making system. One of the Arduino Nano boards is responsible for realizing the tidal cycle; the other board is responsible for the remote monitoring and control of the setup via SMS. The results of pilot experiments indicate a significant reduction in labor costs in mollusk keeping. The developed setup can be used to keep a wide range of intertidal animals for studying their biology, assessing the impact of environmental factors, and biotesting, as well as for educational purposes.

Keywords: intertidal mollusks, keeping, breeding, automation, digital technologies

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

For citation: Kozminsky E.V., Lezin P.A. Automated system for intertidal mollusk keeping with tidal cycle imitation. *Arctic and Innovations*. 2024;2(1):56–64. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-56-64>

Введение

При проведении научных исследований, требующих содержания животных в лабораторных условиях, нередко приходится сталкиваться с необходимостью поддержания заданных условий среды. Хороший пример, иллюстрирующий это положение, — изучение наследования признаков окраски раковины у брюхоногих моллюсков. Классическим объектом для проведения подобных исследований являются наземные гастроподы, т.к. их относительно просто содержать в лабораторных условиях [1–5]. Однако разнообразие признаков окраски и число задействованных пигментов у изученных в генетическом отношении наземных моллюсков относительно невелико. В связи с этим большой интерес представляет изучение наследования признаков окраски у морских переднежаберных моллюсков и, в частности, у представителей рода *Littorina*, для которых характерно значительно более высокое разнообразие признаков и задействованных пигментов [6–8]. Длительный срок полового созревания в районах с бореальным климатом (3 года [9]) делает крайне сложной постановку классических экспериментов по скрещиванию литторин в естественных условиях: длительность выращивания трех поколений (P , F_1 и F_2) составляет около 10 лет. Поэтому ранее при изучении наследования признаков окраски раковины у этих моллюсков использовалась схема «мать — потомство», которая позволила сформулировать и обосновать ряд гипотез о наследовании признаков окраски у этих моллюсков [3–5, 10, 11]. В то же время часть вопросов осталась нерешенной, т.к. для этого необходима постановка классических экспериментов по скрещиванию моллюсков различных морф.

В ходе проведенных нами исследований было установлено, что в лабораторных условиях за счет «выпадения» зимних периодов и оптимизации условий содержания сроки полового созревания моллюсков можно существенно сократить и уменьшить общую продолжительность исследования примерно до 3-х лет. Однако три года — это также достаточно серьезный срок, т.к. содержание литторин в лабораторных условиях связано со значительными методическими сложностями: необходимостью имитации приливо-отливного цикла, регулярной заменой морской воды, поддержанием оптимальной температуры, режима освещения т.д. Вышеупомянутые проблемы могут быть решены за счет использования современных средств автоматизации, в частности использования микропроцессорной техники. К настоящему моменту нами создан действующий прототип лабораторной установки для содержания моллюсков, описанию которого посвящена настоящая работа.

К настоящему моменту нами создан действующий прототип лабораторной установки для содержания моллюсков, описанию которого посвящена настоящая работа.

Материалы и методы

Работы по созданию установки выполнены на базе Беломорской биологической станции Зоологического института РАН «Картеш» (Кандалакшский залив, Белое море). Разработка и тестирование установки проводились в период с 2019 по 2023 год. Часть элементов установки (аквариумы из оргстекла, светильники, клапаны, переходники

и некоторые другие) была изготовлена в мастерских биостанции; остальное оборудование и расходные материалы приобретены в готовом виде. Для создания деталей аквариумов и механических элементов электронных устройств широко использовались технологии 3D-печати, что обеспечило значительную экономию времени и ресурсов по сравнению с обычными слесарными и токарно-фрезерными работами. Для изготовления деталей использовали биологически инертные полимеры PLA и PETG.

Аквариумы и прочее оборудование были смонтированы в специальном термостатированном помещении на биостанции.

В 2021 и 2022 гг., одновременно с выполнением работ по совершенствованию и модернизации установки, нами были проведены пилотные эксперименты по использованию установки для содержания трех видов литоральных моллюсков: *Littorina saxatilis*, *L. obtusata* и *L. fabalis*. Сбор моллюсков осуществляли на литорали в окрестностях биостанции. Для опытов были отобраны особи с диаметром раковины $3,0 \pm 0,2$ мм (измерения производились под биноклем МБС-10 с помощью окуляр-микрометра). В каждом аквариуме содержалось по 20–25 экз. моллюсков. Кормом служили талломы бурых водорослей *Fucus vesiculosus* и микрообрастания на поверхности помещенных в аквариумы мелких камней. Мы протестировали три различных варианта сочетания субстратов: только водоросли, только камни и водоросли + камни. Мы старались поддерживать в аквариальной температуре $20,0 \pm 2,0$ °C, но ввиду одновременного проведения опытов по использованию различных способов охлаждения помещения реальная температура менялась в более широких пределах. Для содержания животных использовали морскую воду с нормальной беломорской соленостью (24–26 ‰). Для освещения каждой группы аквариумов использовали по две люминесцентные лампы ЛБ40. Продолжительность «дневного» периода составляла 14 ч. Поскольку литторины наиболее интенсивно растут в первой половине лета, в период белых ночей, для имитации естественного освещения в аквариальной была постоянно включена дополнительная лампа ЛБ40. Продолжительность осушки (фаза отлива) составляла 4 часа в сутки. В целом, насколько это возможно, мы ста-

рались придерживаться разработанной нами ранее методики [10].

Результаты и обсуждение

В настоящий момент установка включает в себя две группы из пяти аквариумов. Каждый аквариум представляет собой параллелепипед из оргстекла толщиной 4 мм и размером 20×20×12 см (рис. 1). Для того чтобы избежать выползания моллюсков, аквариумы закрыты крышками с круглым отверстием, затянутым сеткой с размером ячеей 1,0 мм. Крышки фиксируются защелками; посадочные места крышек снабжены неопреновым уплотнением. На крышках предусмотрены установочные места для аэролифтов, датчиков и другого оборудования. В нижней части каждого аквариума расположен патрубок, подключенный к шлангу для подачи и слива воды во время приливно-отливного цикла. Патрубки снабжены съемными фильтрами с размером ячеей 1,0 мм. Морская вода в каждую группу аквариумов (рис. 2а; 3) поступает/сливается по общему шлангу, ограниченному двумя клапанами оригинальной конструкции (верхним и нижним), представляющими собой стандартные пластиковые шаровые вентили, которые открываются с помощью сервоприводов MG995 с крутящим моментом до 10 кг·см (рис. 2б). Во время прилива вода самотеком поступает в аквариумы из общего водонапорного бака; во время отлива самотеком сливается в общий водосборный бак. Для освещения каждой группы аквариумов используются светильники с двумя люминесцентными лампами ЛБ40. Для аэрации воды в аквариумах применяется многоканальный компрессор.

Для автоматизации процесса реализации приливно-отливного цикла и поддержания заданных условий среды мы использовали аппаратно-программную платформу Arduino. Микроконтроллеры этого типа адаптированы для использования самым широким кругом пользователей; для них разработано огромное количество датчиков и исполнительных механизмов. Кроме того, в интернет-сообществе представлено большое количество программ, предназначенных для управления различными периферийными устройствами.

На платформе Arduino разработано большое количество плат как общего назначения, так

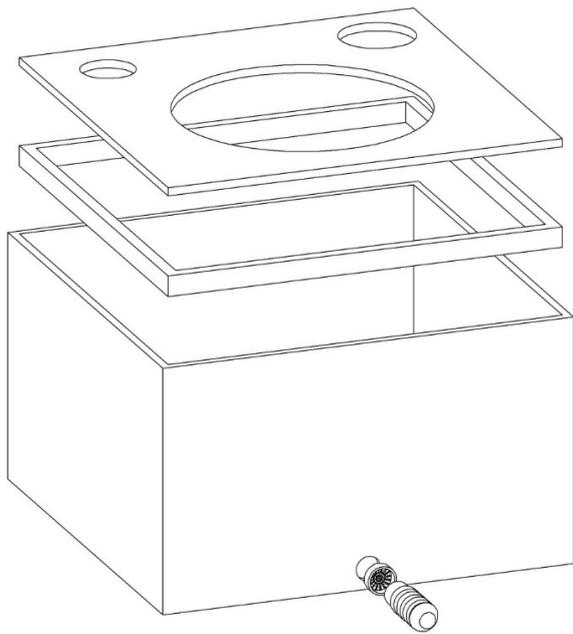


Рис. 1. Устройство и внешний вид отдельного аквариума
Fig. 1. Design and appearance of an aquarium



Рис. 2. Группа аквариумов в ходе эксперимента (a) и сконструированные нами клапаны (b)
Fig. 2. Group of aquariums during the experiment (a) and valves designed by the authors (b)

и узкоспециализированных, ориентированных на решение конкретных задач. Выбор конкретной платы определяется типом и количеством связанных с ней исполнительных устройств, а также сложностью программы. В нашем случае мы использовали платы двух типов: Arduino Nano и Arduino Mega. Подключение исполнительных устройств к плате происходит либо напрямую (если потребляемый ток не превышает 40 мА), либо опосредованно — через электромагнитные или твердотельные реле.

Наиболее важной частью установки является блок управления (рис. 3, БУ), в основу которого положены плата Arduino Mega и две платы Arduino Nano, объединенные в сеть через последовательные порты и обменивающиеся информацией с помощью UART-интерфейса. С платой Arduino Mega связаны система контроля параметров среды и блок принятия решений, система регистрации данных на основе модуля микро-SD-карты и система замены морской воды. Одна из плат Arduino Nano отвечает

за реализацию приливно-отливного цикла; другая — за дистанционный контроль и управление с помощью SMS. В блок управления входят также часы реального времени DS3231 и преобразователи напряжения LM2596, обеспечивающие питание отдельных элементов.

