

RUSSIAN ARCTIC

russian-arctic.info

#2(17)/2022



EXCLUSIVE

**ANALYSIS OF THE HYDROLOGICAL REGIME
OF THE GULF OF OB IN THE FREEZING
PERIOD USING SMOS DATA**

CLIMATE

**INFLUENCE OF CLIMATE CHANGES ON NAVIGATION
AND DEVELOPMENT OF THE CONTINENTAL SHELF
IN THE RUSSIAN ARCTIC SEAS**

CHIEF EDITOR

KIRA ZMIEVA

EDITORIAL BOARDS

Hajime YAMAGUCHI, professor (Tokyo, Japan)
YOUNKYOO KIM, professor (Seoul, Korea)
Takuji Waseda (Tokyo, Japan)
Kokin Sergey, PhD (Harbin, China)
Mr. Rhee Han Woo, candidate of Doctor of IR (Seoul, Korea)
Thomas Krumpfen, PhD in geoscience (Bremen, Germany)
Belozersky Gennady Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Belonenko Tatiana, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Bityukova Victoria Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Bryantsev Alexander, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Chashchin Valery, Doctor of Sciences, Prof (St. Petersburg, Russia)
Chashchin Maxim, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Chubarova Natalia, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Degteva Galina, Doctor of Sciences (Arkhangelsk, Russia)
Dmitriev Vasily, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Eseev Marat, Doctor of Sciences (Arkhangelsk, Russia)
Fridman Krill Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Gavrilov Vladimir, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Gecha Vladimir, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Gorbanev Sergey, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Hrennikov Aleksander., Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Ivanov Vladimir, Doctor of sciences (Moscow, Russia)
Kapitanov Aleksey, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Korobov Vladimir, Doctor of Sciences (Moscow, Russia),
Kovchin Igor, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Lebedev Sergey, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Levykin Sergey, Doctor of Sciences, Prof (Orenburg, Russia)
Maksimov A.L., Doctor of Sciences, Prof (St. Petersburg, Russia)
Malinin Valery, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Mingazova Elmira, Doctor Sciences, professor (Moscow, Russian)
Mironov Evgeny, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Mitina Elena, Doctor of Sciences (Murmansk, Russia)
Nikuschenko Dmitry, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Opekunova Marina, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Prohorchuk Egor, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Repina Irina, Doctor of Sciences, Professor (Moscow, Russia)
Romanov Andrey, Doctor of Sciences (Barnaul, Russia)
Rusin Igor, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Semenov Vladimir, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Serebryannikov S., Doctor of Technical Sciences (Moscow, Russia)
Schwarzburg Leonid, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Stepanova Vera, Doctor of Sciences (Arkhangelsk, Russia)
Talykova Lyudmila, Doctor of Sciences (Kirovsk, Russia)
Tishkov Arkady, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Tokarevich Nikolay, Doctor of Sciences (St. Petersburg)
Turichin Gleb, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Varivodov Vladimir, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Zvorykina Julia, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Bayeva Julia, PhD (Moscow, Russia)
Chebrov Danila, PhD (Petropavlovsk Kamchatsky, Russia)
Ivanov Boris, PhD (St. Petersburg, Russia)
Karyakin Yuri, PhD (Moscow, Russia)
Khvostova Marina, PhD (Moscow, Russia)
Klimanov Igor, PhD (Moscow, Russia)
Medvedkov Aleksey, PhD (Moscow, Russia)
Nikanov Alexander, PhD (St. Petersburg, Russia)
Pisarev Sergey, PhD (St. Petersburg, Russia)
Ryazanova Natalia, PhD (Moscow, Russia)
Segizova Naylya, Doctor of Sciences
Sharonov Andrey, PhD (St. Petersburg, Russia)
Smolyanitsky Vasily, PhD (St. Petersburg, Russia)
Stepanov Rodion, PhD (Moscow, Russia)
Tretyakov Viktor, PhD (St. Petersburg, Russia)
Tsykalov Anatoly, PhD (Krasnoyarsk, Russia)
Yulin Alexander, PhD (St. Petersburg, Russia)

EDITORIAL STAFF

Science editor

Tatiana Alekseeva(AARI)

CEO

Elena Makova

Executive secretary

Marina Belikova

PR

Olga Chahovskaya

MANUSCRIPT SUBMISSION

info@arctic-centre.com

ADDRESS

101000, Moscow, Armenian lane,
9/1/1 bld., room 203

MASS MEDIA registration

ЭЛ №ФС77-72859 от 22 мая 2018 года

FOUNDER AND PUBLISHER

LLC Center for Information and
Legal Support for the Development of the
Arctic
<http://arctic-centre.com>

CEO

Yu.V. Belikova

THE EDITORIAL THANKS

reviewers and editorial board members
for help in preparing this issue

The journal is licensed
under Creative Commons
Attribution 4.0 International.
www.creativecommons.org



Issue date: 08.08.2022



CONTENTS

04

EDITORIAL

05

APPEAL of the northern regions' governors to the scientific community

REGIONAL ECONOMIC GEOGRAPHY

08

ECONOMIC DEVELOPMENT OF HUMAN CAPITAL AND INEQUALITY OF THE REGIONS OF THE AZRF IN THE AREAS OF THE KARELIAN ARCTIC

M.V. MOROSHKINA

CLIMATE CHANGE

21

INFLUENCE OF CLIMATE CHANGES ON NAVIGATION AND DEVELOPMENT OF THE CONTINENTAL SHELF IN THE RUSSIAN ARCTIC SEAS

K.V. Filchuk, V.B. Korobov, A.V. Yulin, T.V. Sheveleva

ОБЩЕСТВЕННОЕ ЗДОРОВЬЕ

34

ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ СТУДЕНТОВ-МЕДИКОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ НА ПРИМЕРЕ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

С.В. Пряничников, С.В. Егарева

HYDROMETEOROLOGY

44

ANALYSIS OF THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE GULF OF OB IN THE FREEZING PERIOD USING SMOS DATA

V.V. Tikhonov, A.N. Romanov, I.V. Khvostov, T.A. Alekseeva, A.I. Sinitskiy,

M.V. Tikhonova, E.A. Sharkov, N.Yu. Komarova

72

MODERN PECULARITIES OF ICE CONDITIONS ALONG THE NAVIGATIONAL ROUTES IN THE TATAR STRAIT OF THE SEA OF JAPAN

E.A. Grishin, E.A. Pavlova, T.A. Alekseeva, Ye.U. Mironov

ADVERTISEMENT

86

CLOTHES FOR SPECIAL WEATHER

INTERVIEW WITH ALEXANDER SIROTKIN, CEO LLC "BVN ENGINEERING"

У

ВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!



Россия является председательствующей страной в Арктическом совете в 2021-2023 гг. Комплексная программа российского председательства предполагает продвижение международного сотрудничества по таким приоритетным направлениям, как население Арктики, включая коренные народы, охрана уникальной окружающей среды, социально-экономическое развитие региона, а также укрепление арктического международного сотрудничества. Однако работа по большинству поручений, полученных на последней министерской сессии Арктического Совета в Рейкьявике в 2021 году, остановлена.

Несмотря на усложнившуюся политическую обстановку и связанное с этим нежелание ряда стран сотрудничать в рамках реализации арктических проектов, российская сторона готова и будет развивать взаимодействие с арктическими и внеарктическими государствами в проектах любого масштаба. Очевидно, что абсолютно нецелесообразно и даже невозможно продолжать международное сотрудничество в Арктике без России, обладающей самой большой границей и сухопутной территорией в регионе и, по сути, полностью контролирующей северный морской путь. Более того, в вопросах освоения и развития арктических территорий Россия абсолютно самодостаточна.

Однако есть круг вопросов, эффективное решение которых возможно только в рамках совместной работы всех заинтересованных стран. Это, в первую очередь, защита окружающей среды и комплексные научные исследования. Например, научно-образовательная экспедиция «Арктический плавучий университет — 2022», объединившая сотни ученых из многих стран, а также множество других международных научных проектов, главной целью которых является обеспечение устойчивого развития Арктики.

Редакция научного журнала «Российская Арктика» с большим интересом следит за развитием арктической научной мысли и с удовольствием представляет вашему вниманию 17 выпуск нашего издания!

Приятного прочтения!
Кира Змиева,
Главный редактор

ОБРАЩЕНИЕ

Главы Республики Коми
Владимира Викторовича Уйба
к научному сообществу



УВАЖАЕМЫЕ ДРУЗЬЯ!

Развитие Арктики сегодня – это не только про экономику, инвестиции, современные технологии и новые рабочие места. Тема Арктики сегодня объединяет и вселяет надежду. Для настоящего и будущего Арктики крайне важна работа российского научного сообщества.

Уникальный по своим климатическим условиям, природным ресурсам Арктический регион давно является объектом исследования ученых из Республики Коми. Особую актуальность эти научные исследования приобретают в связи с созданием в 2021 году научно-образовательного центра мирового уровня «Технологии здоровьесбережения населения Севера» - НОЦ «ЭкоТех». Задачи центра – стабилизация численности населения, создание условий для разработки технологий здоровьесбережения, имеющих значение для диверсификации сырьевой северной экономики, сохранение чистой среды проживания за счет внедрения экологически безопасных технологий.

Ученые Республики Коми имеют большой практический опыт в этой сфере. Так, например, Институт физиологии ФИЦ Коми научного центра УрО РАН в течение многих десятилетий занимает в России лидирующие позиции по исследованиям основ жизнедеятельности человека в Арктике. Ученые института исследуют причины формирования «северных» патологий под влиянием факторов Севера и техногенных воздействий, участвуют в разработке мероприятий по профилактике развития этих заболеваний.

Являясь автором монографий и научных трудов, особенно понимаю ценность вашего труда. Спасибо за ваш искренний интерес к вопросам развития Арктики. Пусть вера, любовь к делу и упорство не покидают вас никогда!

С уважением,

Глава Республики Коми,
Заслуженный деятель науки Российской Федерации,
доктор медицинских наук
Владимир Уйба

ОБРАЩЕНИЕ

Главы Республики Карелия
Парфенчикова Артура Олеговича
к научному сообществу

Уважаемые читатели!

Сегодня мы наблюдаем развернутую «коллективным Западом» беспрецедентную по своему масштабу кампанию по дискредитации Российской Федерации как страны-партнера в различных сферах сотрудничества, безусловно, оказавшую негативное влияние на взаимодействие научно-образовательных организаций нашей страны с университетами и научными центрами иностранных государств.

В контактах с коллегами из университетов стран Северной Европы мы почувствовали, что на наших традиционных партнеров в форматах Балтийского, Баренцева сотрудничества, приграничного сотрудничества с Финляндией оказывается мощное давление политических кругов этих стран.

Тем не менее, в сложившихся условиях полагаем целесообразным и возможным поддерживать имеющиеся связи с зарубежными учеными на уровне личных контактов. Конечно, хотелось бы продолжать начатые исследования с подключением, если это требуется, как отечественных ученых, так и заинтересованных представителей зарубежного экспертного сообщества, используя для этого доступные международные площадки. Не исключаем привлечения к совместным проектам арктической направленности партнеров из Китая, Индии, Ирана и других стран.

Сложная международная ситуация значительно ограничивает контакты российских ученых с зарубежными коллегами, однако существующий научный потенциал каждого арктического субъекта Российской Федерации на сегодняшний день полностью не раскрыт.

Так, например, Петрозаводский государственный университет имеет целый ряд конкурентных преимуществ и признанных достижений в исследовании актуальных проблем развития Европейского Севера и Арктической зоны Российской Федерации. К ним относятся исследования состояния природной среды Крайнего Севера, достижения в области информационных технологий с применением в ряде конкретных секторов экономики, медицины, медико-биологических технологий, междисциплинарные исследования трансграничных процессов, достижения в изучении памятников культуры и архитектуры, разработки в сфере деревенного домостроения и других. Практически во всех названных секторах исследований были и еще остаются заинтересованные зарубежные партнеры.

Петрозаводский государственный университет во взаимодействии с отечественными партнерами в настоящее время реализует свою инициативу по созданию Северо-европейского открытого научно-образовательного консорциума. Университет также приступил к подготовке программы своего развития как участника освоения Арктической зоны Российской Федерации на период до 2035 года и видит свою миссию в качестве одного из ведущих научно-образовательных центров нашей страны по 6-7 направлениям развития.

Кроме того, начал работу Арктический центр Петрозаводского государственного университета с целью максимально способствовать реализации проектных инициатив в Арктической зоне.