В момент начала отлива плата Arduino Nano замыкает электромагнитное реле SRD-05VDC-SL-C, которое подает напряжение на сервопривод и открывает нижний клапан; вода из аквариумов сливается в водосборный бак (рис. 3, ВСБ). Сходным образом в момент начала прилива открывается верхний клапан, и морская вода поступает в аквариумы из водонапорного бака (рис. 3, ВНБ). Перекачка воды из водосборного в водонапорный бак осуществляется с помощью погружного насоса DC30E, также подключенного через электромагнитное реле. Уровень воды в аквариумах и водонапорном баке контролируется с помощью поплавковых датчиков уровня воды, подключенных к управля-

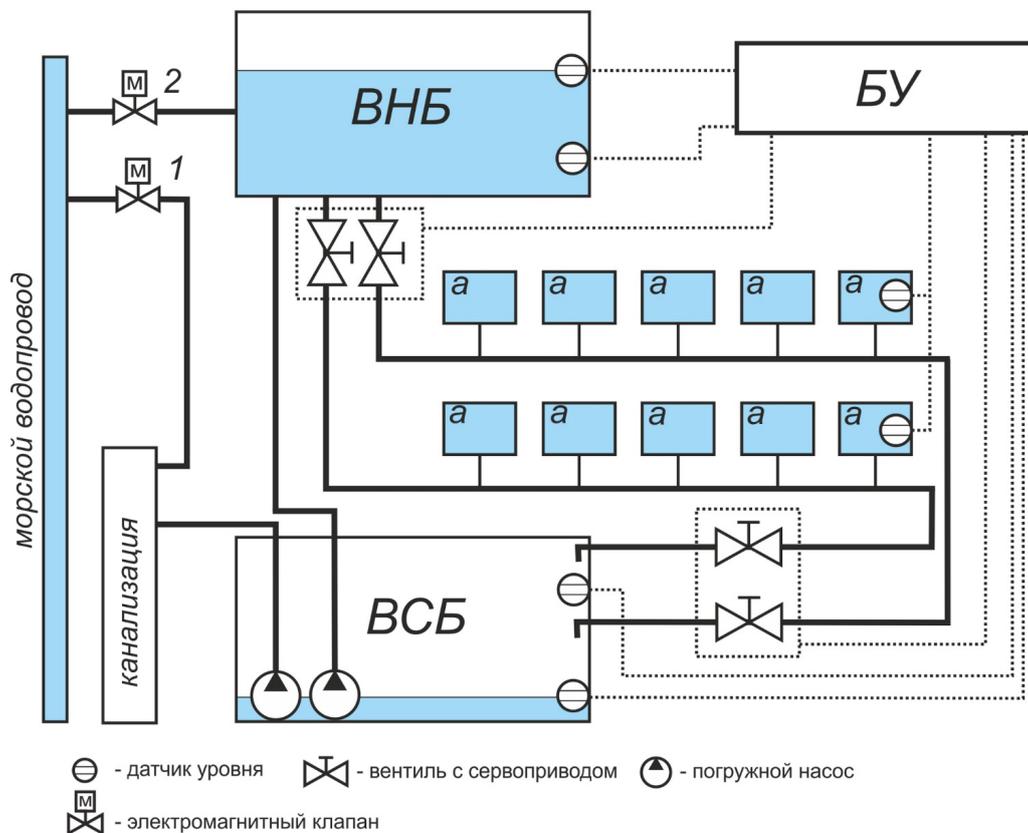


Рис. 3. Блок-схема аквариальной установки

Обозначения: а — аквариумы; БУ — управляющий блок; ВНБ — водонапорный бак; ВСБ — водосборный бак.

Fig. 3. Block diagram of the aquarium setup

Abbreviations: а — aquariums; БУ — control unit; ВНБ — water tank; ВСБ — water collection tank.

щей плате Arduino Nano. Количество воды, поступающей в аквариумы, определяется двумя датчиками уровня (верхним и нижним), расположенными в водонапорном баке. Количество воды, сливаемой из аквариумов, регулируется датчиком уровня, расположенным в последнем аквариуме каждой группы.

Контроль параметров среды осуществляется платой Arduino Mega. Температура воды и воздуха измеряется цифровыми датчиками DC18B20 в герметичном и обычном исполнении, соответственно. Для измерения влажности в аквариальной используются датчики DHT11 и DHT22. Для охлаждения аквариальной и поддержания заданной влажности воздуха предполагалось использовать наружный воздух, закачиваемый втяжным вентилятором, подключенным к управляющей плате через модуль твердотельного реле (5B DC/220V AC). Однако в процессе эксплуатации установки выяснилось, что обычной системы втяжной вентиляции недостаточно для поддержания в аквариальной оптимальной температуры (около 20 °C). Поэтому в дальнейшем для поддержания нужной температуры планируется использовать систему активного кондиционирования воздуха.

Светильники подключены к плате Arduino Mega через твердотельное реле SSR-10DA и включаются/отключаются в заданные моменты времени. Исправность ламп контролируется с помощью модулей с фоторезисторами GL5516.

Аэрация аквариумов осуществляется с помощью многоканального компрессора, подключенного к плате Arduino Mega через твердотельное реле SSR-10DA.

Система регистрации данных реализована на основе модуля микро-SD-карты, подключенного к Arduino Mega и запитанного от отдельного DC-DC преобразователя. Данные, полученные с различных датчиков (температуры, влажности, уровня и т.д.), обрабатываются платой Arduino Mega и записываются на SD-карту в заданные моменты времени.

Система замены морской воды (рис. 3) реализована на базе морского водопровода биостанции, к которому подключена установка, и позволяет производить смену воды

с любой заданной частотой, вплоть до ежедневной. Замена воды происходит в два приема перед началом прилива в каждой группе аквариумов. Сначала с помощью нормально-замкнутого электромагнитного клапана 1 (DC 12V, 0,02–0,8 МПа), сбрасывается в канализацию нагретая и застоявшаяся в трубах морского водопровода вода. Далее с помощью аналогичного электромагнитного клапана 2 закачивается вода в водонапорный бак (рис. 3, ВНБ). Вода закачивается до тех пор, пока верхний датчик уровня в водонапорной емкости разомкнут; поступление воды в систему происходит за счет давления воды в морском водопроводе. Далее с помощью специальной помпы в водосборном баке (рис. 3, ВСБ) из системы откачивается слитая с группы аквариумов во время отлива вода. Откачка воды происходит до тех пор, пока не сработает нормально-замкнутый поплавковый датчик уровня. Клапаны подключены к плате Arduino Mega через электромагнитные реле SRD-05VDC-SL-C, датчики уровня воды — напрямую. Наличие давления в морском водопроводе контролируется датчиком давления (5V, 60psi).

С платой Arduino Mega также связана программно реализованная система самопроверки и принятия решений. Ее функциями являются: 1) контроль возникновения ошибок на основе сравнения информации, полученной с датчиков, с информацией о возможных состояниях системы; 2) принятие решений о внесении изменений в работу установки (например, при отключении электропитания) и некоторые другие. Очевидно, что возможности самопроверки и саморегуляции установки напрямую зависят от количества и разнообразия датчиков — чем они больше, тем более точную диагностику ошибок и более точную коррекцию можно провести.

Вторая из плат Arduino Nano, входящих в состав блока управления, отвечает за дистанционный контроль и управление установкой с помощью SMS. Передача SMS об ошибках и управляющих командах реализована на основе модуля SIM800L, связанного платой Arduino Nano. Заметим, что с помощью этого модуля может быть также организован выход в глобальную сеть Интернет, что в перспективе позволит существенно увеличить возможности обмена данными и управления установкой.

Система электропитания состоит из импульсного источника питания (Lincoiah DC12B, 100 Вт), подключенного к сети переменного тока через источник бесперебойного питания. Отдельные элементы установки подключены к источнику питания через регулируемые преобразователи напряжения LM2596. Наличие ИБП обеспечивает возможность выполнения комплекса минимально необходимых процедур при отключении электропитания.

Для нормального функционирования установки в зимний период должна быть предусмотрена возможность перевода установки на замкнутый цикл с возможностью очистки находящейся в системе морской воды. Теоретически эта проблема не представляется слишком сложной, принимая во внимание обширную литературу на эту тему [12–14]. На практике возможно возникновение чисто технических проблем с созданием системы очистки, учитывая значительные объемы воды в системе и необходимость поддержания приемлемого качества воды в зимний период. С этой проблемой тесно связана еще одна — необходимость выбора показателей, по которым будет контролироваться качество воды. Это очень сложный вопрос, принимая во внимание количество параметров, по которым может оцениваться качество воды. В качестве интегральных характеристик можно использовать, предположительно, электропроводность морской воды и изменение в ее прозрачности или спектре поглощения.

Полученные к настоящему моменту результаты свидетельствуют о существенном снижении трудозатрат при содержании моллюсков: не расходуется время на ручную реализацию приливно-отливного цикла и замену воды в системе, осуществляется автоматический мониторинг условий содержания животных и т.п. Предварительные оценки уровня смертности моллюсков свидетельствуют об отсутствии принципиальных различий по сравнению с ранее полученными (при «ручном» содержании) результатами (порядка 5 % [10]). В перспективе планируется постановка специальных экспериментов для более точной оценки уровня смертности моллюсков при их содержании с использованием установки. Анализ данных по динамике гибели литторин показывает, что наибольшая смертность наблюдалась в моменты, когда температура

содержания моллюсков превышала 22 °С. В ходе опытов обнаружены некоторые различия в пищевых предпочтениях у разных видов. *Littorina obtusata* лучше всего росла при одновременном использовании в качестве субстратов камней и фукусов. Для нормального существования *L. saxatilis* были необходимы камни, в то время как *L. fabalis* можно было содержать только на фукусах. Используемые в установке затапливаемые во время «прилива» крышки позволили избежать проблем с обсыханием и последующей гибелью моллюсков на сетке, которой ранее [10] закрывали аквариумы.

Из числа выявленных проблем следует в первую очередь отметить ограниченный (около двух месяцев) срок существования водорослей *Fucus vesiculosus* в аквариумах, после чего они нуждаются в замене. Одним из возможных решений этой проблемы является увеличение освещенности; однако возможна и периодическая замена водорослей, т.к. фукусы доступны и в зимний период. Напротив, микрообрастания на поверхности камней, по-видимому, успешно воспроизводятся, т.к. крайне маловероятно, чтобы исходного количества микрообрастаний на камнях хватило бы молодым *L. saxatilis* для активного роста в течение нескольких месяцев.

В ходе эксплуатации установки в некоторых аквариумах было отмечено сероводородное заиливание. Так как последнее ввиду высокой токсичности сероводорода может привести к гибели моллюсков, появление чрезмерных количеств сероводорода необходимо контролировать. В настоящий момент этот вопрос остается открытым, т.к. существующие датчики (MQ136) предназначены для обнаружения сероводорода в воздухе, а не в жидкости.

Свидетельств негативного влияния (токсичности) полимеров, использованных при изготовлении деталей установки, не обнаружено. Визуальная проверка под микроскопом деталей установки, изготовленных методом 3D-печати, не выявила признаков их разрушения в ходе эксплуатации и повреждения моллюсками.