Значительная часть международной деятельности Карельского научного центра РАН приходится на страны Европейского союза, в основном Финляндию и Норвегию. Двусторонние проекты выполняются совместно с учеными из Финляндии, Швеции, Великобритании, Испании и Республики Беларусь. В тематику исследований входят вопросы развития территорий, сохранения биоразнообразия и охраны окружающей среды, экологического просвещения, устойчивого использования природных ресурсов, геологии, социально-экономических исследований, развития бизнеса, истории и культуры, языкознания, этнографии.

С 2018 года руководитель КарНЦ РАН член-корреспондент РАН О.Н. Бахмет является региональным координатором Зеленого пояса Фенноскандии как части Европейского Зеленого пояса. Научный центр – наблюдатель в Совете Ассоциации Зеленого пояса Европы, его представители участвуют в тематических рабочих группах.



В текущем году Карельским научным центром РАН продолжают научно-исследовательские работы с государственной поддержкой. С 2020 года Научный центр является участником НОЦ «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования». В рамках данного сотрудничества ученые КарНЦ РАН выполняют комплексные исследования лесов Российской Арктики с целью повышения их продуктивности и сохранения экосистемных функций, современных технологий клонирования экономически ценных генотипов и выращивания посадочного материала основных лесообразующих лиственных и хвойных видов Севера Европейской части РФ, развития методов оценки и повышения энергоэффективности экономики Арктической зоны Российской Федерации.

Убеждены, что искусственно созданные политические барьеры в международном сотрудничестве будут медленно, но неуклонно исчезать, так как разрыв международного научно-образовательного взаимодействия на Севере и Арктике чреват тяжелыми, а в ряде секторов необратимыми последствиями.

Желаем ученым, занимающимся вопросами освоения и изучением Крайнего Севера и Арктической зоны, успехов в новых научных изысканиях, вдохновения и оптимизма!

С уважением,
Глава Республики Карелия,
Артур Олегович Парфенчиков

ВИКТОР ИКОННИКОВ: «В Архангельской области созданы условия для проведения важных научных исследований и реализации идей»

Развитие Арктики – общероссийская задача, ее направления определены в Стратегии развития Арктики до 2035 года.

Важным шагом в развитии научно-образовательной сферы стало формирование НОЦ «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования», который создан в 2020 году при объединении усилий и интересов Архангельской, Мурманской областей и Ненецкого автономного округа. НОЦ – это отвечающая современным требованиям конкурентоспособная модель интеграции академической и прикладной науки, образования, промышленности, бизнеса и инноваций.

В рамках НОЦ идет реализация проектов, направленных на развитие здоровьесберегающих и биотехнологий, технологий судостроения и судоремонта в Арктике, мониторинга состояния промышленных и гражданских объектов, а также состояния биоты в арктической зоне. Прорабатываются проекты по изучению и сохранению лесов, а также по внедрению новых технологий в их переработку, например, освоение выработки флафф-целлюлозы.

Буквально в марте 2022 года на базе Северного (Арктического) федерального университета в рамках НОЦ открыты две новые лаборатории.

В одной из них ведутся исследования по клональному микроразмножению растений и экспериментальной гидропонике – совершенствуются технологии клонального микроразмножения и адаптации хозяйственно ценных ягодных культур (морозика, голубика, клюква, брусника и др.) для плантационного выращивания в условиях Архангельской области. Северные ягоды – источники витаминов, они используются в фармацевтике и пищевой промышленности. Новые технологии позволяют выращивать культуры в промышленных объемах.

Во второй лаборатории работа посвящена диагностике углеродных материалов и спиново-оптических явлений в широкозонных полупроводниках. Эти исследования поддержаны Минобрнауки России в рамках конкурсного отбора молодежных лабораторий. Проект заключается в организации высокотехнологичного производства по синтезу монокристаллов алмаза методом температурного градиента и изготовлению монокристаллических алмазных пластин. Это абсолютно новые технологии, которые сейчас находятся на пике науки. Подобные исследования идут в нескольких странах, причем, в отличие от России, пока на стадии изучения, а не внедрения. Проект подразумевает научную и практическую составляющую. Научная составляющая заключается в комплексных исследованиях углеродных материалов с учетом их обработки спектроскопическими, микроскопическими и рентгеновскими методами, а также спиново-оптических явлений в широкозонных полупроводниках. Прикладная составляющая подразумевает создание высокотехнологичного производства для обработки, диагностики,



впоследствии для паспортизации монокристаллических алмазных пластин для высокотехнологичных применений. Одна из сфер применения монокристаллических алмазных пластин – создание квантового магнитометра. Это техническое устройство для высокоточной навигации морского, воздушного и наземного транспорта. Кроме того, монокристаллические алмазные пластины – обязательная составляющая для работы квантового компьютера, над созданием которого работают в России, а также в США и Китае. Квантовый компьютер будет превосходить в миллиарды раз любой самый мощный созданный на сегодняшний день компьютер. Это открытие обеспечит технологический прорыв нашей стране.

В целом, отмечу, что в Архангельской области формируется современная научно-образовательная и научно-исследовательская база, представленная федеральными и региональными научно-исследовательскими и образовательными организациями. За счет федеральной и региональной поддержки созданы условия для проведения важных научных исследований и реализации идей.

Перечислю лишь некоторые результаты совместной работы по итогам 2021 года. По итогам регионального конкурса 9 научных проектов по темам здоровьесбережения, сельского хозяйства, переработки ресурсов в Арктике, теплоэнергетики, культурного наследия получили поддержку общим объемом в 24 млн рублей. В рамках конкурса «Молодые ученые Поморья» поддержано 15 проектов молодых ученых в возрасте до 35 лет, общая сумма грантов составила 3 млн рублей. 23 проекта и 42 научных коллектива получили возможность реализации своих идей в рамках деятельности НОЦ «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования». Созданы 3 молодежные лаборатории (их руководители моложе 39 лет) – объем финансирования составил 43,5 млн рублей. Таким образом, финансирование работы НОЦа составило свыше 280 млн рублей. 8 молодежных научных проектов отобрано в рамках квоты программы «Умник» Фонда содействия инновациям. Финансирование каждого проекта – 500 тыс. рублей. Для поддержки инновационной деятельности в регионе работает Инновационный центр автономной некоммерческой организации Архангельской области Агентства регионального развития. В 2022 году подана 51 заявка для участия в региональных конкурсах на получение грантов Российского научного фонда, утвержден объем финансирования из средств федерального и областного бюджетов в размере около 80 млн рублей.

Среди перспективных проектов перечислю наиболее значимые – это создание в Архангельске Федерального центра арктической медицины, организация системы карбонового мониторинга, а также строительство в столице Поморья студенческого кампуса мирового уровня «Арктическая звезда».

Заместитель председателя Правительства Архангельской области – министр экономического развития, промышленности и науки Архангельской области
Виктор Михайлович Иконников

Научная статья

УДК 332.1

DOI: 10.24412/2658-4255-2022-2-08-20

Для цитирования:

М.В. Морошкина
К оценке сроков полного
Оценки экономического и
человеческого потенциала
и неравенство территорий
АЗРФ на примере районов
Карельской Арктики //
Российская Арктика. 2022.
№ 17. С. 08–20

Получена: 13.04.2022

Принята: 15.06.2022

Опубликована: 24.06.2022

Исследование выполнено
за счет гранта Российского
научного фонда № № 22-
28-20504, [https://rscf.ru/
project/22-28-20504/](https://rscf.ru/project/22-28-20504/)),
проводимого совместно с
органами власти Республики
Карелия с финансированием
из Фонда венчурных
инвестиций Республики
Карелия (ФВИ РК)



ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО И ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И НЕРАВЕНСТВО ТЕРРИТОРИЙ АЗРФ НА ПРИМЕРЕ РАЙОНОВ КАРЕЛЬСКОЙ АРКТИКИ

М.В. Морошкина¹

¹ Институт экономики КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия (к.э.н.)
Maribel74@mail.ru

Аннотация: Экономическое развитие регионов Арктической зоны Российской Федерации формируется в результате взаимного воздействия факторов экономического и социального характера. Трудовой потенциал на территориях Карельской Арктики имеет особое значение в контексте человеко-ориентированного социального развития. Основной целью исследования выступает оценка экономического и человеческого потенциала в районах с преференциальным экономико-правовым режимом АЗРФ. Объектом исследования выступает экономический и человеческий потенциал территориальных образований Республики Карелия, входящих в состав Арктической зоны Российской Федерации.

Методологические подходы, используемые для оценки экономического потенциала на территориях Карельской Арктики, включают методы ранговой оценки, позволяющие оценить влияние некоторых индикаторов на развитие человеческого капитала и провести процесс ранжирования исследуемых территорий. Выявленная в процессе оценки неравномерность развития территорий арктической зоны оценивается в результате использования теоремы сходимости. Полученные результаты дифференциации позволяют сделать выводы относительно невысоких показателей расхождения районов Карельской Арктики по показателям оценки экономического и человеческого потенциала.

Ключевые слова: развитие, экономический потенциал, человеческий потенциал, Карельская Арктика, ранговая оценка, дифференциация, коэффициент осцилляции, коэффициент вариации

ECONOMIC DEVELOPMENT OF HUMAN CAPITAL AND INEQUALITY OF THE REGIONS OF THE AZRF IN THE AREAS OF THE KARELIAN ARCTIC

М.В. Moroshkina¹

¹ Institute of Economics KarRC RAS, Petrozavodsk, Russia (Ph.D. economy)
Maribel74@mail.ru

Abstract: The economic development of the regions of the Arctic zone of the Russian Federation is formed as a result of the mutual influence of the facts of economic and social nature. Human capital in the territories of the Karelian Arctic is of particular importance in the context of human-oriented social development. The main purpose of the study is the assessment of human capital in the areas with the preferential economic and legal regime of the AZRF of the Karelian Arctic. The object is defined by the municipalities of the Republic of Karelia, which are part of the Arctic zone of the Russian Federation.

The methodological approaches used to assess human capital in the territories of the Karelian Arctic include the methods of ranking, which allow assessing the impact of some indicators on the

development of human capital and conducting the ranking process of the territories under study. The uneven development of the areas of the Arctic zone, revealed in the assessment process, is assessed by using the convergence theorem. The obtained results of differentiation allow us to draw conclusions concerning the low rates of divergence of the Karelian Arctic regions.

Keywords: development, human capital, Karelian Arctic, ranking, differentiation, oscillation coefficient, coefficient of variation

Введение

Развитие экономики страны на современном этапе происходит в условиях обострения внешних и внутренних вызовов, которые определяются экономическим, социальным и экологическим характером. В контексте сложившихся условий хозяйствования и усиления нестабильности глобального характера возникает необходимость противостояния существующим вызовам. Важным аспектом снижения последствий сложившейся ситуации является поиск и представление мероприятий, моделей и подходов к управлению экономическим развитием территории. Процесс развития определяется различными подходами в рамках объектно-ориентированной структуры. В данном исследовании особое внимание уделяется управлению процессом развития арктических и северных регионов по направлению трудового потенциала. Арктическая зона Российской Федерации представляет особый интерес для развития экономики страны, что подтверждается разработанными стратегическими и программными документами, среди которых Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года¹, Стратегии развития Арктической зоны².

В соответствии с документами стратегического значения и исследовательским интересом ученых, объектами особого внимания с точки зрения управления становятся особые геостратегические объекты России, к которым относятся территория Арктической зоны Российской Федерации и территории, граничащие со странами ЕС. Особенностью северных территорий Республики Карелия, делающей их важнейшим объектом исследования является объединение в их экономическом пространстве сразу двух геостратегических территорий. В результате исследование муниципалитетов севера и средней части Республики Карелия представляется актуальным, в том числе в контексте интеграции экономического пространства приграничных, арктических территорий Европейской России. Современный период характеризуется нарастанием противоречивых тенденций развития северных арктических регионов и северных муниципалитетов Республики Карелия. С одной стороны, формируются благоприятные условия активизации и реализации инновационного и предпринимательского потенциала территорий в соответствии с Федеральным законом «О государственной поддержке предпринимательской деятельности в Арктической зоне Российской Федерации»³.

1 Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года (с изменениями на 16 декабря 2021 года) URL: <https://docs.cntd.ru/document/552378463?marker=656010>, (дата обращения 29.03.2022).

2 Стратегия развития Арктической зоны России и обеспечения национальной безопасности до 2035 года. URL: <https://www.arctic2035.ru/>, (дата обращения 29.03.2022).

3 Федеральный закон "О государственной поддержке предпринимательской деятельности в Арктической зоне Российской Федерации" от 13.07.2020 N 193-ФЗ (последняя редакция) URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_357078/ (дата обращения 29.03.2022).

С другой стороны, наблюдается сужение воспроизводства человеческого капитала, постепенная трансформация экономических, социальных, экологических условий, которая проявляется в качестве и уровне медицинского обслуживания, образования и т.д. Сложившиеся неблагоприятные условия приводят к высокой поляризации экономического пространства Карельской Арктики, в результате которой население и экономическая активность концентрируются вокруг экономических центров – Костомукшского городского округа и г. Сегежа; остальные районы характеризуются низким уровнем социально-экономического развития [1].

В результате сложившихся условий наблюдается обострение одного из ограничений развития экономики территории – дефицита человеческого капитала, представленного мотивированной и квалифицированной рабочей силой.

Обзор литературы

Исследованию арктических и северных регионов посвящено большое количество работ, которые с позиции различных показателей и использования различных методик оценивают их развитие [2,3,4]. Важным направлением оценки индикаторов, определяющих развитие регионов, является детальное исследование отдельных факторов или группы факторов, на основании которых формируются направления и процессы развития территории [5,6].

Особое направление в региональной экономике занимают северные арктические регионы, обладающие характерными особенностями развития. Фундаментальную основу развития арктических регионов составляют освоение и добыча природных ресурсов: нефти, газа и т.д. [7,8]. Российская Федерация и российские северные регионы занимают уникальное положение в Арктическом регионе. Исследователи активно изучают данное направление [9] в контексте вопросов международного сотрудничества, развития отраслевого производства, привлечения инвестиций, развития человеческого капитала и кадрового обеспечения.

В целях развития арктических регионов необходимо исследовать, развивать, сохранять человеческий капитал, который в последнее время в современном обществе приобретает все большее значение и оказывает влияние на различные процессы экономического роста территории. В рамках данного исследования человеческий капитал определяется фактором производства, способствующим развитию экономики, общества и семьи. В совокупности включающий трудовые ресурсы и уровень их образования: знания, умения и навыки, инструментарий для интеллектуального и управленческого труда, а также среду обитания и жизнедеятельности. Исследование развития человеческого капитала и его влияния на процессы экономического развития территории прослеживается в значительном количестве работ российских и зарубежных ученых [10,11,12,13]. Человеческий капитал определяется совокупностью различных знаний, навыков, способностей, компетенций людей [14]. Большинство исследователей указывают на важность данного направления в процессе развития любой экономической системы [15]. В рамках данного утверждения исследователями рассматриваются различные направления оценки человеческого капитала, которые включают исследование количественных индикаторов, или оцениваются качественные показатели, позволяющие изучить динамику его развития. Количественные индикаторы дают возможность оценить объемные показатели, которые определяют воз-

возможности использования человеческого капитала в производственных процессах. К таким характеристикам могут относиться численность населения, уровень миграции (внутренней, внешней), возможности привлечения специалистов высокой квалификации и т.д. К качественным характеристикам, отражающим уровень профессиональных навыков человеческого капитала, относятся: уровень полученного образования, стаж производственной деятельности и т.д.

Немаловажное значение отводится состоянию человеческого капитала, в результате которого оценивается физическое состояние и способность выполнять производственные задачи. К таким характеристикам могут относиться возрастные показатели населения, количество пенсионеров, молодежи, проживающей на территории [16].

В рамках большинства исследований человеческий капитал признается основным ресурсом и решающим фактором развития экономической системы.

Для арктических регионов вопросы функционирования и развития человеческого капитала приобретают актуальное значение в контексте функционирования промышленных и производственных структур и необходимости квалифицированных кадров [17,18,19]. Российская Арктика, обладая суровыми климатическими условиями, высоким уровнем удаленности от основных центров, оказывается в формате объективных трудностей, связанных с наличием и формированием человеческого капитала [20]. Оценка трудового и человеческого потенциала арктических регионов представляет важную стратегическую задачу для развития и роста. Особого внимания заслуживают вопросы изучения человеческого капитала в контексте территориальных особенностей. Специфика развития арктических регионов имеет общие характеристики и направления, связанные с арктическим и северным расположением. Территории, расположенные на протяжении всего Арктического Севера, имеют отличия, связанные с территориальным расположением, наличием природных и производственных ресурсов и т.д. [21]. В рамках данного подхода особого интереса заслуживают арктические регионы Республики Карелия ввиду их географического расположения, уровня экономического развития.

Методология

Основными методологическими подходами для решения поставленных в исследовании задач выступают системный, пространственный и экономико-математический подходы. Используемые принципы позволяют рассмотреть экономику Республики Карелия, регионы Карельской Арктики в контексте развития человеческого капитала.

В качестве аналитического материала для проведения оценки и прогнозирования социально-экономического развития в работе используются информационно-статистические материалы: статистические данные Росстата, Карелиястат, информация, предоставляемая государственными службами и ведомствами: Министерством экономического развития, Службы занятости и т.д.

Работа с массивом данных осуществляется с применением методов статистического, экономического анализа, математического моделирования.

В рамках методологического аппарата в работе будут использованы методики построения рангового коэффициента и расчета коэффициента вариации для показателей арктических регионов Республики Карелия.

Использование рангового показателя позволит оценить районы Республики Карелия по направлениям развития человеческого потенциала. В рамках данной методики показатели разделяются на два вида с противоположным влиянием на процесс развития территории. К первому относят показатели, рост которых подтверждает экономическое развитие; такие показатели называются показателями-стимулянтами, значение ранга $\bar{1}$ присваивается районам с наибольшим показателем. Ко второму типу показателей относят индикаторы, значение которых чем меньше, тем более высокий уровень имеет территория – показатели-дестимулянтами – значение ранга $\bar{1}$ присваивается районам с наименьшим показателем. В результате применения ранговой методики были рассмотрены следующие показатели: численность населения, среднесписочная численность работников, численность безработных, миграционный прирост, среднемесячная заработная плата, инвестиции в основной капитал. В разрезе данных показателей показателем - дестимулянтом является индикатор численности безработных; все остальные показатели рассматриваемого списка являются показателями, стимулирующими развитие территории.

Следующим этапом использования ранговой методики является определение среднего ранга, который позволяет выделить территории с максимальным значением для развития.

$$\bar{R}_i = \frac{1}{n} \sum P_{ij} \quad (1)$$

где

\bar{R}_i – ранг i региона по показателю j ,

n – число показателей,

P_{ij} – показатель j , регион – i .

В качестве оценки разброса исследуемых показателей в работе проведен расчет коэффициента осцилляции. Коэффициент осцилляции анализирует межрегиональную дифференциацию, показывая долю размаха вариации случайной исследуемой величины по среднему значению.

Коэффициент осцилляции рассчитывается по формуле:

$$Coef = \frac{x_{max} - x_{min}}{\bar{x}} * 100\% \quad (2)$$

где

$Coef$ – коэффициент осцилляции;

x_{max} – значение показателя наиболее развитого региона;

x_{min} – значение показателя наименее развитого региона;

\bar{x} – среднее значение.

Исследование проводится в рамках сравнительной оценки северных арктических регионов и определения уровня их неоднородности. Изучение межрайонной дифференциации проводится на основании использования теоремы о сходимости [22,23,24], в результате расчет коэффициента σ вариации:

$$\sigma_t = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}}{x_{cp}} \quad (3)$$

где

σ_t – коэффициент вариации, в момент времени t ,

x_i - показатель развития северных арктических районов Республики Карелия (i – регион),

$i = 1, \dots, n$ - количество исследуемых северных арктических районов Республики Карелия,

x_{cp} – среднее значение показателя развития.

Наличие δ – конвергенции определяется выполнением следующего неравенства:

$$\delta_{t+T} < \delta_t \quad (4)$$

Выполнение условия (2) позволяет говорить о наличии δ – конвергенции и говорить о процессе сближения изучаемых районов Карельской Арктики по исследуемым показателям.

В результате проведенного исследования полученная оценка развития арктических районов Республики Карелия может быть использована для стратегических и программных документов, анализирующих развитие территорий Арктического Севера.

Результаты

В результате проведенного исследования были проанализированы территории Карельской Арктики по показателям, характеризующим развитие человеческого потенциала. Районы Карельской Арктики характеризуются различными уровнями социально-экономического развития. Причиной неравномерного развития районов является потенциал территории (природный, производственный и человеческий), который формирует возможности для экономического роста. Наличие ресурсного и производственного потенциала обеспечивается объективными предпосылками, которые формируются в результате территориальных аспектов. Формирование и сохранение человеческого капитала обеспечивается привлекательностью территории для жизнедеятельности, которая может быть обеспечена, в том числе, и региональной политикой.

Значимость человеческого капитала в вопросах роста высока, ввиду того что наличие профессиональных и квалифицированных кадров способно обеспечить динамику развития территории и сформировать предпосылки для экономического роста.

Исследование проводится в контексте территориальных образований Карельской Арктики: Лоухский МР, Кемский МР, Беломорский МР, Сегежский МР, Калевальский МР, Костомукшский ГО.

В рамках первого этапа исследования проводилась ранговая оценка по исследуемым территориям в контексте развития человеческого капитала. Для проведения аналитических работ были собраны статистические данные по рассматриваемым территориям (таблица 1).

Таблица 1

Показатели экономического и демографического развития районов Карельской Арктики, 2020 г.

Регионы Карельской Арктики	Население, тыс. чел	Средне-спис. числ. работн, чел	% работающ. населения в общей числ.	числ. безработных, чел.	уровень безработицы, %	Миграционный прирост	сред. зараб. плата, руб.	инвест в основной капитал, млн.руб
Костомукшский ГО	30,1	9016	31,0	121	1,3	228	71604	5507,8
Беломорский МР	15,4	3236	21,0	314	8,8	-307	54897	664,1
Калевальский МР	6,6	1023	15,7	159	13,2	-15	47234	15,5
Кемский МР	14,3	4491	31,4	168	3,6	-161	62563,5	253,8
Лоухский МР	10,8	2188	18,8	217	9,0	-97	59866,4	246,6
Сегежский МР	35,3	9827	28,0	468	4,5	-181	46153,8	3588

*Источник: данные Росстата, составлено автором

Исследуемые территории имеют различные тенденции поведения различных показателей. Одни территории характеризуются высокой численностью населения и среднесписочной численностью работников организаций, но также высоким миграционным оттоком населения. В территориальном разрезе каждый из рассматриваемых индикаторов оказывает различное влияние. Показатель *среднемесячная заработная плата* в районах Карельской Арктики имеет значительную дифференциацию, которая определяется наличием производств на территории района. В Костомукшском городском округе акционерное общество «Карельский окатыш» определяет динамику роста показателя, результатом становится лидирующая позиция территории по данному показателю. Подобная ситуация наблюдается при анализе показателя *инвестиции в основной капитал*: наличие горнообогатительного комбината или производителя железорудного сырья привлекает инвестиционные потоки на территорию. Показатели *миграционного прироста* в 2020 г. в Костомукшском городском округе имеют положительный тренд, в отличие от остальных рассматриваемых районов Карельской Арктики, что позволяет говорить о благоприятных условиях жизнедеятельности, которые определяются доходной составляющей. Особого внимания требует показатель *миграционного прироста*, рассмотренный по районам Карельской Арктики. Значение данного показателя практически во всех территориальных образованиях имеет отрицательное значение, что показывает непривлекательность территории для проживания населения и преобладание оттока населения. Исключение составляет Костомукшский городской округ, в рамках которого наблюдается положительная тенденция, связанная с функционированием горно-обогатительного комбината, который привлекает трудовые ресурсы на территорию.

В разрезе рассматриваемых показателей и исследуемых территорий по большинству показателей лидирующие позиции занимает Костомук-

шский городской округ. Проведенное ранжирование районов Карельской Арктики определяет менее развитые территории. Стоит отметить, что отстающие районы по различным показателям неодинаковы. Сегежский район попадает в отстающие территории Карельской Арктики по показателю *среднемесячная заработная плата*. ПАО «Сегежа Групп», которое является градообразующим лесопромышленным предприятием района, не обеспечивает высокий уровень среднемесячной заработной платы.

Использование рангового метода позволит оценить влияние различных факторов на экономическое развитие и составить ранговую оценку данного процесса (таблица 2). В рамках расчета ранговой оценки и ранжирования регионов использовались показатели: *% работающего населения в общей численности, уровень безработицы, миграционный прирост, среднемесячная заработная плата работников организаций, инвестиции в основной капитал*.

Таблица 2

Ранговая оценка районов Карельской Арктики по экономическим показателям

Регионы Карельской Арктики	ранг
Костомукшский ГО	1,5
Беломорский МР	2,5
Кемский МР	3,2
Сегежский МР	3,2
Лоухский МР	3,5
Калевальский МР	3,7

*Источник: данные Росстата, составлено автором

Ранговая оценка определила наиболее развитый район Карельской Арктики в результате оценки совокупных показателей. Лидирующим районом является Костомукшский ГО, который в разрезе рассматриваемых районов имеет наиболее высокий уровень развития.