В настоящее время существующий прототип установки позволяет с минимальными трудозатратами содержать литторин около полугода. Следует отметить, что в процессе

апробации установки неоднократно отмечался случайный занос животных других систематических групп, в частности ракообразных (*Jaera* sp.), полихет (*Nereis* sp.), немуртин и некоторых других. Их попадание в аквариумы происходило, очевидно, в виде планктонных личинок при замене морской воды. В аквариумах личинки успешно развивались, проходили метаморфоз и вырастали во взрослых животных. Это свидетельствует о том, что разработанная установка может быть использована для содержания широкого спектра литоральных животных. Подобная необходимость возникает во многих случаях: при изучении жизненных циклов животных, выявлении внутривидовой и межвидовой конкуренции, при оценке воздействия на литоральных животных различных факторов среды и биотестировании. Кроме того, установка может быть использована в образовательных целях — при содержании литоральных животных в зоопарках, океанариумах и различных учебных заведениях.

В заключение следует отметить, что полученные результаты показывают, что при содержании литоральных животных в лабораторных условиях с успехом могут быть использованы современные методы автоматизации и циф-

ровые технологии. Их внедрение позволит существенно уменьшить трудозатраты при содержании животных, используемых в качестве модельных объектов при изучении различных биологических процессов, и стандартизировать условия содержания животных, используемых при биоиндикации.

Благодарности

Пользуясь случаем, авторы хотели бы выразить искреннюю признательность сотрудникам Беломорской биологической станции «Картеш» и Зоологического института РАН, оказавшим ту или иную помощь в процессе работы над установкой, в частности инженерам биостанции Курзикову Юрию Николаевичу и Макаренкову Сергею Николаевичу. Работа выполнена при поддержке ГЗ ЗИН РАН АААА-А19-119022690122-5 и 122031100283-9.

Acknowledgments

The authors would like to take this opportunity to express their sincere gratitude to the staff of the White Sea Biological Station “Kartesh” and the Zoological Institute RAS that provided assistance in the work on the setup and, in particular, to biological station engineers Yuri Kurzikov and Sergei Makarenkov. This work was aided by the ZIN RAS State Projects No. АААА-А19-119022690122-5 and No. 122031100283-9.

Список литературы

1. Murray J. The genetics of the Mollusca. In: King R.C., ed. Handbook of Genetics. Vol. 3. Invertebrates of Genetic Interest. New York: Plenum Press; 1975, p. 3–31. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-7145-2_1
2. Backeljau T., Baur A., Baur B. Population and conservation genetics. In: Barker G.M., ed. The biology of terrestrial molluscs. New York: CABI Publishing; 2001, p. 383–412. <https://doi.org/10.1079/9780851993188.0383>
3. Козминский Е.В., Лезин П.А., Фокин М.В. Наследование рисунка из белых пятен на раковине у *Littorina obtusata* (Gastropoda, Prosobranchia). Генетика. 2010;46(12): 1652–1659.
4. Козминский Е.В. Изучение наследования продольных полос на раковине у моллюсков *Littorina obtusata* и *Littorina saxatilis* (Gastropoda, Prosobranchia). Генетика. 2011;47(8):1112–1119.
5. Козминский Е.В. Особенности наследования фоновой окраски раковины у моллюсков *Littorina obtusata* (Gastropoda, Littorinidae). Генетика. 2014;50(10):1177–1187.
6. Lucas M. Pigments in Mollusca. Conchiglia. 1974;(6):5–10.
7. Williams S.T. Molluscan shell colour. Biological Reviews. 2017;92(2):1039–1058. <https://doi.org/10.1111/brv.12268>
8. Козминский Е.В. Описание полиморфизма и классификация признаков окраски раковины у брюхоногих моллюсков на примере *Littorina obtusata* (Gastropoda: Littorinidae). Морской биологический журнал. 2021;6(3):60–77. <https://doi.org/10.21072/mbj.2021.06.3.07>

9. Козминский Е.В. Определение возраста у *Littorina obtusata* (Gastropoda, Prosobranchia). Зоологический журнал. 2006;85(2):146–157.
10. Козминский Е.В., Лезин П.А., Фокин М.В. Методика изучения наследования признаков окраски раковины у моллюсков рода *Littorina* (Gastropoda, Prosobranchia). Зоологический журнал. 2008;87(5):614–619.
11. Козминский Е.В. Наследование продольных белых полос на раковине у моллюсков *Littorina obtusata* (Gastropoda, Prosobranchia). Генетика. 2016;52(8):991–995.
12. Степанов Д.Н. Морской аквариум дома. Москва: Экоцентр – ВНИРО; 1994.
13. Лютц Г. Морской аквариум. Москва: Аквариум-Принт; 2002.
14. Иванов А., Савчук С. Рифовый аквариум. Мариуполь: Рената; 2005.

References

1. Murray J. The genetics of the Mollusca. In: King R.C., ed. Handbook of Genetics. Vol. 3. Invertebrates of Genetic Interest. New York: Plenum Press; 1975, p. 3–31. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-7145-2_1
2. Backeljau T., Baur A., Baur B. Population and conservation genetics. In: Barker G.M., ed. The biology of terrestrial molluscs. New York: CABI Publishing; 2001, p. 383–412. <https://doi.org/10.1079/9780851993188.0383>
3. Kozminskii E.V., Lezin P.A., Fokin M.V. A Study of Inheritance of White Spots on the Shell of *Littorina obtusata* (Gastropoda, Prosobranchia). Russian Journal of Genetics. 2010;46(12):1455–1461. <https://doi.org/10.1134/s1022795410120082>
4. Kozminsky E.V. Inheritance of longitudinal shell bands in the snails *Littorina obtusata* and *Littorina saxatilis* (Gastropoda, Prosobranchia). Russian Journal of Genetics. 2011;47(8):987–993. <https://doi.org/10.1134/s1022795411070118>
5. Kozminsky E.V. Inheritance of the Background Shell Color in the Snails *Littorina obtusata* (Gastropoda, Littorinidae). Russian Journal of Genetics. 2014;50(10):1038–1047. <https://doi.org/10.1134/s1022795414100044>
6. Lucas M. Pigments in Mollusca. Conchiglia. 1974;(6):5–10.
7. Williams S.T. Molluscan shell colour. Biological Reviews. 2017;92(2):1039–1058. <https://doi.org/10.1111/brv.12268>
8. Kozminsky E.V. Specification of polymorphism and classification of shell coloration in gastropods by the example of *Littorina obtusata* (Gastropoda: Littorinidae). Marine Biological Journal. 2021;6(3):60–77. (In Russ.). <https://doi.org/10.21072/mbj.2021.06.3.07>
9. Kozminsky E.V. Determination of age in *Littorina obtusata* (Gastropoda, Prosobranchia). Russian Journal of Zoology. 2006;85(2):146–157. (In Russ.).
10. Kozminsky E.V., Lezin P.A., Fokin M.V. A methodology of studying the inheritance of shell color in mollusks of the genus *Littorina* (Gastropoda, Prosobranchia). Russian Journal of Zoology. 2008;87(5):614–619. (In Russ.).
11. Kozminsky E.V. Inheritance of longitudinal white stripes on the shell of mollusks *Littorina obtusata* (Gastropoda, Prosobranchia). Russian Journal of Genetics. 2016;52(8):882–886. <https://doi.org/10.1134/s1022795416080068>
12. Stepanov D.N. Marine aquarium at home. Moscow: EcoCenter — VNIRO; 1994. (In Russ.).
13. Lutz G. Marine Aquarium. Moscow: Akvarium-Print; 2002. (In Russ.).
14. Ivanov A., Savchuk S. Reef aquarium. Mariupol: Renata; 2005. (In Russ.).

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 37.014

ББК 74.04

<https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-65-70>



Дифференциация качества общего образования в арктических моногородах в оценке участников образовательных отношений

Пунанцев А.А.

ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет», Мурманск,
Россия

✉ punancevartem51@gmail.com

Аннотация. Арктические территории, освоение которых носит очевидный очаговый характер, характеризуются более высокой долей моногородов в общем количестве муниципальных образований по сравнению со значением аналогичного показателя в среднем по стране. Проблема неравномерности развития местностей с преобладанием отдельных монополистов имеет разные сферы проявления, затрагивая в том числе систему образования. Статья обобщает результаты исследования, посвященного изучению дифференциации качества общего образования в арктических моногородах. В ходе данного исследования проанализированы результаты анкетного опроса родителей обучающихся общеобразовательных организаций, расположенных в семи арктических субъектах РФ. На основе сравнения полученных ответов определены сферы, отличающие ситуацию с распределением качества образования в моногородах АЗ РФ от других территорий данного макрорегиона страны.

Ключевые слова: арктические моногорода, качество общего образования, дифференциация качества образования, участники образовательных отношений

Конфликт интересов: автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Пунанцев А.А. Дифференциация качества общего образования в арктических моногородах в оценке участников образовательных отношений. *Арктика и инновации*. 2024;2(1):65–70. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-65-70>

Differentiation of general education quality in single-industry Arctic towns as assessed by educational participants

Punantsev A.A.

Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia

✉ punancevartem51@gmail.com

Arctic territories, whose development is clearly focal in nature, are characterized by a higher proportion of single-industry towns in the total number of municipal divisions as compared to the national average. The uneven development of areas dominated by individual monopolists manifests itself

in different spheres, including the education system. The article summarizes the results of studying the quality differentiation of general education in single-industry Arctic towns. In this study, the author analyzed the results of a questionnaire survey carried out among the parents of students in general education institutions located in seven Arctic regions of the Russian Federation. Through comparison of the received responses, the author identified areas that distinguish the situation with education quality distribution in single-industry towns of the Russian Arctic from other territories of this macroregion.

Keywords: single-industry Arctic towns, general education quality, education quality differentiation, educational participants

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

For citation: Punantsev A.A. Differentiation of general education quality in single-industry Arctic towns as assessed by educational participants. 2024;2(1):65–70. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-65-70>

Минувшее десятилетие (с 2014 года) стало периодом активизации процессов, связанных с законодательным закреплением территориального состава Арктической зоны Российской Федерации [1], институционализации статуса арктических местностей как приоритетных геостратегических территорий страны [2]. Благодаря этим процессам стало возможным рассматривать арктические территории России как единый объект стратегирования и сценарирования, требующий проведения политики стимулирования устойчивого развития и внедрения соответствующих механизмов [3]. Специфика арктических территорий заключается прежде всего в очаговом характере размещения производительных сил, что в том числе отражается и на сети общеобразовательных организаций. Особенно ярко очаговый характер освоения территории проявляется в моногородах — населенных пунктах с преобладанием одного работодателя-монополиста. Согласно распоряжению Правительства Российской Федерации [4], в России функционируют 319 монопрофильных муниципальных образований (моногородов), 14 из которых расположены на территории Арктической зоны РФ. С учетом того что всего в России 20 303 муниципалитета, 147 из которых входят в состав АЗ РФ (по состоянию на 1 января 2021 г.), в Российской Арктике наблюдается более высокая концентрация моногородов по сравнению с остальной территорией страны: их доля в АЗ РФ составляет 9,5 %, в целом в России — 1,6 %.