Важным направлением оценки региональной дифференциации является исследование отклонений от среднего значения, которые позволяют определить разрыв между районами. Наличие разрыва и процентное соотношение определяется при помощи расчета коэффициента осцилляции (формула 2).

Таблица 3

Динамика коэффициента осцилляции по районам Карельской Арктики

коэф осцилляции	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
численность населения	152,5	153,2	154,1	154,1	154,3	154,7	153,8	153,1
среднесписочная численность сотрудников	33,8	33,1	33,8	35,3	37,0	37,4	36,4	36,9
численность безработных	133,9	93,2	124,6	90,0	102,9	101,9	126,1	143,9
среднемесячная заработная плата	53,8	49,6	50,2	50,3	51,1	42,0	42,3	44,6
инвестиции в основной капитал	343,4	238,2	387,7	306,9	420,1	357,0	320,7	-
миграционный прирост	-174,5	-231,3	-167,7	-168,5	-142,0	-163,9	-602,3	-

*Источник: данные Росстата, составлено автором

Наиболее высокий уровень разрыва наблюдается по показателю *инвестиции в основной капитал*, что позволяет сделать вывод о высоком уровне разброса в рамках данного показателя. Самый низкий уровень разброса выявлен у показателя *среднесписочная численность сотрудников*, определяя относительное равенство в контексте данного показателя (таблица 2).

Проведенное исследование основных социально-экономических показателей по районам Карельской Арктики выявило высокий уровень неоднородности территорий. Оценка уровня территориальной неоднородности районов Карельской Арктики проводится на основе расчета коэффициента вариации по показателям экономического развития; основной акцент будет сделан на показатели развития человеческого капитала.

Основные показатели, по которым проводился анализ территорий Лохского МР, Кемского МР, Беломорского МР, Сегежского МР, Калевальского МР, Костомукшкского ГО, включают показатели развития человеческого капитала: *численность населения, среднесписочная численность работников, численность безработных, среднемесячная заработная плата*. В методику оценки был включен показатель инвестиции в основной капитал, позволяющий оценить развитие территории.

Полученные результаты показывают неодинаковое поведение коэффициента вариации в районах Карельской Арктики. Оценка неоднородности по показателю *численность безработных* демонстрирует рост региональных различий, что позволяет говорить о неодинаковой ситуации с численностью безработных в различных районах Карельской Арктики. Одни районы показывают высокую численность безработных (Беломорский МР, Сегежский МР), другие сравнительно невысокую (Костомукшкский ГО, Калевальский МР).

По показателям *численность населения* и *среднесписочная численность работников* коэффициент вариации имеет устойчивый тренд, что позволяет говорить о стабильности данного показателя в районах Карельской Арктики. Стоит также отметить незначительное сокращение разрыва в районах Карельской Арктики по показателю *среднемесячная заработная плата*.

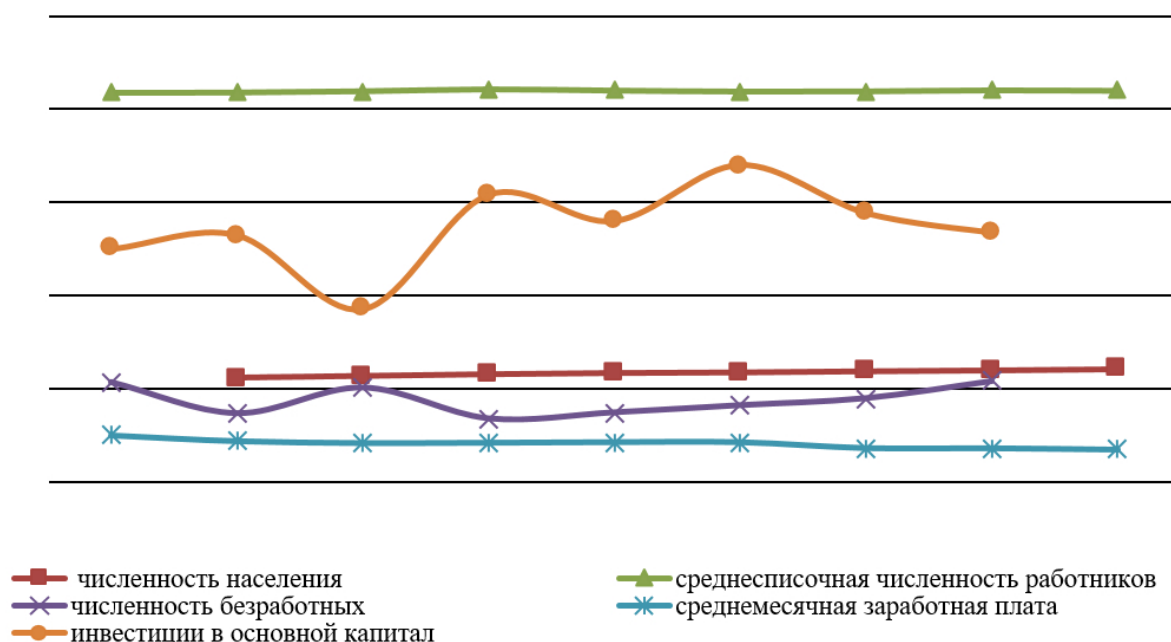


Рисунок 1 – Динамика коэффициента вариации, рассчитанная по различным показателям, по районам Карельской Арктики

В результате данного фактора мы можем говорить о снижении разницы между исследуемыми территориями. Показатель *численность безработицы* показывает увеличение разрыва между исследуемыми регионами. Наиболее неустойчивое поведение демонстрирует показатель *инвестиции в основной капитал*, показывая на отдельных периодах исследуемого временного интервала промежутки сходимости, расходимости. Скачкообразное поведение коэффициента вариации по показателю *инвестиции в основной капитал* позволяет сделать вывод о том, что на протяжении исследовательского периода изменение экономических условий вызывало различную реакцию районов Карельской Арктики, в результате чего наблюдается подобное поведение.

Выводы

Проведенная оценка экономического развития человеческого капитала определила высокий уровень неоднородности районов Карельской Арктики, которая прослеживается на протяжении десятилетнего периода. Исследования социально-экономических индикаторов развития выявили значительные различия по исследуемым территориям. Наиболее высокие показатели развития наблюдаются на территориях, в рамках которых функционируют развитые производственные комплексы, обеспечивающие устойчивое развитие территории и большинства экономических показателей. В контексте рассматриваемых районов лидером является Костомукшский ГО, на территории которого функционирует горнообогатительный комбинат АО «Карельский окатыш», деятельность которого влияет на основные показатели экономического роста территории.

Проведенная в исследовании ранговая оценка и последующее ранжирование рассматриваемых территорий показывает, что наличие крупного производственного предприятия способствует положительным тенденциям экономического развития и позитивно влияет на формирование и развитие человеческого капитала. Дальнейшее распределение районов Карельской Арктики происходит соответственно экономическому потенциалу территории, наличию природных ресурсов и уровню экономической активности и т.д.

Выявленная неоднородность районов Карельской Арктики подтверждается оценкой отклонения от среднего значения коэффициентом осцилляции. Стабильный рост разрыва между районами наблюдается по показателю *численности безработицы* с 2016 г, что характеризует экономическую ситуацию в рассматриваемых районах. В Костомукшском ГО численность безработных, как и уровень безработицы, имеет устойчивую тенденцию к снижению на протяжении рассматриваемого периода. Наблюдаемые в Костомукшском ГО высокие показатели экономического развития, в сравнении с другими регионами Карельской Арктики, позволяют определить основные факторы экономического роста территории – наличие производственного комплекса.

Производственная деятельность, её рентабельность и эффективность является одним из факторов, обеспечивающих территорию потенциалом для развития, однако данное направление не является единственным. В составе районов Карельской Арктики не все районы обеспечены производственным комплексом, способным стимулировать рост социально-экономических показателей территории. Для других территорий возможностями экономического развития могут быть лесодобывающие производства и их развитие и увеличение направлений производствен-

ной деятельности. Важным направлением экономического роста территорий может быть стимулирование экономической активности, в рамках которого происходит развитие производственных и предпринимательский структур, что повышает уровень и качество жизни населения и приводит к положительным показателям развития человеческого капитала.

Выявленная в исследовании неоднородность районов Карельской Арктики оценивалась с позиции экономических индикаторов, которые показывают различные тенденции и динамику. В рамках оценки неравенства районов отмечается сравнительно устойчивое поведение рассматриваемых индикаторов оценки человеческого капитала, отмечается отсутствие изменений. Ровная динамика позволяет говорить о стабильном развитии человеческого капитала в районах Карельской Арктики.

Список литературы:

1. Смирнов А.В. Человеческое развитие и перспективы формирования экономики знаний в российской Арктике // Арктика: экология и экономика. 2020. № 2(38). С. 18-30. doi:10.25283/2223-4594-2020-2-18-30.
2. Волков А. Д. Человеческий капитал Арктической Карелии: установки и практики населения региона в области повышения доходов и благосостояния // Креативная экономика. 2020. №12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/chelovecheskiy-kapital-arkticheskoy-karelii-ustanovki-i-praktiki-naseleniya-regiona-v-oblasti-povysheniya-dohodov-i> (дата обращения: 29.04.2022)
3. Устинова К.А. Человеческий капитал в инновационной экономике (текст): монография / К.А. Устинова, Е.С.Губанова, Г.В. Леонидова. Вологда: Институт социально-экономического развития территории РАН 2015. 195 с.
4. Столбов В.А., Шарыгин М.Д. Категория «Региональный капитал» как базисный компонент общественной географии // Общественная география в меняющемся мире: фундаментальные и прикладные исследования. Материалы международной научной конференции в рамках X научной Ассамблеи Ассоциации российских географов-обществоведов (АРГО). Ассоциация российских географов-обществоведов. 2019. С. 76-79
5. Зубаревич Н.В., Макаренцева А., Мкртчян Н. Социально-экономическое положение регионов и демографические итоги 2019 г. (по результатам регулярного мониторинга ИНСАП РАНХиГС) // Экономическое развитие России. 2020. № 4. С. 73-87.
6. Михеева Н. Н. Дифференциация социально-экономического положения регионов России и проблемы политики. М.: РПЭИ. 2000. 60с. (Научные доклады ; N 99/09)
7. Harold A. Innis The Fur Trade in Canada: An Introduction to Canadian Economic History. University of Toronto Press. Series: The Canada 150 Collection 2017. 464 p.
8. Арктический регион: проблемы международного сотрудничества: Хрестоматия в 3 томах / Росс. совет по межд. д [по общ. редакцией И. С. Иванова]. М.: АспектПресс. 2013. Т.1. 360 с.
9. Экономика современной Арктики: в основе успешности эффективное взаимодействие и управление интегральными рисками : монография / под научной редакцией В. А. Крюкова, Т. П. Скуфыной, Е. А. Корчак. Апатиты:ФИЦ КНЦ РАН, 2020. 245 с.
10. Иванова М.В., Белевских Т.В., Зайцев Д.В. Об арктическом рынке труда // Проблемы развития территории. 2017. № 1. С. 145–157. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/ob-arkticheskom-rynke-truda>, (дата обращения 29.03.2022)
11. Кекконен А.Л., Симакова А.В., Степуть И.С. Особенности пространственного развития и расширенного воспроизводства человеческого капитала в Республике Карелия и арктических регионах Европейского Севера России // Мир экономики и управления. 2017. Т. 17. № 2. С. 86–97.
12. Schultz T. W. Investment in Human Capital: The Role of Education and of Research. New York; 1971. 249 p.
13. Human Capital Investment: An International Comparison. Organisation for Economic

- Co-operation and Development. Centre for Educational Research and Innovation. OECD. Paris; 1998. 113 p.
14. Пришляк Е. А., Радько С. Г. Исследование факторов, влияющих на формирование человеческого капитала в Российской Федерации // *Управленческие науки*. 2018. 8(2): С. 94-105. doi: 10.26794/2404-022X-2018-8-2-94-105
 15. Канева М.А. Влияние капитала здоровья населения на экономический рост регионов РФ // *Регион: экономика и социология*. 2019. №1. С. 47–70.
 16. Корчак Е.А. Человеческий капитал и дисбаланс на рынках труда Арктической зоны России // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2018. №9 (366). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/chelovecheskiy-kapital-i-disbalans-na-rynках-truda-arkticheskoy-zony-rossii> (дата обращения: 22.03.2022).
 17. Михайлова, А. Н. Анализ качества жизни и человеческого потенциала (на примере регионов Арктической зоны России) / А. Н. Михайлова, Л. Н. Попова // *Теория устойчивого развития экономики и промышленности*. Санкт-Петербург, 2016. С. 264–265
 18. Larchenko, L. V. Regions of the Russian arctic zone: state and problems at the beginning of the new development stage / L. V. Larchenko, R. A. Kolesnikov // *Intern. J. Engineering and Technology (UAE)*. 2018. Vol. 7 (3.14 Special Issue 14). P. 369–375.
 19. Кекконен А. Л., Симакова А. В., Степуть И. С. Особенности пространственного развития и расширенного воспроизводства человеческого капитала в Республике Карелия и арктических регионах европейского севера России // *Мир экономики и управления*, 2017. 17 (2). С. 86-96.
 20. Москаленко М. Р., Кропанева Е. М., Особенности человеческого капитала и развитие Российской Арктики // *Арктика и Север*. 2013. № 13. URL: http://www.arcticandnorth.ru/article_index_years.php?ELEMENT_ID=94743 (дата обращения: 22.03.2022).
 21. Север и Арктика в новой парадигме мирового развития: актуальные проблемы, тенденции, перспективы. Научно-аналитический доклад / под науч. ред. д.э.н, проф. В.С. Селина, д.э.н., проф. Т.П. Скуфьиной, к.э.н., доц. Е.П. Башмаковой, к.э.н., доц. Е.Е. Торопушиной. – Апатиты: КНЦ РАН, 2016. – 420 с
 22. Barro P.J., X. Sala-J-Martin (1995) *Economic Growth*. 200 p.
 23. Barro P.J., X. Sala-J-Martin (1991) *Convergence across states and region*. *Brooking Papers on Economy Activity*. №1. 58-107 p.

References:

1. Smirnov A.V. *Chelovecheskoe razvitie i perspektivy formirovaniya ekonomiki znanij v rossijskoj Arktike* // *Arktika: ekologiya i ekonomika*. 2020. № 2(38). S. 18-30. doi:10.25283/2223-4594-2020-2-18-30.
2. Volkov A. D. *Chelovecheskiy kapital Arkticheskoy Karelii: ustanovki i praktiki naseleniya regiona v oblasti povysheniya dohodov i blagosostoyaniya* // *KE*. 2020. №12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/chelovecheskiy-kapital-arkticheskoy-karelii-ustanovki-i-praktiki-naseleniya-regiona-v-oblasti-povysheniya-dohodov-i> (дата обращения: 29.04.2022)
3. Ustinova K.A. *Chelovecheskiy kapital v innovacionnoj ekonomike (tekst): monografiya* / K.A. Ustinova, E.S.Gubanova, G.V. Leonidova. Vologda: Institut social'no-ekonomicheskogo razvitiya territorii RAN 2015. 195 s.
4. Stolbov V.A., SHarygin M.D. *Kategoriya «Regional'nyj kapital» kak bazisnyj komponent obshchestvennoj geografii* // *Obshchestvennaya geografiya v menyayushchemsya mire: fundamental'nye i prikladnye issledovaniya. materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii v ramkah X nauchnoj Assamblei Associacii rossijskih geografov-obshchestvovedov (ARGO)*. Associaciya rossijskih geografov-obshchestvovedo. 2019. S. 76-79
5. Zubarevich N.V., Makarenceva A., Mkrtychyan N. *Social'no-ekonomicheskoe polozhenie regionov i demograficheskie itogi 2019 g. (po rezul'tatam regul'yarnogo monitoringa INSAP RANHiGS)* // *Ekonomicheskoe razvitie Rossii*. 2020. № 4. S. 73-87.
6. Miheeva N. N. *Differenciaciya social'no-ekonomicheskogo polozheniya regionov Rossii i problemy politiki*. M.: RPEI. 2000. 60s. – (Nauchnye doklady ; N 99/09)
7. Innis, H. A. *The Fur Trade in Canada: An Introduction to Canadian Economic History* / Harold A. Innis ; with a new introductory essay n by Arthur J. Ray. Copyright 1930 by Yale University Press. Toronto : University of Toronto Press. 2001. 464 p.
8. *Arkticheskij region: problemy mezhdunarodnogo sotrudnichestva: Hrestomatiya v 3 tomah* / Ross. sovet po mezhd. d [po obshch. redakcij I. S. Ivanova].. M.: AspektPress. 2013. T.1. 360 s.

9. *Ekonomika sovremennoj Arktiki: v osnove uspeshnosti effektivnoe vzaimodejstvie i upravlenie integral'nymi riskami* : monografiya / podnauchnoj redakciej V. A. Kryukova, T. P. Skuf'inoj, E. A. Korchak. Apatity: FIC KNC RAN, 2020. 245 s.
10. Ivanova M.V., Belevskih T.V., Zajcev D.V. Ob arkticheskom rynke truda // *Problemy razvitiya territorii*. 2017. № 1. S. 145–157. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/ob-arkticheskom-rynke-truda>, (data obrashcheniya 29.03.2022)
11. Kekkonen A.L., Simakova A.V., Stepus' I.S. Osobennosti prostranstvennogo razvitiya i rasshirennogo vosproizvodstva chelovecheskogo kapitala v Respublike Kareliya i arkticheskikh regionah Evropejskogo Severa Rossii // *Mir ekonomiki i upravleniya*. 2017. T. 17. № 2. S. 86–97.
12. Schultz T. W. *Investment in Human Capital: The Role of Education and of Research*. New York; 1971. 249 p.
13. *Human Capital Investment: An International Comparison*. Organisation for Economic Co-operation and Development. Centre for Educational Research and Innovation. OECD. Paris; 1998. 113 p.
14. Prishlyak E. A., Rad'ko S. G. Issledovanie faktorov, vliyayushchih na formirovanie chelovecheskogo kapitala v Rossijskoj Federacii // *Upravlencheskie nauki*. 2018. 8(2): С. 94-105. doi: 10.26794/2404-022X-2018-8-2-94-105
15. Kaneva M.A. Vliyanie kapitala zdorov'ya naseleniya na ekonomicheskij rost regionov RF // *Region: ekonomika i sociologiya*. 2019. № 1. S. 47–70.
16. Korchak E.A. Chelovecheskij kapital i disbalans na rynkah truda Arkticheskoy zony Rossii // *Nacional'nye interesy: priority i bezopasnost'*. 2018. №9 (366). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/chelovecheskiy-kapital-i-disbalans-na-rynkah-truda-arkticheskoy-zony-rossii> (data obrashcheniya: 22.03.2022).
17. Mihajlova, A. N. Analiz kachestva zhizni i chelovecheskogo potenciala (na primere regionov Arkticheskoy zony Rossii) / A. N. Mihajlova, L. N. Popova // *Teoriya ustojchivogo razvitiya ekonomiki i promyshlennosti*. Sankt-Peterburg, 2016. S. 264–265
18. Larchenko, L. V. Regions of the Russian arctic zone: state and problems at the beginning of the new development stage / L. V. Larchenko, R. A. Kolesnikov // *Intern. J. Engineering and Technology (UAE)*. 2018. Vol. 7 (3,14 Special Issue 14). P. 369–375.
19. Kekkonen Aleksandra Leonidovna, Simakova Anna Vasil'evna, & Stepus' Irina Sergeevna (2017). Osobennosti prostranstvennogo razvitiya i rasshirennogo vosproizvodstva chelovecheskogo kapitala v Respublike Kareliya i arkticheskikh regionah evropejskogo severa Rossii. *Mir ekonomiki i upravleniya*, 17 (2), 86-96.
20. Moskalenko M. R., Kropaneva E. M., Osobennosti chelovecheskogo kapitala i razvitie Rossijskoj Arktiki // *Arktika i Sever*. 2013. № 13 URL: http://www.arcticandnorth.ru/article_index_years.php?ELEMENT_ID=94743 (data obrashcheniya: 22.03.2022).
21. Sever i Arktika v novej paradigme mirovogo razvitiya: aktual'nye problemy, tendencii, perspektivy. Nauchno-analiticheskij doklad / pod nauch. red. d.e.n, prof. V.S. Selina, d.e.n., prof. T.P. Skuf'inoj, k.e.n., doc. E.P. Bashmakovoj, k.e.n., doc. E.E. Toropushinoj. –Apatity: KNC RAN, 2016. 420
22. Barro P.J., X. Sala-J-Martin (1995) *Economic Growth*. 200 p.
23. Barro P.J., X. Sala-J-Martin (1991) *Convergence across states and region*. *Brooking Papers on Economy Activity*. №1. 58-107 p.

Научная статья

УДК 551.583+551.3261

DOI: 10.24412/2658-4255-2022-2-21-33

Для цитирования:

К.В. Фильчук, В.Б. Коробов, А.В. Юлин, Т.В. Шевелева
Влияние наблюдаемых изменений климатических условий на хозяйственную деятельность в морях Российской Арктики // Российская Арктика. 2022. № 17. С. 21–33

Получена: 09.06.2022

Принята: 05.07.2022

Опубликована: 08.07.2022

Работа выполнена в рамках НИТР Росгидромета проект 5.1 «Развитие моделей, методов и технологий мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы, океана, морского ледяного покрова, ледников и вечной мерзлоты, процессов взаимодействия льда с природными объектами и инженерными сооружениями для Арктики и технологий гидрометеорологического обеспечения потребителей» на 2020–2024 гг.



ВЛИЯНИЕ НАБЛЮДАЕМЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ХОЗЯЙСТВЕННУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

К.В. Фильчук¹, В.Б. Коробов^{1,2}, А.В. Юлин¹, Т.В. Шевелева¹

¹ Научно-исследовательский институт Арктики и Антарктики, Санкт-Петербург, Россия

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия
kirill@aari.ru, szoioran@mail.ru, icefor@aari.ru, sheveleva@aari.ru

Аннотация: В статье рассмотрены природные факторы, влияющие на навигацию и освоение минеральных ресурсов евразийского арктического шельфа при наблюдающемся сокращении ледяного покрова в морях Северного Ледовитого океана. Проведен анализ потенциального влияния некоторых гидрометеорологических факторов на изменения условий хозяйственной деятельности в Арктике. Показано, что при определённых синоптических ситуациях ледовые условия на отдельных участках трассы СМП могут существенно ухудшаться, даже при общем уменьшении ледовитости в российских арктических морях.

Активизировались процессы, которые ранее протекали достаточно медленно. Например, наблюдаемое потепление привело к повышению ледопродуктивности выводных ледников арктических архипелагов ЗФИ, Новая Земля, Северная Земля. Это в свою очередь привело к увеличению айсбергов и их обломков на путях плавания судов и повышению айсберговой опасности. Увеличение площади открытой воды стало приводить к увеличению длины разгона, скорости течений, величины непериодических колебаний уровня и размеров высоты и длины ветровых волн в штормах.

Авторами сделан вывод о том, что при общем изменении ледового режима морей в лёгкую сторону по целому ряду показателей, таких как интенсивности очищения акваторий, ледовитости, увеличению продолжительности безледного периода, в отдельных районах арктических морей и на локальных участках плавания СМП может наблюдаться ухудшение навигационной обстановки. Увеличение повторяемости критических значений целого ряда ледово-гидрологических характеристик (айсберги, течения, волнение, колебания уровня) в целом привели к усложнению условий и возникновению новых рисков для хозяйственной деятельности в Арктике, увеличению нагрузок на гидротехнические сооружения. Вместе с тем рост объема перевозок по СМП одновременно с изменением ледово-гидрологических характеристик и появлением новых рисков создает условия, способствующие более быстрому распространению нефтяных загрязнений при аварийных разливах.

Ключевые слова: Арктический шельф, гидротехнические сооружения, навигация, потепление Арктики

INFLUENCE OF CLIMATE CHANGES ON NAVIGATION AND DEVELOPMENT OF THE CONTINENTAL SHELF IN THE RUSSIAN ARCTIC SEAS

К.В. Filchuk¹, V.B. Korobov^{1,2}, A.V. Yulin¹, T.V. Sheveleva¹

¹ Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

² Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
kirill@aari.ru, szoioran@mail.ru, icefor@aari.ru, sheveleva@aari.ru

Abstract: This article considers factors that influencing navigation and mineral resources exploration on the Arctic shelf taking into account observed sea ice reduction. An analysis was made of the potential impact of some hydrometeorological factors on changes in the conditions of economic activity in the Arctic. It is shown that under certain synoptic situations, ice conditions for navigation in certain sections of the NSR route can significantly deteriorate, even with a decrease in the total ice cover in the Russian Arctic seas.

Processes that previously proceeded rather slowly were activated. For example, the observed warming has led to an increase in the ice productivity of the outlet glaciers of the Arctic archipelagos of the Franz Josef Land, Novaya Zemlya, and Severnaya Zemlya. This led to an increase in number of icebergs and their parts on the shipping routes and higher iceberg danger. The area of open water has increased. It caused an increase in the speed, wind, currents, magnitude of periodic fluctuations and the size of the wind waves during the storms.