Как отмечают В. В. Пациорковский, Ю. А. Си-магин и Д. Д. Муртузалиева, «демографическое и социально-экономическое развитие геостратегических арктических территорий требует долгосрочного государственного планирования и контроля происходящих

перемен, нельзя допускать “обезлюдения” геостратегических территорий, равно как и нельзя допускать формирования в них новых моногородов, что в первую очередь касается Арктической зоны РФ и дальневосточных регионов» [5]. Данные исследователи также отмечают связь между появлением моногородов и практикой отраслевого управления в экономике: строительство населенных пунктов этого типа решает задачу максимизации эффекта при минимуме затрат в данный момент времени, что при отсутствии необходимого контроля и регулирования со стороны органов государственной власти может создать риски неравномерного развития соответствующих территорий.

Проблема выравнивания условий развития моногородов Российской Арктики особенно актуальна для социальной сферы и, в частности, для системы образования в контексте реализации Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года, устанавливающей повышение доступности качественного общего образования в качестве одной из приоритетных задач социально-экономического развития арктических территорий [6].

Проблему доступности качественного общего образования представляется целесообразным рассматривать во взаимосвязи с изучением дифференциации территорий АЗ РФ по качеству образования. В рамках данного исследования анализ текущей ситуации с уровнем различий качества общего образования проводился на основании ответов родителей обучающихся семи арктических субъектов РФ (Мурманская и Архангельская области, Ненецкий, Ямало-

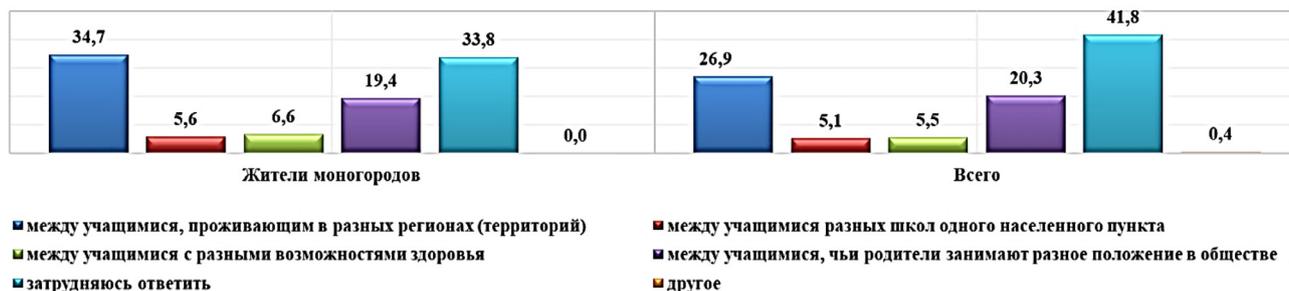


Рис. 1. Распределение ответов на вопрос «Где, на Ваш взгляд, сильнее всего проявляется неравенство в современном школьном образовании?» в группе жителей «моногородов» и всей выборочной совокупности, в процентах

Fig. 1. Percentage distribution of answers to the question “In your opinion, where is inequality most pronounced in modern school education?” in the group of single-industry town residents and the entire sample



Рис. 2. Распределение ответов на вопрос «Как сильно отличается Ваш населенный пункт по качеству школьного образования от других населенных пунктов Вашего региона?» в группе жителей «моногородов» и всей выборочной совокупности, в процентах

Fig. 2. Percentage distribution of answers to the question “How much does your locality differ in the quality of school education from other localities in your region?” in the group of single-industry town residents and the entire sample

Ненецкий и Чукотский автономные округа, Республика Саха (Якутия) и Красноярский край), полученных по результатам анкетного опроса, в котором приняли участие 1500 респондентов, в том числе 319 человек, проживающих в моногородах.

Отвечая на первый вопрос, родители обучающихся определили «зоны риска», в которых, по их мнению, наиболее вероятно возникновение образовательного неравенства (см. рис. 1).

Респонденты, проживающие в «моногородах», чаще других выделяли неравенство между обучающимися, проживающими в разных местностях (34,7 %). Относительное большинство респондентов всей выборочной совокупности (41,8 %) затруднились с ответом на данный вопрос.

При этом большинство (30,9 %) родителей обучающихся школ, расположенных в «моногородах», не видят существенных различий в качестве общего образования по сравнению с другими населенными пунктами

своего региона, что наглядно демонстрирует рисунок 2.

В свою очередь, жители населенных пунктов, не являющихся «моногородами», в большей степени отмечают отличия в лучшую сторону своих населенных пунктов по качеству общего образования (сумма вариантов ответов «отличается значительно в лучшую сторону» и «отличается немного в лучшую сторону» — 30,4 %).

Далее участникам опроса было предложено оценить по 4-балльной шкале вероятность возникновения двух ситуаций.

I. «При наличии возможности я готов(-а) переехать в другой населенный пункт нашего региона, в котором для моего ребенка обеспечивалась бы более высокая доступность качественного школьного образования»;

II. «Если бы такая возможность была, я покинул(-а) бы свой регион ради того, чтобы мой ребенок получал более качественное образование».



Рис. 3. Распределение ответов на вопрос о вероятности смены места проживания в группе жителей «моногородов», жителей других территорий и всей выборочной совокупности, в баллах от 1 до 4

Fig. 3. Distribution of answers to the question about the likelihood of changing the place of residence in the group of single-industry town residents, residents of other territories, and the entire sample, in points from 1 to 4

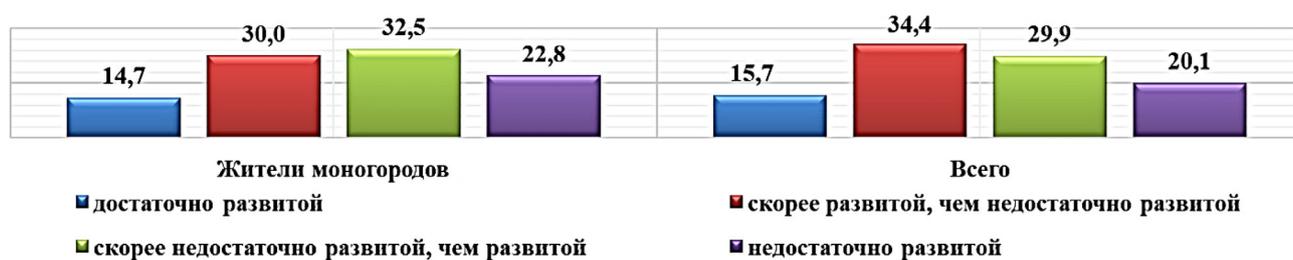


Рис. 4. Распределение ответов на вопрос «Насколько развитой Вы считаете сеть школ с углубленным изучением отдельных предметов в пределах Вашего населенного пункта?» в группе жителей «моногородов» и всей выборочной совокупности, в процентах

Fig. 4. Percentage distribution of answers to the question “In your opinion, how developed is the network of schools with a focus on individual subjects within your locality?” in the group of single-industry town residents and the entire sample



Рис. 5. Распределение ответов на вопрос «Почему Вы не отдали ребенка в более предпочтительную школу?» в группе жителей «моногородов» и всей выборочной совокупности, в процентах

Fig. 5. Percentage distribution of answers to the question “Why didn't you send your child to a more preferable school?” in the group of single-industry town residents and the entire sample

Результаты оценки вероятности возникновения указанных ситуаций показаны на рисунке 3.

По сравнению с жителями других территорий проживающие в «моногородах» родители обучающихся в меньшей склонны к возможной смене как населенного пункта, так и в целом региона.

По сравнению со всеми респондентами жители «моногородов» чаще указывают на недостаточность образовательных организа-

ций с углубленным изучением отдельных предметов на территории своих населенных пунктов — 37,3 % (см. рис. 4).

Родители, которые не считают выбранную школу лучшей из имевшихся на момент поступления альтернатив, указали причины, по которым они не отдали своего ребенка в более предпочтительную школу (см. рис. 5). Среди таких причин самыми распространенными стали удаленность школы от дома (60,8 %), а также отсутствие свободных мест в школе (23,4 %).

На рисунке 5 также показано, что, в отличие от всех остальных респондентов, жители «моногородов» чаще в качестве причин непоступления в предпочтительную школу указывали отсутствие свободных мест в этой школе (37,1 %) и необходимость дополнительных расходов на подготовку к поступлению (11,4 %).

Обобщая полученные результаты исследования, можно сделать вывод о том, что родители обучающихся:

а) уверены в том, что проблема образовательного неравенства является существенной для современной школы; чаще представителей других групп значимость этой проблемы отмечают родители 50 лет и старше, а также респонденты, чьи семьи испытывают значительные экономические трудности; при этом образовательное неравенство проявляется между обучающимися разных регионов, а также теми, чьи родители занимают разное положение в обществе; убежденность в преобладании территориального неравенства в образовании над другими проявлениями неравенства усиливается среди родителей, проживающих в «моногородах»;

б) считают, что на уровень доступности качественного общего образования сильнее всего влияют мотивационные установки обучающегося и его семьи, характер социально-экономического развития региона, уровень информированности родителей о системе образования, а также характеристики самой школы (кадровые, технические, финансовые); при этом на последний из перечисленных факторов жители «моногородов» обращают внимание чаще, чем родители, проживающие на других территориях;

в) полагают, что повысить доступность качественного общего образования можно прежде всего действиями материально-технического характера (увеличение объемов финансирования и обновление инфраструктуры школ), причем жители «моногородов» отдают большее предпочтение этим мерам в сравнении с жителями других местностей;

Проведение представленного и подобных исследований способствуют получению результатов, которые могут стать частью информационно-аналитической базы, обосновывающей решения по реализации стратегической задачи обеспечения доступности качественного образования на арктических территориях.