The authors have concluded that the deterioration in the navigation situation can be observed despite of the increasing of the ice-free period duration in some areas of the Arctic seas and the Northern Sea Route. An increase in the frequency of critical values of icebergs, currents, waves and level fluctuations in general led to a more complicated environment for the economic development of the Arctic shelf and a growth in the load on hydraulic structures. At the same time, the growth in traffic along the Northern Sea Route with a change in the ice-hydrological characteristics creates conditions providing more rapid spread of oil pollution during accidental spills.

Keywords: Arctic shelf, Arctic warming, hydraulic structures, navigation

Введение

Текущее глобальное изменение климата, в котором преобладает рост температуры воздуха, в наибольшей степени затронуло Арктику, в которой интенсивность этого процесса существенно выше по сравнению с умеренными широтами. Когда в такой сложной системе, как «океан-лед-атмосфера», происходит существенное и устойчивое изменение одного параметра, например, температуры воздуха, то это естественным образом влечёт за собой изменение других параметров системы. В наибольшей степени потепление воздуха, как и следовало ожидать, коснулось ледяного покрова Северного Ледовитого океана (СЛО) и его морей. Коэффициент корреляции между суммарной летней температурой воздуха в широтной зоне 70–85°с.ш. и площадью льдов в СЛО в сентябре равен -0,93 [1], хотя сам механизм этого влияния ещё остаётся не исследованным и до конца понятным [2]. При этом также надо принимать во внимание наблюдаемое нарушение стационарности в межгодовой изменчивости площади ледяного покрова [3].

Происходящее потепление, помимо ледяного покрова, оказывает влияние и на другие гидрометеорологические характеристики и процессы. Естественно, что все эти изменения, как верно отмечено в [4], носят разнонаправленный характер и оказывают заметное влияние на логистику морских операций, экономическую ситуацию в целом, причём не только в арктическом регионе, но и далеко за его пределами.

Оценки экономических перспектив арктического региона у разных авторов сильно различаются: от ожидаемой экономической эффективности,

порядок которой оценивается в миллиарды рублей, связанной с улучшением условий плавания и освоением природных ресурсов, до такого же рода расходов, связанных с необходимостью модернизации береговой инфраструктуры, укрепления фундаментов сооружений и ликвидации аварий из-за деградации многолетней мерзлоты и возможных негативных воздействий на экологию и биоразнообразие.

Цель исследований

Общепринятой методики оценки экономических последствий от изменения климата в Арктике ещё не выработано, иначе трудно объяснить кардинальные расхождения оценок. Одной из причин этому является недостаточное понимание происходящих природных процессов, а значит и сложности в составлении долгосрочных прогнозов и применении математических моделей. Так, при моделировании логистических операций в Арктике на стандартные модели накладывается порядка десятка ограничений, вызванных спецификой региона, в том числе и влиянием природных факторов на социально-экономические характеристики [5]. Но, с другой стороны, это обстоятельство открывает широкие перспективы для совершенствования моделей и вычислительных алгоритмов [6]. Естественно, что для этого необходимо знание природных процессов и верное определение факторов, на них влияющих.

Исходя из этого, целью настоящей работы является исследование влияния природных факторов, оказывающих воздействие на навигацию, логистические операции и освоение континентального шельфа в морях Российской Арктики в условиях текущего изменения климата. Поскольку такие исследования весьма объёмны, на первом этапе авторы ограничились качественным анализом, чтобы получить общее представление о характере этого влияния.

Факторы, влияющие на морской транспорт и гидротехнические сооружения на континентальном шельфе

Все природные факторы, влияющие на судоходство, логистические операции, проектирование, строительство и функционирование гидротехнических сооружений на континентальном шельфе, можно разбить на несколько групп. Применительно к условиям рассматриваемой нами задачи, наиболее важными являются метеорологические, океанологические и ледовые факторы, которые в таком порядке и будут рассмотрены.

Метеорологические факторы оказывают влияние на суда, плавсредства и сооружения как непосредственно, так и опосредованно. Наиболее значимым метеорологическим фактором является направление и скорость **ветра**. Штормовой ветер с определенных направлений оказывает интенсивные нагрузки на сооружения и маневренность судов, вызывает высокие волны и сильные дрейфовые течения и нагоны.

Температуру воздуха необходимо рассматривать в двух временных масштабах: синоптическом, когда отрицательные температуры влияют на обледенение судов и сооружений, и сезонном, когда длительные положительные температуры способствуют интенсивному таянию льда, а отрицательные температуры, наоборот, быстрому нарастанию.

Опасные природные гидрометеорологические явления – явления, воздействие которых может привести к гибели людей и нанести значительный ущерб отраслям экономики [7]. Перечень этих характеристик

и их критерии специфичны для каждой отрасли и региона. Существуют еще и так называемые Перечни опасных погодных явлений (ОПЯ), которые также составляются в региональных УГМС для отдельных районов.

Океанологические характеристики, как правило, непосредственно влияют на суда, плавсредства и сооружения. Наиболее значимым из океанологических факторов принято считать **волнение**. При контакте с сооружениями и судами штормовые волны могут сдвинуть с места или даже разрушить сооружения и их части, стать причиной смещения грузов и даже опрокидывания судов. Волны активно участвуют в процессе размыва дна и берегов.

В качестве примера ошибочных решений без должного учета гидрометеорологических явлений можно привести эксперимент по строительству каменного причального сооружения для разгрузки судов на мысе Шмидта в Чукотском море. Все результаты дорогостоящих и трудозатратных работ по созданию каменного отсыпного причала были уничтожены первым же штормом, пришедшим с северо-восточного направления на мыс Шмидта.

Течения сильно осложняют операции швартовки и перешвартовки у пирсов, терминалов и платформ. Как и волны, течения в ещё большей степени размывают дно и берега. В арктических морях течения переносят ледяные поля и айсберги, столкновения с которыми чреваты серьёзными последствиями и для судов, и для сооружений.

Колебания уровня способствуют термоабразии дна и берегов за счёт увеличения контакта слагающих дно и берега пород с более тёплой водой, что приводит их к разрушению [8]. Расположенные на таких берегах сооружения разрушаются вместе с ними. Также следует принимать в расчёт, что повышение уровня может привести к отрыву от дна таких ледяных образований как стамухи и гряды торосов, которые, придя в движение, пропахивают морское дно и могут повредить проложенные на дне трубопроводы и кабели, а наваливаясь на сооружения, могут их серьёзно повредить.

Ледовые условия играют ключевую роль во всех процессах в арктических морях. Большие нагрузки на сооружения оказывают дрейфующие ледяные поля. Дрейфуя под действием ветра и течений и взаимодействуя друг с другом, они могут привести к повреждению судов и вывести из строя любое береговое сооружение. Движение во льдах требует наличия судов ледового класса и ледокольной проводки. Но и ледоколы далеко не всегда могут преодолевать торосистые ледяные поля в условиях приливного и ветрового сжатия.

Большую проблему для мореплавания и сооружений представляют **айсберги и их обломки**, столкновения с которыми являются причинами многих катастроф. Навалы айсбергов и их обломков, различных ледяных образований, таких как сильно восторошенные ледяные поля и несяки, могут нанести существенные повреждения различным гидротехническим сооружениям.

Анализ изменения природных условий и их влияние на навигацию и освоение континентального шельфа

Климатические изменения определяются как естественными, так и в определённой степени планетарными процессами взаимодействия атмосферы с верхним слоем океана и его снежно-ледяным покровом.

Влияние **температуры** воздуха, среднегодовые значения которой за

последние тридцать лет в приземном слое повысились более, чем на 1 °С [9], а весной и осенью ещё больше, до полутора градусов, сказалось главным образом на ледяном покрове. Опосредованное влияние повышения температуры воздуха сказывается на различных объектах вследствие таяния мерзлотных пород, слагающих морское дно, в результате чего наблюдается переход газогидратов из твердого в газовое состояние. Резкие выбросы метана в воду значительно уменьшают плотность морской воды, и, если это произойдёт в месте нахождения судна или сооружения, может вызвать катастрофу [10].

Существенно выросла повторяемость штормов. По результатам моделирования установлено, что, в частности, в Карском море с 1979 по 2019 г. число штормов выросло в два раза, причём наибольшее их количество отмечается глубокой осенью [11]. А это означает, что в открытых частях моря на освобождающихся ото льда акваториях увеличилась средняя скорость **ветра** [9] и, соответственно, влияние ветра на вызываемые им динамические процессы – волнение, течения, сгонно-нагонные колебания уровня.

Такая же ситуация характерна и для других районов арктических морей, акватории которых стали в значительной степени очищаться ото льда. Однако, по данным береговых станций средняя годовая скорость ветра в последние годы несколько снизилась, что может говорить о снижении интенсивности атмосферной циркуляции в прибрежной зоне. Причиной этому может также быть и выравнивание в сторону уменьшения горизонтальных градиентов приземной температуры воздуха между сушей и морем. Этот вопрос заслуживает специального изучения.

Следствием увеличения площади свободной ото льда в осенний и весенний периоды поверхности морей, когда температура воды выше температуры воздуха, является увеличение турбулентного теплообмена в приземном слое атмосферы. Более тёплые и насыщенные влагой воздушные массы поднимаются вверх и образуют низкую облачность, препятствующую полётам малой авиации. Это явление также способствует более частому образованию плотных туманов, порывов ветра, шквалов и других опасных явлений. Однако количественные характеристики этих явлений получить достаточно трудно, поскольку они носят локальный характер, редко наблюдаются и чаще всего не фиксируются существующей системой наблюдений.

Океанологические характеристики существенно изменяются под воздействием влияния атмосферы, состояния ледяного покрова и взаимодействия между компонентами системы «океан-атмосфера».

В наибольшей степени большая открытость акватории сказалась на увеличении размеров волн. Увеличение разгонов, особенно при северных румбах, привело к увеличению высот и длин ветровых волн и зыби, в том числе и экстремальных, в полтора-два раза [9, 11]. Такой рост резко увеличивает нагрузку на гидротехнические сооружения и ухудшает условия плавания. Следует также отметить такое опасное явление, как ледовый шторм, во время которого лёд под действием волнения может выбрасываться на берег на десятки метров. При этом льдинами срезаются и перемещаются находящиеся на берегу различные предметы и даже отдельные строения. Это явление отмечается на Севере достаточно давно, и противостоять ему крайне сложно. Ледовому шторму благоприятствуют взломы и отрыв от берега припая, которые случаются всё чаще.

Отсутствие ледяного покрова приводит также к некоторому увеличению скорости приливных и дрейфовых течений. Происходит это из-за

прекращения трения перемещающихся в горизонтальной плоскости водных масс о нижнюю поверхность морского льда, которое, как это следует из теории движения жидкости и газа вблизи шероховатых поверхностей [12], в обычных условиях весьма значительно [13], но точные величины изменения скоростей течений пока установить непросто.

В условиях арктических морей увеличение скорости течений влияет на характеристики волнения, вследствие так называемых радиационных напряжений и в некоторых случаях — уровня, что приводит в ряде случаев к увеличению экзарации дна и берегов.

Взаимодействие волн и течений впервые было отмечено в Тихом океане [14], когда измеренные распространяющиеся на встречных течениях все характеристики волнения оказались заметно отличающимися — более, чем в два раза, от волн, образующихся на акваториях без течений. Изменение параметров ветровых волн является следствием обмена энергии между волнами и средними течениями в результате возникающих так называемых радиационных напряжений [15]. С их учётом были построены спектральные теории волнения на течениях [16,17], позволяющие рассчитывать характеристики ветровых волн на течениях. Оказалось, что на встречных течениях волны становятся не только более высокими, но и более крутыми, что значительно увеличивает качку, особенно маломерных судов, повышая тем самым вероятность аварийных ситуаций при распаузе (разгрузке судна-снабженца, стоящего на рейде необорудованного пункта разгрузки, маломерными грузовыми судами). Даже на экстремальные волны сильные течения оказывают влияние, увеличивая их высоту до 15–17 % [18], а эта величина достаточно значима и заметно удорожает строительство гидротехнических сооружений. Получается, что увеличение скоростей течений и разгонов ветровых волн приводит к ещё большему росту высот волн и увеличению крутизны волнения, что ухудшает условия для гидротехнического строительства и плавания судов.

На параметры волнения оказывает влияние и изменение уровня. При его повышении волны на мелководье становятся более высокими, поскольку диссипация энергии из-за трения о дно начинает сказываться позже. Следовательно, в таких районах воздействие волнения на суда и технические сооружения будет более интенсивным, а размыв дна начинаться дальше от берега. С другой стороны, понижение уровня сдвигает зону обрушения волн дальше от берега, что необходимо учитывать при инженерных изысканиях.

В целом же, как показывают исследования ААНИИ [9], в межгодовой изменчивости уровня сохраняется положительная тенденция на большинстве морских станций. В качестве примера приведём данные по станции Амдерма в Карском море (рис. 1), где средний уровень заметно вырос за последние годы.

Ледовые условия, а точнее их изменения, являются самыми исследуемыми и обсуждаемыми из всех природных характеристик СЛО и его морей. И это справедливо, поскольку изменение площади и состояния ледяного покрова оказывает влияние на все другие элементы гидрометеорологического режима, а также экологическую ситуацию.

Ледовитость морей российской Арктики в летний период, по которым проходит Северный Морской путь (СМП), начиная с конца 80-х — начала 90-х годов прошлого столетия начала устойчиво уменьшаться [19]. Повышенный фон ледовитости, который наблюдался в период с начала 50-х до конца 80-х годов прошлого столетия, сменился пониженным

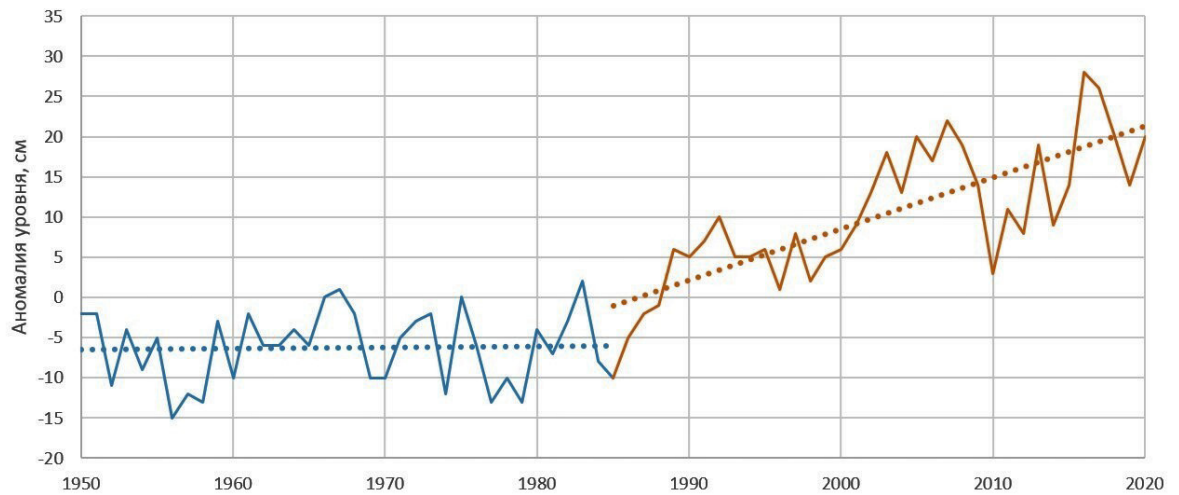


Рисунок 1 – Аномалии среднегодового уровня юго-западной части Карского моря на станции Амдерма.

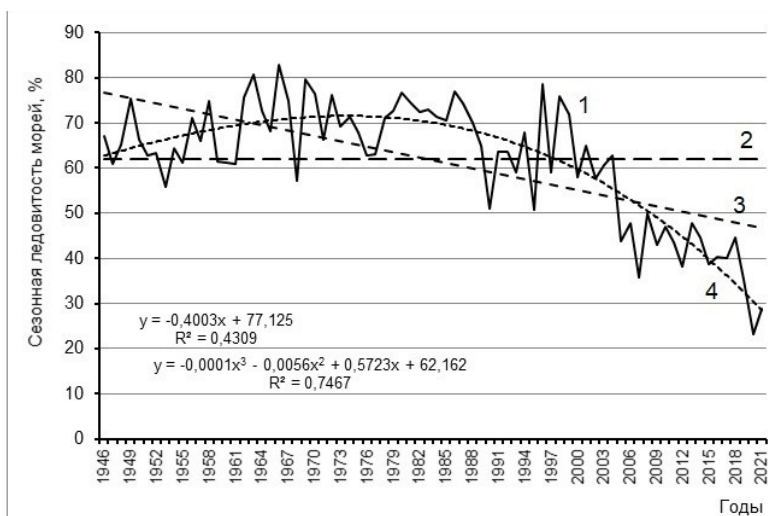


Рисунок 2 – Межгодовые изменения суммарной ледовитости в августе российских арктических морей, по которым проходит трасса СМП
1 – ряд наблюдений за ледовитостью морей,
2 – среднее многолетнее значение ледовитости за весь ряд наблюдений,
3 – линейный тренд,
4 – аппроксимация полиномом 3-ей степени.

фоном, который наблюдается в настоящее время и носит прогрессирующий характер. На рисунке 2 приведен межгодовой ход суммарной среднемесячной ледовитости четырех арктических морей трассы СМП (Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское) за август. Изменение суммарной среднемесячной ледовитости хорошо аппроксимируется полиномом третьей степени со значимым коэффициентом детерминации, составляющим $R^2=0,72$. Есть все основания полагать, что в ближайшие годы, а может быть и десятилетия, в связи со значительной инерционностью климатической системы, пониженный фон ледовитости арктических морей сохранится [1, 19].

В многочисленных статьях, анализирующих современное состояние летних ледовых условий на трассах СМП, отмечается ряд существенных изменений в основных чертах ледового режима, особенно проявившихся в период 2000–2020 гг. Например, отмечено более раннее начало таяния ледяного покрова [20], более интенсивное разрушение ледяного покрова в летний сезон, особенно проявляющееся в Карском и Чукотском морях [21], значительное сокращение ледовитости морей за летний сезон [21], увеличение повторяемости полного очищения морей ото льдов [22], значительное уменьшение количества остаточных льдов, сохранившихся после летнего таяния [23, 24], более позднее начало осеннего ледообразования [25].

Однако наметившееся улучшение ледовых условий в целом на трассе СМП вызвало появление целого ряда неблагоприятных локальных ледовых явлений. Под более интенсивным действием тепла, атмосферного, поступающего к верхней поверхности, и океанического, поступающего к нижней поверхности, лёд становится более тонким и менее прочным.

Такой лёд быстрее ломается, легче деформируется, образуя торосы и наслоения, и значительно быстрее переносится ветром и течениями во всех направлениях. При переносе морского льда в южных направлениях могут происходить локальные выносы льдов на судоходные трассы плавания, как правило, в районах проливов и на подходе к ним. Отдельные участки трасс при общем легком фоне ледовых условий в морях становятся непроходимыми для судов на многие сутки. Такие случаи были неоднократно зафиксированы, например, в проливах Карские Ворота и Югорский Шар, на подходах к проливу Вилькицкого и в самом проливе, в проливе Лонга. На рисунке 3 приведена фактическая ледовая обстановка, наблюдавшаяся в середине июля 2015 г., когда отмечались такие случаи.

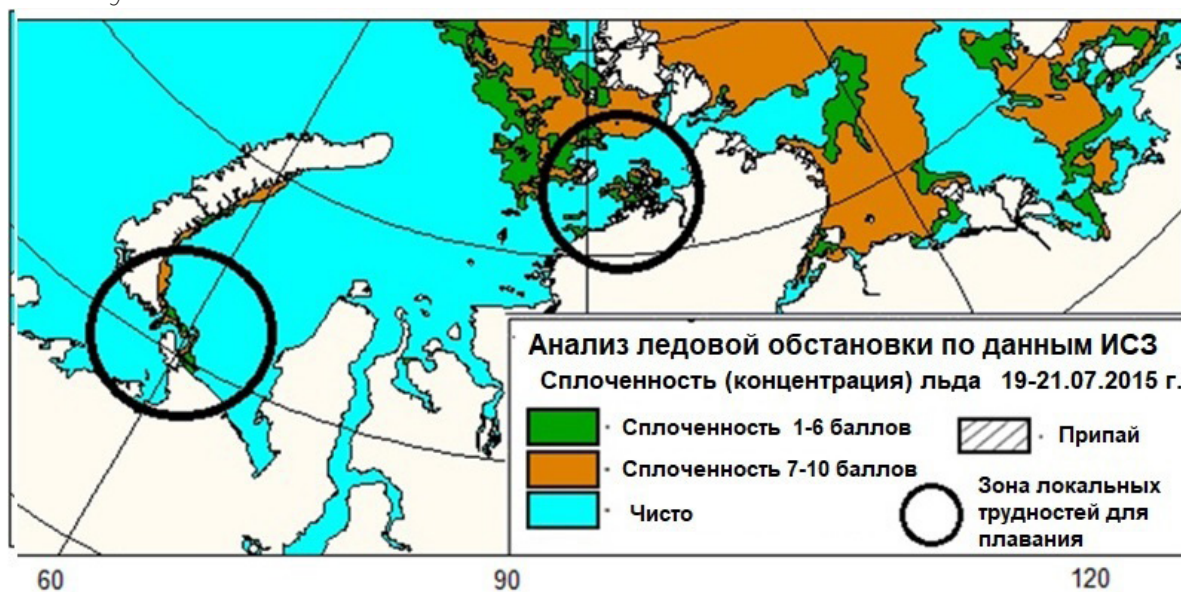


Рисунок 3 – Фактическая ледовая обстановка в Карском море на середину июля 2015 года (http://old.aari.ru/odata/_d0015.php?mod=1).

Из приведенного рисунка хорошо видно, что при практически полном очищении юго-западной части Карского моря и очищении прибрежного района плавания в северо-восточной части моря, при переходе ветра к северным направлениям на трассе плавания возникло локальное ухудшение ледовых условий. Непосредственно в пролив Карские Ворота и в прибрежный район плавания в северо-восточной части были вынесены льды различной сплоченности, которые оказались непроходимыми для судов с низкими ледовыми классами.

При устойчивых и длительных изменениях синоптической ситуации на трассу плавания могут перемещаться не только отдельные скопления ледяных полей, но и целые ледяные массивы льда. В таких случаях перекрываются уже не отдельные участки, а акватории морей площадью в тысячи квадратных километров. В результате такого выноса льдов движение по трассе Северного морского пути становилось невозможным на несколько декад, до последующего изменения синоптической обстановки со сменой ветра, которая приводила к улучшению ледовой обстановки. В таблице 1 приведена статистика перекрытия локальных участков и целых районов трассы СМП в наиболее легкие по ледовым условиям годы. В качестве критерия для отнесения года к легким использовалась суммарная ледовитость морей трассы СМП в августе и ранг года по значению ледовитости.

Из приведенных в таблице 1 данных следует, что даже в самые легкие по ледовым условиям годы, на одном-двух локальных участках трасс

сы СМП возникало перекрытие судоходных трасс плавания льдами различной сплоченности. Из 10 самых легких по ледовитости лет, в 9 случаях возникали определенные сложности в ледовой обстановке на локальных участках морей. Наиболее часто это происходит в проливе Вилькицкого и на подходах к нему, в западной части моря Лаптевых и в восточной части Восточно-Сибирского моря.

Среди неожиданно возникших негативных последствий изменения ледового режима арктических морей можно выделить резко возросшую интенсивность ледообразования в арктических морях при более позднем его начале. Позднее начало ледообразования, наблюдающееся в последнее время [25], приводит к тому, что оно начинается почти одновременно на северной границе морей среди остаточных льдов и в прибрежной материковой части, и среди арктических островов. Большая интенсивность ледообразования приводит к тому, что большие акватории морей одновременно покрываются молодыми льдами. Очень быстро начали замерзать проливы арктических морей. Для навигации этот аспект может иметь самые негативные последствия, так как любое судно с низким ледовым классом, ориентированное на плавание в легких ледовых условиях, может попасть в «ледовый плен». Именно такая ситуация возникла осенью 2021 года в восточной части Восточно-Сибирского моря и проливе Лонга. Около 20 различных транспортных судов попали в «ледовый плен» при осуществлении позднего плавания в этих районах. Интенсивное осеннее ледообразование и нарастание льда привело к «ледовому плену» судов, срыву плановых заданий и большим финансовым издержкам [26].

Таблица 1

Локальные районы возникновения обвалов и перекрытий трассы плавания по СМП в годы с наиболее легкими ледовыми условиями

Год	Суммарная ледовитость арктических морей, %	Номер по рангу легкости	Наличие районов, блокированных льдом	Район
2020	25	1	-	-
2019	35	2	1	Восточная часть Восточно-Сибирского моря
2007	36	3	2	Пролив Вилькицкого, Западная часть моря Лаптевых
2012	38	4	1	Восточная часть Восточно-Сибирского моря
2015	39	5	2	Пролив Вилькицкого, Западная часть моря Лаптевых
2017	40	6	1	Пролив Вилькицкого
2016	40	7	1	Море Лаптевых
2009	43	8	2	Пролив Вилькицкого Восточная часть Восточно-Сибирского моря
2011	44	9	1	Западная часть Восточно-Сибирского моря
2005	44	10	1	Пролив Вилькицкого

Ещё одним источником появления опасных плавучих льдов являются ледники на островах СЛО, которые в результате потепления стали более интенсивно разрушаться. В последнее десятилетие наблюдается существенный рост количества обломков и кусков айсбергов, наблюдающихся по трассе СМП, которые фиксируются не только по данным ИСЗ (наиболее крупные из них), но и по данным визуальных наблюдений с борта судов. Кроме этого, отмечается смещение южной границы распространения айсбергов и их обломков к югу, вплоть до береговой черты [27].