Список литературы

1. О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 2 мая 2014 г. № 296 [интернет]. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_162553/
2. Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года [интернет]. Режим доступа: https://www.economy.gov.ru/material/directions/regionalnoe_razvitiye/strategicheskoe_planirovaniye_prostranstvennogo_razvitiya/strategiya_prostranstvennogo_razvitiya_rossiyskoy_federacii_na_period_do_2025_goda/
3. Серга Л.К., Зайков К.А., Исмайылова Ю.Н., Максимов М.К., Самотой Н.В. Статистический анализ дифференциации развития регионов Арктической зоны Российской Федерации. Вестник НГУЭУ. 2016;(3):10–25
4. Об утверждении перечня монопрофильных муниципальных образований Российской Федерации (моногородов): Распоряжение Правительства РФ от 29.07.2014 N 1398-р (ред. от 21.01.2020) [интернет]. Режим доступа: <https://mir.midural.ru/sites/default/files/files/1398-r.pdf>
5. Пациорковский В.В., Симагин Ю.А., Муртузалиева Д.Д. Динамика численности населения приоритетных геостратегических территорий России в 2010–2018 гг. Вестник Института социологии. 2021;(2):123–142. <https://doi.org/10.19181/vis.2021.12.2.718>
6. О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года: Указ Президента РФ от 26 октября 2020 г. № 645 [интернет]. Режим доступа: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74710556/>

References

1. On the land territories of the Arctic zone of the Russian Federation: Decree of the President of the Russian Federation of May 2, 2014 No. 296 [internet]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_162553/ (In Russ.).
2. Development strategy of the Russian Federation for the period until 2025 [internet]. Available at: https://www.economy.gov.ru/material/directions/regionalnoe_razvitie/strategicheskoe_planirovanie_prostranstvennogo_razvitiya/strategiya_prostranstvennogo_razvitiya_rossiyskoy_federacii_na_period_do_2025_goda/ (In Russ.).
3. Serga L.K., Zaikov K.A., Ismayilova Yu.N., Maksimov M.K., Samotoy N.V. Statistical analysis of differentiation of development of regions of the Arctic zone of the Russian Federation. Vestnik NSUEM. 2016;(3):10–25. (In Russ.).
4. On approval of the list of single-industry municipalities of the Russian Federation (single-industry towns): Order of the Government of the Russian Federation dated July 29, 2014 No. 1398-r (as amended on January 21, 2020) [internet]. Available at: <https://mir.midural.ru/sites/default/files/files/1398-r.pdf> (In Russ.).
5. Patsiorkovsky V.V., Simagin Yu.A., Murtuzaliev D.D. Population dynamics of priority geo-strategic territories of Russia in 2010-2018. Bulletin of the Institute of Sociology. 2021;(2):123-142. (In Russ.). <https://doi.org/10.19181/vis.2021.12.2>
6. On the Strategy for the development of the Arctic zone of the Russian Federation and ensuring national security for the period until 2035: Decree of the President of the Russian Federation of October 26, 2020 No. 645 [internet]. Available at: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74710556/> (In Russ.).

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 627.2

ББК 39.413

<https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-71-79>



Современные перспективы развития портовой инфраструктуры Северного морского пути

Леонтьева Е.О.^{1,2,✉}, Агафонов С.А.²

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный

гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург, Россия

² ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет

Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия

✉ katerina.leonteva.ol@gmail.com

Аннотация. Современный этап развития Северного морского пути связан с активным развитием портовой инфраструктуры и увеличением грузопотока. Такая динамика развития обусловлена национальными стратегическими приоритетами и поддерживается целевым финансированием проектов. В связи с этим активно развивается административное регулирование и нормативное законодотворчество. Одна из сложностей при реализации инфраструктурных проектов в Арктическом регионе связана с тенденцией деградации многолетнемерзлых грунтов. Система геокриологического мониторинга Арктики позволяет учитывать при реализации проектов состояние криолитозоны.

Ключевые слова: Северный морской путь, СМП, Арктическая зона РФ, Тикси, Найба, Хараулахская бухта, криолитозона, геокриологический мониторинг

Конфликт интересов: авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Леонтьева Е.О., Агафонов С.А. Современные перспективы развития портовой инфраструктуры Северного морского пути. *Арктика и инновации*. 2024;2(1):71–79. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-71-79>

Modern prospects for the port infrastructure development of the Northern Sea Route

Leonteva E.O.^{1,2,✉}, Agafonov S.A.²

¹ Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia

² Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

✉ katerina.leonteva.ol@gmail.com

Abstract. The current development stage of the Northern Sea Route is associated with the active port infrastructure development and an increase in cargo traffic. This development dynamics is attributed to national strategic priorities and targeted funding of projects. In this connection, administrative regulation and regulatory lawmaking are actively developing. One of the difficulties in implementing infrastructure projects in the Arctic region

is related to the trend of permafrost soil degradation. The system of geocryological monitoring of the Arctic allows the state of the permafrost zone to be taken into account when implementing projects.

Keywords: Northern Sea Route, NSR, Russian Arctic zone, Tiksi, Naiba, Kharaulakh Bay, permafrost zone, geocryological monitoring

Conflict of interests:

For citation: 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. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-71-79>

Введение

Освоение и углубленное исследование Арктики определяется происходящими в последние десятилетия глубокими трансформациями во всех сферах мирового сообщества. На фоне глобальной конкуренции за ресурсы и транспортные коммуникации Арктический регион из мировой экономической периферии превращается в зону пристального внимания многих стран мира. В XXI в. Россия продолжает уделять особое внимание государственной политике управления Арктической зоной.

Условия Крайнего Севера имеют ряд особенностей, которые необходимо учитывать при развитии инфраструктуры. Это: обширная территория, наличие криолитозоны, суровые и экстремальные природно-климатические условия. Для преодоления суровых условий и гармоничного функционирования экономических субъектов в регионе проводится политика, направленная на инновационную инфраструктурную модернизацию. Ключевой задачей, требующей решения для обеспечения устойчивого развития Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ), является преодоление ограничений инфраструктуры арктической транспортной системы — Северного морского пути (СМП) [1].

СМП следует понимать шире, чем просто «национальная транспортная магистраль России в Арктике». Ввиду большого количества субъектов и их разнообразных взаимодействий, multifunctionality объектов СМП Северный морской путь можно охарактеризовать как важнейшую комплексную структуру Арктической транспортной системы Российской Федерации. Постановлением Правительства РФ от 20 декабря 2017 г. № 1596 была утверждена государственная программа «Развитие транспортной системы», а в ее рамках был предусмотрен федеральный проект «Северный морской путь», рассчитанный до 2024 г.

Северная транспортная коммуникация складывалась исторически поэтапно. Считается, что первым идею возможного установления морского сообщения между Россией и Китаем высказал русский дипломат Дмитрий Герасимов в 1525 году [2]. М.В. Ломоносов описал свои предположения о возможности прохода из Атлантического океана в Тихий через Север в книге «Краткое описание разных путешествий по северным морям и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию» (1762–1763). В 1764 г. появился документ «О северном мореплавании на Восток по Сибирскому океану» с инструктивным описанием «морским командующим офицерам». Предположения М.В. Ломоносова о возможности активного использования СМП подтвердились по результатам отечественных и зарубежных экспедиций XVIII–XX вв. [3].

В настоящий момент СМП представляет собой крупнейшую национальную транспортную сеть, объединяющую комплекс транспортных средств морского и речного флота, авиации, трубопроводного, железнодорожного и автомобильного транспорта, а также береговой портовой инфраструктуры, навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения [4].

Развитие СМП и инфраструктуры Арктики в целом связано с современными геополитическими условиями и национальными экономическими потребностями (рис. 1). В связи с этим активно развивается национальное нормативно-правовое регулирование деятельности в Арктическом регионе.

В целях установления национальной политики Указом Президента РФ от 5 марта 2020 г. №164 были утверждены Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года. Для реализации государственной политики в Арктике был разработан единый план

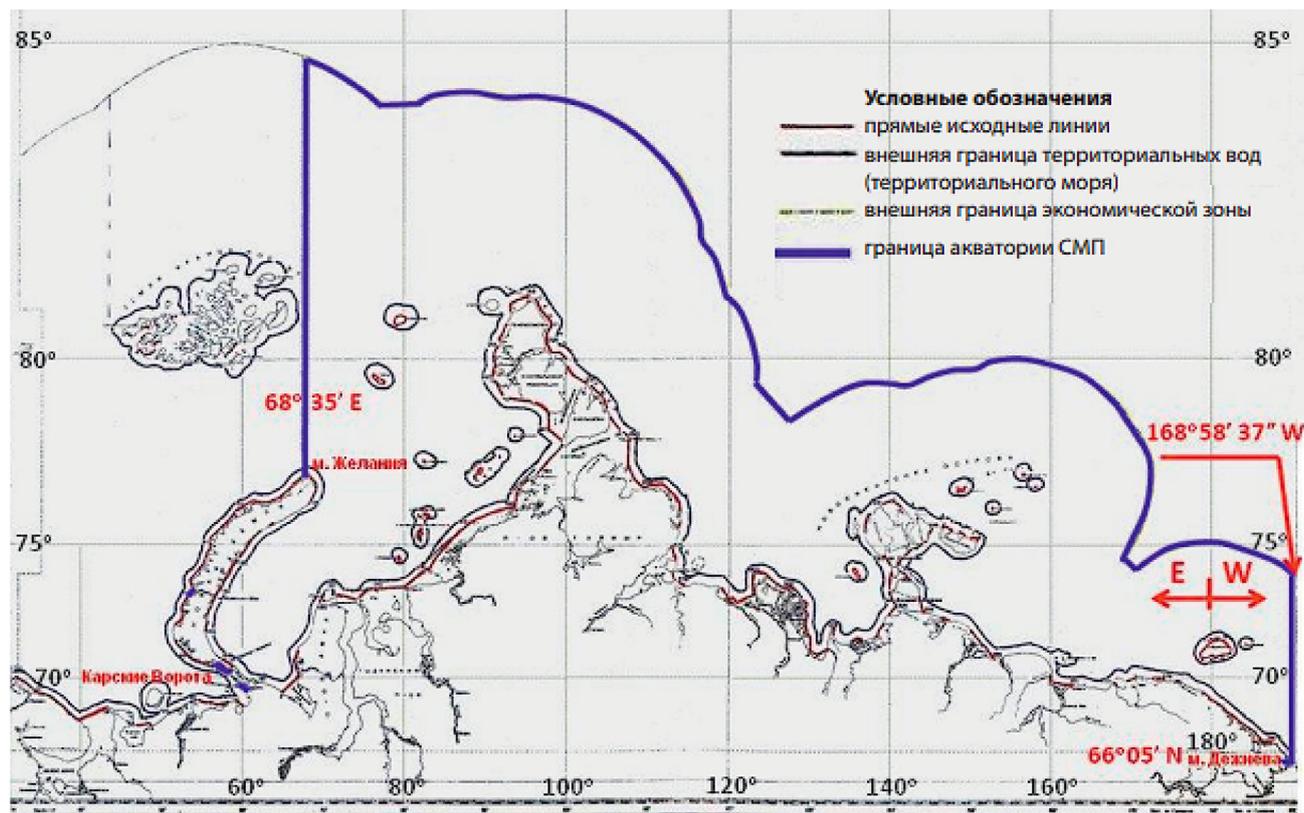


Рис. 1. Акватория Северного морского пути

Источник: Российский совет по международным делам: аналитическая записка <https://russiancouncil.ru/upload/NorthernSeaRoute-Policybrief9-ru.pdf?ysclid=lscy5kh6i6603123902> [5]

Fig. 1. Water area of the Northern Sea Route

Source: Russian International Affairs Council: analytical note <https://russiancouncil.ru/upload/NorthernSeaRoute-Policybrief9-ru.pdf?ysclid=lscy5kh6i6603123902> [5]

мероприятий до 2035 года. Также Правительством РФ 15 апреля 2021 г. была утверждена Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года.

Однако, несмотря на быстрое развитие Арктического региона и активное нормотворчество, все еще есть правовые неопределенности по важнейшим понятиям, таким как Арктика, Арктическая зона Российской Федерации, Российская Арктика, Крайний Север. В настоящий момент авторы часто употребляют указанные концепты без четкого понимания их смысла и границ применения. Тем не менее понятие «Арктическая зона Российской Федерации» было введено еще Государственной комиссией при Совете Министров СССР по делам Арктики от 22 апреля 1989 года [6].

Федеральный закон (ФЗ) «О развитии Арктической зоны Российской Федерации»

или «Об Арктической зоне РФ» до сих пор не принят, но Указом Президента РФ от 2 мая 2014 г. № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» определены сухопутные территории АЗРФ.

Особенности развития населенных пунктов и портовой инфраструктуры в АЗРФ

Правительство РФ работает над созданием инфраструктуры СМП. Приоритетом обозначено обеспечение безопасной логистики, в том числе в интересах коренных народов и жителей Крайнего Севера. Качественная портовая инфраструктура будет способствовать привлечению инвесторов и реализации крупных инвестиционных проектов.

Для реализации этих целей распоряжением Правительства РФ от 1 августа 2022 г.

№ 2115-р утвержден план развития СМП на период до 2035 г., в котором определен объем средств и источники финансового обеспечения мероприятий, проектов и объектов капитального строительства, прогнозируемый объем грузопотока по СМП (рис. 2).

Также распоряжением Правительства РФ от 28 ноября 2023 г. №3377-р утвержден перечень опорных населенных пунктов (муниципальных образований) Арктической зоны РФ, в том числе выполняющих функции по обеспечению национальной безопасности и (или) функции базы для развития минерально-сырьевых центров, реализации экономических и (или) инфраструктурных проектов в Арктике. Выделено 9 регионов,

16 агломераций и 27 муниципальных образований и городских округов.

Опорные субъекты визуально могут быть представлены в виде многоступенчатого списка.

1. Республика Карелия

- 1) Кемско-Беломорская агломерация
 - 01) Муниципальное образование «Кемский муниципальный район»
 - 02) Муниципальное образование «Беломорский муниципальный район»

2. Республика Коми

- 2) Агломерация Воркуты
 - 03) Муниципальное образование городского округа «Воркута»

Прогнозируемый объем грузопотока по Северному морскому пути*

(млн тонн)

Наименование проекта	Грузоотправитель	2023 год	2024 год	2025 год	2026 год	2027 год	2028 год	2029 год	2030 год	2031 год	2032 год	2033 год	2034 год	2035 год
Новый Порт	публичное акционерное общество "Газпром нефть"	6,14	5,56	4,71	4,38	4,05	3,73	3,46	3,14	2,86	2,64	2,43	2,25	2,09
Восток Ойл	публичное акционерное общество "Нефтяная компания "Роснефть"	-	30	35	40	50	65	80	100	100	100	100	100	100
Ямал СПГ	публичное акционерное общество "НОВАТЭК"	20	19,7	19,9	19,3	19,4	19,7	20	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
Арктик СПГ-1	публичное акционерное общество "НОВАТЭК"	-	-	-	-	2,3	7	13,1	17,9	21	21,2	21,6	21,6	21,5
Арктик СПГ-2	публичное акционерное общество "НОВАТЭК"	3,6	12,6	14,4	21,2	21,6	21,6	21,5	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4
Обский ГХК	публичное акционерное общество "НОВАТЭК"	-	0,6	5,1	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
Норильский никель	публичное акционерное общество "Горно-металлургическая компания "Норильский никель"	0,96	0,96	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
Сырадасайское месторождение	общество с ограниченной ответственностью "Северная звезда"	1,8	3,5	5,3	7	7	7	12	12	12	12	12	12	12
Баимское месторождение	общество с ограниченной ответственностью "Горнодобывающая компания Баимская"	-	-	-	-	0,34	1,13	1,35	1,38	1,26	1,05	1,28	1,24	1,01
Прочие проекты		0,3	0,31	0,31	0,31	0,44	0,78	0,78	0,77	0,77	0,77	0,76	0,76	0,75
Прочее (грузы обеспечения, "северный завоз", транзит)		14,02	16,78	24,41	25,92	28,4	32,37	34,07	34,08	39,89	44,99	50,1	53,28	53,58
Итого		46,82	90,01	110,21	124,39	139,81	164,59	192,54	216,45	224,96	229,83	235,35	238,31	238,11
Целевой показатель		-	80**	-	-	-	-	-	150***	-	-	-	-	220

* Прогнозируемый объем грузопотока подлежит уточнению по результатам выполнения позиции 1.1.1 плана развития Северного морского пути на период до 2035 года, утвержденного распоряжением Правительства Российской Федерации от 1 августа 2022 г. N 2115-р.

** В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. N 204 "О национальных целях и задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года".

*** В соответствии с утвержденными целевыми показателями стратегической инициативы "Круглогодичный Севморпуть".

Рис 2. Прогнозируемый грузопоток по Северному морскому пути в 2023–2035 гг. в соответствии с приложением к плану развития Северного морского пути на период до 2035 года

Источник: Официальный сайт Правительства РФ. <http://static.government.ru/media/files/StA6ySKbBceANLRA6V2sF6wbOKSyxNzw.pdf> [7]

Fig. 2. Forecasted cargo traffic along the Northern Sea Route in 2023–2035 in accordance with the appendix to the Northern Sea Route development plan for the period until 2035

Source: Official website of the Government of the Russian Federation. <http://static.government.ru/media/files/StA6ySKbBceANLRA6V2sF6wbOKSyxNzw.pdf> [7]

3. Республика Саха (Якутия)

- 3) Тикси-Найба
- 04) Муниципальное образование «Булунский улус (район)» Республики Саха (Якутия)

4. Красноярский край

- 4) Агломерация Норильск — Дудинка
- 05) Городской округ «город Норильск» Красноярского края
- 06) Городское поселение «город Дудинка» Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района Красноярского края
- 5) Диксон
- 07) Городское поселение «Диксон» Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района Красноярского края
- 6) Игарка
- 08) Муниципальное образование «город Игарка»
- 09) Населенные пункты муниципального образования «Туруханский район»

5. Архангельская область

- 7) Архангельская агломерация
- 10) Городской округ «Город Архангельск»
- 11) Городской округ Архангельской области «Северодвинск»
- 12) Городской округ Архангельской области «Город Новодвинск»

6. Мурманская область

- 8) Мурманская агломерация
- 13) Муниципальное образование «городской округ город-герой Мурманск»
- 14) Городской округ «закрытое административно-территориальное образование город Североморск Мурманской области»
- 15) Муниципальное образование «Кольский муниципальный район Мурманской области»
- 9) Кировско-Апатитская агломерация
- 16) Муниципальное образование «муниципальный округ город Кировск» с подведомственной территорией Мурманской области
- 17) Муниципальное образование «муниципальный округ город Апатиты» с подведомственной территорией Мурманской области
- 10) Мончегорская агломерация
- 18) Муниципальный округ «город Мончегорск» с подведомственной территорией Мурманской области

7. Ненецкий автономный округ

- 11) Агломерация Нарьян-Мара
- 19) Муниципальное образование «Городской округ «Город Нарьян-Мар»

8. Чукотский автономный округ

- 12) Певек
- 20) Городской округ Певек
- 13) Агломерация Анадыря
- 21) Городской округ Анадырь
- 22) Городской округ Эгвекинот Чукотского автономного округа
- 23) Анадырский муниципальный район

9. Ямало-Ненецкий автономный округ

- 14) Новый Уренгой
- 24) Муниципальное образование «город Новый Уренгой»
- 15) Агломерация Салехард — Лабытнанги
- 25) Муниципальное образование город «Салехард»
- 26) Муниципальное образование «Городской округ «Город Лабытнанги» Ямало-Ненецкого автономного округа
- 16) Ноябрьск
- 27) Муниципальное образование «город Ноябрьск»

Строительство новых объектов или модернизация имеющейся портовой инфраструктуры, как правило, связаны с планами по реализации масштабных инвестиционных проектов по добыче или переработке ископаемых ресурсов. Это обеспечит загрузку планируемых портовых мощностей [8].

Распоряжением от 27 мая 2023 года №1373-р Правительство РФ расширило перечень морских портов, открытых для захода иностранных судов, и включило в этот перечень порт Тикси. Таким образом, этот порт, расположенный на побережье моря Лаптевых на севере Якутии, становится международным.

Для обеспечения судозахода, создания новых перевалочных мощностей и, как следствие, для увеличения грузооборота до 30 млн т в год необходимо строительство глубоководного морского терминала в районе села Найба. Для этого требуется расширить границы порта Тикси и построить новый глубоководный морской терминал в Хараулахской бухте. В настоящее время глубина в порту Тикси — около 5,8 м. Крупные морские суда не имеют возможности захода в порт и разгружаются

на рейде. Реализация проекта обеспечит наличие полноценного морского хаба к востоку от Таймыра.

Необходимость нового портового строительства также связана с осуществлением завоза продукции (товаров) в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности. Для реализации этой функции в том числе принят новый ФЗ «О северном завозе» от 04.08.2023 № 411-ФЗ, дата вступления в силу с 1 апреля 2024 года. Новая инфраструктура позволит улучшить снабжение социально значимыми товарами территории Якутии. Также этот порт станет одним из первых круглогодичных глубоководных морских портов в восточной части СМП.

Стратегическое значение развития арктических территорий сложно переоценить. Арктика сегодня — не только территория национальных интересов, но и место притяжения международного внимания.

Вместе с тем Арктика представляет собой комплекс уникальных экосистем, а с развитием инфраструктурных проектов, в том числе портовых, антропогенная нагрузка на них возрастает. Ряд экспертов считает, что 40 % территории Арктики не следует задействовать в хозяйственной деятельности для сохранения общего экологического баланса. Эти территории следует резервировать под природные экологические заповедники, которые могут стать зонами непрерываемых маршрутов миграций диких северных оленей [9].

Учет специфики деградации многолетнемерзлых грунтов в АЗРФ при портостроительстве

При реализации портового объекта в Хараулахской бухте в Якутии необходимо учитывать специфику Арктического региона. 90 % территории Республики Саха расположено на многолетнемерзлых грунтах [10].

Группа исследователей (В. Т. Балобаев, Ю. Б. Скачков, Н. И. Шендери др.) из Института мерзлотоведения СО РАН в 2008 году опубликовали прогноз изменения климата и мощности мерзлых пород Центральной Якутии до 2200 года в рамках Проекта исследования криолитозоны Восточной Сибири. В результате проведенных работ исследователи сделали вывод о том, что в криолитозо-

не современное потепление незначительно повлияло на тепловое состояние мерзлых пород. Однако влажностный режим пород деятельного слоя изменился значительно. Это связано с повышением температуры воды океана, вследствие чего увеличилось испарение и водонасыщенность атмосферы. Выросло количество осадков и в криолитозоне. Это привело к очень серьезным последствиям: тонкий сезонно-талый слой перенасытился водой, и его несущая способность сильно упала. «Поплыли» все дороги, началось заболачивание равнинных территорий, сокращается ареал развития хвойных лесов. При зимнем промерзании насыщенного водой сезонно-талого слоя происходит сильное поднятие поверхности, вместе с которой, соответственно, поднимаются объекты жизнеобеспечения и промышленности. Неравномерное поднятие приводит к деформациям и разрушениям не закрепленных в мерзлоте наземных сооружений. Последствия потепления климата, выраженные в увеличении количества атмосферных осадков, уже сейчас ощущаются очень остро и требуют изменения технических и технологических норм строительства и эксплуатации сооружений [11].

В 2022 году группой экспертов была предложена схема организации федерального мониторинга мерзлоты на основе создания системы федеральных геокриологических полигонов. Предложенная система сочетает в себе два вида мониторинга: фоновый природный государственный мониторинг и геотехнический мониторинг земле- и недропользования. В ближайшей перспективе геотехнический мониторинг мерзлоты может стать обязательным для объектов, находящихся в зоне вечной мерзлоты. Методики геотехнического мониторинга мерзлоты у субъектов различные, причем часто в них не учитываются фоновые значения. В целом геокриологический мониторинг природных условий в РФ ведется в недостаточном объеме [12].

Возможности снижения антропогенного воздействия при реализации инфраструктурных объектов в Арктике

Так как освоение территорий АЗРФ началось достаточно давно, в настоящий момент кроме устранения недостаточности сооружений портовой и логистической

инфраструктуры есть необходимость в модернизации объектов в населенных пунктах. Новое строительство в Арктической зоне затруднено в том числе из-за сложности доставки строительных материалов, короткого периода проведения строительно-монтажных работ, а также сложных климатических условий. Таким образом, возникает целесообразность применения технологий строительства быстровозводимых зданий и сооружений — крупноблочных или модульных [13, 14]. Решением такой задачи может являться применение отечественной системы крупноблочного домостроения из древесины перекрестно-клееной (ДПК) (Cross-Laminated Timber — CLT), разработанной ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»». Широкое внедрение деревянного домостроения, основанное на значительном прогрессе в области технологий производства, совершенствование методик расчета и конструирования, а также накопленный к настоящему времени опыт строительства и эксплуатации зданий и сооружений различной степени сложности из древесины и ее производных позволяют не только решить задачу формирова-

ния среды для жизнедеятельности человека и общества, но и обеспечить устойчивое развитие, предполагающее снижение негативного антропогенного воздействия в рамках природно-технических систем (ПТС) посредством применения экологичных и возобновляемых строительных материалов, к которым относится древесина [15–17].

Заключение

Развитие Северного морского пути является одним из приоритетных направлений реализации эколого-экономического потенциала России. Несмотря на суровые климатические условия, в регионе в целом складываются условия, благоприятствующие строительству новой портовой инфраструктуры. Однако при реализации проектов следует учитывать состояние криолитозоны, проводить геотехнический мониторинг вечномерзлых грунтов и брать в расчет данные геокриологического мониторинга. Снижения антропогенного воздействия можно добиваться в том числе путем использования при реализации инфраструктурных проектов экологичных материалов.

Список литературы

1. Зайков К.С., Кондратов Н.А., Липина С.А., Бочарова Л.К. Организационные механизмы реализации политики России в Арктике в XXI в. *Арктика и Север*. 2020;(39):75–109. <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2020.39.75>
2. Митько А.В. Развитие инфраструктуры портов Арктического бассейна Российской Федерации на ближайшую перспективу. *Транспорт России: проблемы и перспективы* — 2021. Материалы Международной научно-практической конференции. Т. 1. Санкт-Петербург: Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН; 2021, с. 38–42.
3. Балеева В.А. Проект М.В. Ломоносова об изыскании высокоширотного варианта Северного морского пути. В: *Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения*. Материалы международной конференции. Архангельск: Институт экологических проблем Севера УрО РАН; 2002, с. 262–266.
4. Развитие инфраструктуры Северного морского пути как элемента единой Арктической транспортной системы России [интернет]. Режим доступа: <http://council.gov.ru/media/files/OSyfvhjATLDCjHeXRgdwxDMD1617jT.pdf> (дата обращения: 08.02.2024).
5. Боброва Ю.В. Северный морской путь: национальный правовой режим в меняющемся международном контексте. Аналитическая записка. Российский совет по международным делам [интернет]. 2016;(9). Режим доступа: <https://russiancouncil.ru/upload/NorthernSeaRoute-Policybrief9-ru.pdf?ysclid=lscy5kh6i6603123902> (дата обращения: 08.02.2024).
6. Лукин Ю.Ф. Российская Арктика или Арктическая зона. *Арктика и Север*. 2016;(23): 171–185. <https://doi.org/10.17238/issn2221-2698.2016.23.171>
7. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 01.08.22 №2115-р «Об утверждении плана развития Северного морского пути на период до 2035 г.» [интернет]. Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/StA6ySKbBceANLRA6V2sF6w-bOKSyxNzw.pdf> (дата обращения: 08.02.2024).

8. Елисеев Д.О., Наумова Ю.В. Инфраструктурные проблемы и перспективы развития Северного морского пути. *Modern EconomySuccess*. 2021;(5):134–141.
9. Chaika E. Formation of Reference Points of the Northern Latitudinal Transport Corridor. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2020;(3):265–276. <https://doi.org/10.24411/1998-4839-2020-15215>
10. Лоскин М. И. Устойчивость гидромелиоративных объектов Республики Саха (Якутия) в условиях изменения климата. В: Устойчивость природных и технических систем криолитозоны в условиях изменения климата. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 150-летию М.И. Сумгина. Якутск: Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН; 2023, с. 120–122.
11. Балобаев В.Т., Скачков Ю.Б., Шендер Н.И. Прогноз изменения климата и мощности мерзлых пород Центральной Якутии до 2200 года. *География и природные ресурсы*. 2009;(2):50–56.
12. Мельников В.П., Осипов В.И., Брушков А.В., Алексеев А.Г., Бадина С.В., Бердников Н.М., [и др.]. Развитие геокриологического мониторинга природных и технических объектов в криолитозоне Российской Федерации на основе систем геотехнического мониторинга топливно-энергетического комплекса. *Криосфера Земли*. 2022;26(4): 3–18. <https://doi.org/10.15372/kz20220401>
13. Дементьев Н.М., Волкодав В.А., Волкодав И.А., Титова И.Д. Перспективы развития и нормирования модульного строительства в России с учетом зарубежного опыта. *Инженерный вестник Дона* [интернет]. 2023;(4). Режим доступа: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_37_3_dementyev_volkodav.pdf_ad2abo95ed.pdf
14. Турковский С. Б., Погорельцев А.А. Новая конструктивная система крупноблочного домостроения из клееной древесины. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2021;28(1):55–62. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-1\(28\)-55-62](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-1(28)-55-62)
15. Погорельцев А.А., Пятикрестовский К.П. Дальнейшее развитие и совершенствование норм проектирования конструкций из древесины. *Промышленное и гражданское строительство*. 2019;(3):35–41. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2019.03.35-41>
16. Коновалов М. А., Козинец Г.Л. Алгоритм разработки расчетной модели деревянного многоэтажного здания. *Вестник МГСУ*. 2022;17(4):463–475. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.4.463-475>
17. Kozinets G.L., Chernov P.V., Kolotvina N.S. Continued monitoring of timber structures. В: Устойчивое строительство. Труды Международного семинара. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого; 2021, с. 21–31. <https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/id21-36>

References

1. Zaikov K.S., Kondratov N.A., S.A. Lipina S.A., Bocharova L.K. Organizational mechanisms for implementing Russia's Arctic strategy in the 21st century. *Arctic and North*. 2020;(39):75–109. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2020.39.75>
2. Mitko A.V. Development of infrastructure of ports of the Arctic basin of the Russian Federation in the near future. In: *Transport of Russia: problems and prospects — 2021. Materials of the International Scientific and Practical Conference*. Vol. 1. St. Petersburg: Institute of Transport Problems named after. N.S. Solomenko RAS; 2021, p. 38–42. (In Russ.).
3. Baleeva V.A. Project M.V. Lomonosov on the search for a high-latitude version of the Northern Sea Route. In: *Ecology of the northern territories of Russia. Problems, situation forecast, development paths, solutions. Proceedings of the international conference*. Arkhangelsk: Institute of Environmental Problems of the North, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 2002, p. 262–266. (In Russ.).
4. Development of the infrastructure of the Northern Sea Route as an element of the unified Arctic transport system of Russia [internet]. Available at: <http://council.gov.ru/media/files/OSyfvhj-7jATLDcjHeXRgdwxDMDi6r7jT.pdf> (accessed 02 August 2024) 08 February 2024. (In Russ.).
5. Bobrova Yu.V. Northern Sea Route: national legal regime in a changing international context. Analytical note. Russian Council on International Affairs [internet]. 2016;(9). Available at: <https://russiancouncil.ru/upload/NorthernSeaRoute-Policybrief9-ru.pdf?ysclid=lscy5kh6i6603123902> (accessed 02 August 2024) 08 February 2024. (In Russ.).

6. Lukin Yu.F. Russian Arctic or Arctic zone. *Arctic and North*. 2016;(23):171–185. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn2221-2698.2016.23.171>
7. Order of the Government of the Russian Federation dated 01.08.22 No. 2115-r “On approval of the development plan of the Northern Sea Route for the period until 2035” [internet]. Available at: <http://static.government.ru/media/files/StA6ySKbBceANLRA6VzsF6wbOKSyxNzw.pdf> (accessed 02 August 2024) 08 February 2024. (In Russ.).
8. Eliseev D. O., Naumova Yu.V. Infrastructural problems and prospects for the development of the Northern Sea Route. *Modern Economy Success*. 2021;(5):134–141. (In Russ.).
9. Chaika E. Formation of Reference Points of the Northern Latitudinal Transport Corridor. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2020;(3):265–276. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/1998-4839-2020-15215>
10. Loskin M.I. Stability of irrigation and drainage facilities of the Republic of Sakha (Yakutia) under climate change conditions. In: *Stability of natural and technical systems of the permafrost zone under climate change conditions. Materials of the All-Russian conference with international participation dedicated to the 150th anniversary of M.I. Sumgin*. Yakutsk: Institute of Permafrost Studies named after. P.I. Melnikov SB RAS; 2023, p. 120–122. (In Russ.).
11. Balobaev V.T., Skachkov Yu.B., Shender N.I. Forecasting climate changes and the permafrost thickness for Central Yakutia into the year 2200. *Geography and Natural Resources*. 2009;30(2):141–145. <https://doi.org/10.1016/j.gnr.2009.06.009>
12. Melnikov V.P., Osipov V.I., Brushkov A.V., Alekseev A.G., Badina S.V., Berdnikov N.M., [et al.]. Development of geocryological monitoring of natural and technical facilities in the regions of the Russian Federation based on geotechnical monitoring systems of fuel and energy sector. *Earth's Cryosphere*. 2022;26(4):3–18. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/kz20220401>
13. Dementyev N.M., Volkodav V.A., Volkodav I.A., Titova I.D. Prospects for the development and regulation of modular construction in Russia, taking into account foreign experience. *Engineering Journal of Don* [internet]. 2023;(4). Available at: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_37__3_dementyev_volkodav.pdf_ad2abo95ed.pdf (In Russ.).
14. Turkovskiy S.B., Pogoreltsev A.A. A new structural system for large-block house construction made of laminated wood. *Bulletin of Scientific Research Center 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)
15. Pogoreltsev A.A., Pyatikrestovskiy K.P. Further development and improvement of design standards for wood structures. *Industrial and Civil Engineering*. 2019;(3):35–41. (In Russ.). <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2019.03.35-41>
16. Konovalov M. A., Kozinets G. L. Algorithm for developing a computational model of a wooden multi-story building. *Bulletin of MGSU*. 2022;17(4):463–475. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.4.463-475>
17. Kozinets G.L., Chernov P.V., Kolotvina N.S. Continued monitoring of timber structures. In: *Sustainable construction. Proceedings of the International Seminar*. St. Petersburg: Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; 2021, p. 21–31. (In Russ.). <https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/id21-36>

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 504.423

ББК28.080

<https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-80-83>



Современное состояние природных вод и донных отложений южной части Кольского залива

Царькова Н.С.^{1,✉}, Григорьев С.С.¹, Иванов И.М.¹,
Осинцев В.Н.²

¹ООО «Эко-Экспресс-Сервис», Санкт-Петербург, Россия

²ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург, Россия

✉ carkova@ecoexp.ru

Аннотация. В данной работе представлены результаты исследований водной экосистемы Кольского залива Баренцева моря в 2022 г. С помощью стандартных методов определены концентрации основных химических показателей. Рассмотрены основные изменения полученных показателей в зависимости от сезона.

Ключевые слова: Кольский залив, гидрохимический состав, сезонная динамика

Конфликт интересов: авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Царькова Н.С., Григорьев С.С., Иванов И.М., Осинцев В.Н. Современное состояние природных вод и донных отложений южной части Кольского залива. *Арктика и инновации*. 2024;2(1):80–83. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-80-83>

Current state of natural waters and bottom sediments in the southern part of Kola Bay

Tsarkova N.S.^{1,✉}, Grigoriev S.S.¹, Ivanov I.M.¹, Osintsev V.N.²

¹“Eco-Express-Service” LLC, Saint Petersburg, Russia

²Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia

✉ carkova@ecoexp.ru

Abstract. The article presents the results of studying the aquatic ecosystem of Kola Bay in 2022. The concentrations of the main chemical parameters were determined using standard methods. The main changes in the obtained results depending on the season are considered.

Keywords: Kola Bay, hydrochemical composition, seasonal dynamics

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

For citation: Tsarkova N.S., Grigoriev S.S., Ivanov I.M., Osintsev V.N. Current state of natural waters and bottom sediments in the southern part of Kola Bay. *Arctic and Innovations*. 2024;2(1):80–83. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-80-83>

Введение

Проблема сохранения окружающей среды, рационального использования природных ресурсов, в первую очередь водных, является одной из первостепенных. Ухудшение экологической ситуации — следствие активной хозяйственной деятельности, сопровождающейся угнетением сложившейся экосистемы, нерациональным использованием добываемых ресурсов, накоплением отходов, приводящих к загрязнению [1–3].

Южная часть Кольского залива является объектом прессинга хозяйственной деятельности, в состав которой входят прежде всего сброс промышленных и бытовых сточных вод предприятий и судоходства, проведение строительных и дноуглубительных работ [3]. Основными источниками загрязнения Кольского залива, особенно южной и средней его частей, являются промышленные предприятия, стоки населенных пунктов и городов, деятельность гражданских и военных флотов.

По совокупности антропогенных воздействий на морскую среду Кольский залив оценивается как один из самых нагруженных в арктическом регионе.

Ввиду того что качество природных вод характеризует комплекс химических показателей, рассматриваемые исследования проведены с целью изучить в динамике (по сезонам) распределение гидрохимического состава водного объекта в 2022 г.

Материал и методика

Исходным материалом для изучения гидрохимического состояния послужили пробы, отбираемые ежеквартально, и результаты расширенных исследований.

Определение химических показателей воды выполнялось согласно утвержденным документам. Оценку качества поверхностных вод проводили согласно ПДК вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов и комплексной экологической классификации [1].

Результаты и обсуждение

Гидрохимические характеристики рассматриваемой части Кольского залива за период исследований отличались незначительно.

Температурный режим был типичен для данного водного объекта и изменялся в диапазоне 4,2–14,5 °С в зимний и летний сезон соответственно. При отборе проб в осенне-зимний период наблюдалась температурная инверсия, а именно — рост температуры с увеличением глубины [2, 3].

Взвешенные вещества имели низкие значения концентрации. На всех станциях пробоотбора концентрация взвешенных веществ составила <0,300–5,300 мг/дм³.

Согласно комплексной экологической классификации качества поверхностных вод суши, вода на станциях в 2022 году по величине взвешенных веществ характеризовалась как чистая.

По результатам исследований содержание растворенного кислорода находилось в диапазоне 7,980–13,130 мг/дм³. Подобные концентрации объясняются тем, что кислород активно расходуется на окисление поступающего со стоком большого количества органического вещества и соединений железа.

Динамика распределения кислорода в период исследований показала, что его содержание в северной части залива увеличивалось, что определялось падением температуры: в холодной воде растворимость газов увеличивается.

Величина водородного показателя в рассматриваемой части Кольского залива изменялась в сторону уменьшения от северной части в южную. Более высокие значения характерны для участков с выраженным морским влиянием.

Содержание аммонийного азота находилась в диапазоне <0,039–0,610 мг/л.

При наличии в среде различных соединений азота первым поглощается азот в форме аммонийных соединений. Ассимиляция аммонийного азота обеспечивает необходимую для этого процесса энергию и не происходит или идет очень слабо в темноте. Аммонийный азот используется для синтеза аминокислот путем трансаминирования.

Сезонный ход значений аммонийного азота наиболее отчетливым был для рассматриваемого района, где диапазон изменений показателя составил от <0,040–

0,090 мг/л в весенне-летний период до 0,450–0,610 мг/л — в осенне-зимний.

Максимальные концентрации были отмечены осенью и зимой, что связано с процессами минерализации органического вещества, образовавшегося в результате процесса фотосинтеза. Кроме того, распределение аммонийного азота по вертикали здесь в значительной степени характеризуется более или менее выраженной однородностью.

Концентрация ионов железа определяется геологическим строением, условиями бассейна, а также комплексом физико-химических и биохимических факторов (рН, окислительно-восстановительный потенциал; содержание кислорода, углекислоты, сероводорода, других минеральных компонентов; наличие органических веществ с высокой комплексообразующей способностью, в том числе гумусовых веществ; содержание и состав микрофлоры).

Соединения железа проникают в поверхностные воды за счет процессов химического выветривания горных пород. Значительные его количества поступают в водоемы с подземным стоком, с производственными и сельскохозяйственными сточными водами и др.

Сезонные изменения содержания железа характеризуются уменьшением в весенне-летний период (от <0,0020 до 0,0097 мг/л) и возрастанием с прекращением ассимиляции в осенне-зимний период (от 0,0160 до 0,0820 мг/л). Незначительное превышение железа в осенне-зимний период, вероятнее всего, свидетельствует о влиянии речного стока на южную часть Кольского залива.

Органическое вещество присутствует в природных поверхностных водах в виде веществ гумусового происхождения, смываемых с почв и болот, и в виде продуктов распада различных органических веществ преиму-

щественно растительного происхождения. Органическое вещество определяли с помощью косвенного метода — по биохимическому потреблению кислорода (БПК₅).

За время исследований значение БПК₅ варьировало в диапазоне 1,0–1,4 мг/л.

Предельно допустимая концентрация растворенных нефтяных углеводородов в воде водоемов рыбохозяйственного значения составляет 0,05 мг/дм³. В 2022 г. концентрации нефтепродуктов в воде рассматриваемого водного объекта году были ниже ПДК.

Микроэлементы (тяжелые металлы) представляют собой самую разнообразную группу элементов химического состава природных вод. В природных водах данные вещества обычно встречаются в очень малых количествах. Микроэлементы необходимы для нормальной жизнедеятельности растений, животных и человека. Однако при повышенной концентрации многие из них вредны и даже ядовиты для живых организмов. Поэтому они считаются загрязняющими веществами и их концентрация контролируется.

В отобранных пробах такие тяжелые металлы, как свинец, медь, марганец, ртуть, кадмий и цинк, практически отсутствовали.

Заключение

Полученные результаты гидрохимических исследований свидетельствуют о тенденции к улучшению состояния рассматриваемой части Кольского залива по сравнению с ситуацией, наблюдавшейся в конце XX — начале XXI веков.

Основными факторами, влияющими на гидрохимический состав воды в рассматриваемый период, являются речной сток, сезонность и гидрологические явления.

Список литературы

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Ленинград: Гидрометиздат; 1970.
2. Матишов Г.Г., ред. Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты. Апатиты: Кольский научный центр РАН; 1997.
3. Матишов Г.Г., ред. Кольский залив: освоение и рациональное природопользование. Москва: Наука; 2009.

References

1. Alekin O. A. Fundamentals of hydrochemistry. Leningrad: Gidrometizdat Publ.; 1970. (In Russ.).
2. Matishov G.G., ed. Kola Bay: oceanography, biology, ecosystems, pollutants. Apatity: Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences; 1997. (In Russ.).
3. Matishov G.G., ed. Kola Bay: development and rational nature management. Moscow: Nauka Publ.: 2009. (In Russ.).