С увеличением числа айсбергов и их обломков выросла вероятность столкновения с ними судов и, особенно, стационарных гидротехнических сооружений (буровых платформ, отгрузочных терминалов), которые не могут оперативно переместиться с траектории их движения.

В прибрежной зоне и на мелководье отдельные ледяные образования (стамухи, несяки, торосистые ледяные поля) увеличивают экзарацию морского дна и берегов, что вместе с процессами термоабразии и размыва дна увеличивает риск аварий для судов, сооружений и проложенных по дну коммуникаций.

Несколько слов надо сказать о некоторых негативных сопутствующих явлениях, важных для авиации, и о распространении загрязнения. Более интенсивные турбулентные движения (турбулентный обмен и, что очень важно, «латентный», т.е. связанный с обменом влагой/массой, или попросту испарением) в приводном слое атмосферы часто становятся причиной низкой облачности и туманов, что напрямую ухудшает условия для полётов малой авиации и вертолётов. А это влияет на логистические операции и полёты санитарной авиации. Кроме того, плотные низкие облака играют роль стенки: в возникающем гидроаэродинамическом эффекте происходит резкое усиление ветра, который может стать равным геострофическому, следствием чего становится развитие штормового волнения.

С освоением шельфа тесно связаны экологические проблемы, без учёта которых невозможно проектирование гидротехнических сооружений – они входят в состав инженерных изысканий, и проведение логистических операций – их учёт требуется планами ликвидации аварийных разливов нефти (ЛАРН). Отметим наиболее важные из них, только те, которые непосредственным образом влияют на природную среду.

Увеличение открытого водного пространства влечёт за собой существенно большее загрязнение морской поверхности нефтяными углеводородами при аварийных разливах на терминалах, трубопроводах и танкерах. Площадь загрязнения под влиянием ветра, течений и загрязнённых льдов может достигать сотен и даже тысяч квадратных километров морской акватории и побережья.

Сокращение площади ледяного покрова существенно осложняет существование и жизнедеятельность моржей и тюленей, которые теряют места лежбищ, и белых медведей, которым приходится испытывать трудности в привычных местах обитания и при миграциях. Эти явления вносят существенные ограничения в хозяйственную деятельность и заставляют принимать более жёсткие природоохранные меры, а также более тщательно подходить к выбору места размещения промышленных и транспортных объектов.

Заключение

В целом условия для работ на арктическом шельфе и логистических операций в морях Российской Арктики за последние три десятилетия, несомненно, улучшились, что подтверждается устойчивым уменьшением ледовитости морей. Однако вместе с этим возникли новые риски и неожиданные осложнения, вопреки всем оптимистичным ожиданиям. Вызвано это в первую очередь возможным быстрым смещением сплошных льдов («обвалов» льдов) на отдельные участки судоходных трасс и проливы, интенсивным ледообразованием в осенний сезон и существенно увеличившимся ветровым волнением. Также увеличились нагрузки на надводные, подводные и зарытые гидротехнические сооружения от воздействия штормового ветра, течений и волнения. Количественные оценки этих явлений можно получить по соответствующим моделям, что позволит провести районирование трассы СМП по возможным опасным гидрометеорологическим явлениям, возникающим при наблюдаемом изменении климатических условий.

Список литературы:

1. Алексеев Г.В. Проявление и усиление глобального потепления в Арктике. // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. Т.1. С.11-26.
2. Байдин А.В., Мелешко В.П., Павлова Т.В., Говоркова В.А. Изменяется ли усиление потепления в Арктике при сокращении ледяного покрова? // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2016. № 582. С. 214-229.
3. Юлин А.В., Вязигина Н.А., Егорова Е.С. Межгодовая и сезонная изменчивость площади льдов в Северном Ледовитом океане по данным спутниковых наблюдений. // Российская Арктика, 2019. № 7, С. 28–41.
4. Жилина И.Ю. Потепление в Арктике: возможности и риски. // Экономические и социальные проблемы России. 2021, № 1 (45), с. 66-87.
5. Тутьгин А.Г., Антипов Е.О., Коробов В.Б. Проблемы моделирования логистических операций в Арктической зоне Российской Федерации. – Архангельск: КИРА, 2020. – 244 с.
6. Антипов Е.О., Григорян М.Г., Коробов В.Б., Фильчук К.В., Юлин А.В. Исследование влияния природных условий на оптимизацию северного завоза в морях Российской Арктики. // Логистика и управление цепями поставок, 2021, № 2-3 (103), с. 24-28.
7. Руководство по терминологии и оценке специализированных гидрометеорологических прогнозов. – М.: 2004, 56 с.
8. Каплин П.А., Леонтьев О.К., Лукьянов С.А., Никифоров Л.Г. Берега. – М.: Мысль, 1991, 479 с.
9. Моря российской Арктики в современных климатических условиях. – СПб.: ААНИИ, 2021, 360 с.
10. Лобковский Л.И., Никифоров С.Л. Аномальная эмиссия метана на арктическом шельфе: проблемы потепления климата и безопасного освоения ресурсов в Арктике. // Арктические ведомости, 2013, № 3 (7), с. 94-98.
11. Мысленков С.А., Платонов В.С., Сильвестрова К.П., Добролюбов С.А. Рост штормовой активности в Карском море с 1979 по 2019 г. по данным моделирования. // Доклады Российской Академии наук. Науки о Земле. 2021, т. 498, № 2, с. 175-182.
12. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1987, 840 с.
13. Дебольская Е.И. Динамика водных потоков под ледяным покровом. – М.: Издательство Московского государственного университета природообустройства. 2003. 263 с.
14. Бигелу Г., Эдмондсон В. Морские ветровые волны и прибой. – М.: Издательство «Иностранная литература», 1951, 212 с.
15. Longuet-Higgins M., Stewart R. Changes in the form of short gravity waves on long wave and tidal currents. // J. Fluid Mech., 1960, № 8, p. 565-583.
16. Лавренов И.В. Математическое моделирование ветрового волнения в пространственно-неоднородном океане. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1998, 400 с.
17. Tolman H. L. A third generation model for wind waves on slowly varying, unsteady and inhomogeneous depths and currents // J. Phys. Oceanogr. 1991. V. 21. P. 782—797.

18. Коробов В.Б., Лавренев И.В. Оценка влияния приливных течений на функции распределения высот ветровых волн. // Метеорология и гидрология, 1989, № 11, с. 73-80.
19. Гудкович З.М., Карклин В.П., Фролов И.Е. Внутривековые изменения климата, площади ледяного покрова, Евразийских арктических морей и их возможные причины. // Метеорология и гидрология, 2005, № 6. – С. 5-14.
20. Думанская И.О. Ледовые условия морей азиатской части России. М.: Изд-во ИГ-СО-ЦИН, 2017, с. 640.
21. Юлин А.В., Тимофеева А.Б., Павлова Е.А., Шаратунова М.В., Хотченков С.В. Межгодовая и сезонная изменчивость ледовитости российских арктических морей в современном климатическом периоде. // Труды ГОИН, М., 2019, № 220, С 44-60
22. Третьяков В.Ю., Фролов С.В., Сарафанов М.И. Изменчивость ледовых условий плавания по трассам Северного морского пути за период 1997-2018 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. СПб, 2019, том 65, № 3, С. 328-340.
23. Виноградная Е.С., Егорова Е.С., Шевелева Т.В., Юлин А.В. Изменчивость положения границ старых льдов в весенний период и остаточных льдов в осенний период в Северном Ледовитом океане в текущем климатическом периоде. // Российская Арктика, 2020. № 2 (9), С. 41–55.
24. Егоров А.Г. Пространственное положение кромки льдов в августе – сентябре в восточных морях России в начале XXI в. // Проблемы Арктики и Антарктики, 2020, №1 (66), С. 38-55
25. Егоров А.Г. Летняя кромка льдов и осенние сроки устойчивого ледообразования в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском в период 1981-2018 гг. // Лёд и снег. 2021. № 61(1). С. 117-127. URL: <https://doi.org/10.31857/S2076673421010075>
26. Миронов Е.У., Клячкин С.В., Макаров Е.И., Юлин А.В., Афанасьева Е.В. Особенности ледовых процессов в осенний период 2021 г. в морях Российской Арктики и оценка оправдываемости ледовых прогнозов // Российская Арктика. 2021. № 15. С. 40-53. DOI:10.24412/2658-4255-2021-4-40-53
27. Павлова Е.А., Алексеева Т.А., Миронов Е.У., Смоляницкий В.М. Особенности распределения айсбергов по данным судовых наблюдений в Карском море в 2004-2019 гг. // Российская Арктика, 2020. № 10, С. 30-36.

References:

1. Alekseev G.V. Development and amplification of global warming in the Arctic. // *Fundamentalnaya i prikladnaya klimatologiya*, 2015, 1: pp. 11-26 (In Russian)
2. Baydin A.V., Meleshko V.P., Pavlova T.V., Govorkova V.A. Izmenyayetsya li obnaruzheniye potepeniya v Arktike pri sokrashchenii ledyanogo pokrova? // *Trudy Glavnoy geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voyeykova*, 2016, № 582. pp. 214-229. (In Russian).
3. Yulin A.V., Vyazigina N.A., Yegorova Ye.S. Mezhhodovaya i sezonnaya izmenchivost' ploshchadey v Severnom Ledovitom okeane po dannym sputnikovykh nablyudeniy. // *Rossiyskaya Arktika*, 2019, 7: pp. 28-41. (In Russian).
4. Zhilina I.YU. Potepeniye v Arktike: vozmozhnosti i riski. // *Ekonomicheskiye i sotsial'nyye problemy Rossii*, 2021, 1 (45): pp. 66-87. (In Russian).
5. Tutygin A.G., Antipov Ye.O., Korobov V.B. Problemy modelirovaniya logisticheskikh operatsiy v Arkticheskoy zone Rossiyskoy Federatsii. – Arkhangel'sk: KIRA, 2020, 244 p. (In Russian).
6. Antipov Ye.O., Grigoryan M.G., Korobov V.B., Fil'chuk K.V., Yulin A.V. Issledovaniye prirodnykh usloviy po optimizatsii severnogo zavoza v moryakh Rossiyskoy Arktiki. // *Logistika i upravleniye tsepyami predlozheniy*, 2021, 2-3 (103): pp. 24-28. (In Russian).
7. *Rukovodstvo po terminologii i spetsializirovannym gidrometeorologicheskim prognozam.* - Moskva, 2004, 56 p. (In Russian).
8. Kaplin P.A., Leont'yev O.K., Luk'yanov S.A., Nikiforov L.G. Berega. - Moskva: Mysl', 1991, 479 p. (In Russian).
9. *Morya rossiyskoy Arktiki v sovremennykh klimaticheskikh usloviyakh.* – St.Petersbug: AARI, 2021, 360 p. (In Russian).
10. Lobkovskiy L.I., Nikiforov S.L. Anomal'naya emissiya metana na arkticheskome shel'fe: problemy potepeniya klimata i bezopasnogo osvoyeniya resursov v Arktike. // *Arkticheskkiye vedomosti*. 2013, 3 (7): pp. 94-98. (In Russian).
11. Myslenkov S.A., Platonov V.S., Sil'vestrova K.P., Dobrolyubov S.A. Rost shtormovoy aktivnosti v Karskom more s 1979 po 2019 g. po dannym modelirovaniya. // *Doklady Rossiyskoy Akademii nauk. Nauki o Zemle*, 2021, 498 (2): pp. 175-182. (In Russian).
12. Loytsyanskiy L.G. Mekhanika zhidkosti i gaza, 1987, 840 p. (In Russian).
13. *Debol'skaya Ye.I. Dinamika vodnykh potokov pod ledyanym pokrovom.* – Moskva: Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta prirodoobustroystva, 2003, 263 p. (In Russian).

14. Bigelou G., Edmondson V. Morskiye vetrovyye volny i priboy. – Moskva: Izdatel'stvo «Inostrannaya literatura», 1951, 212 p. (In Russian).
15. Longuet-Higgins M., Stewart R. Changes in the form of short gravity waves on long wave and tidal currents. // *J. Fluid Mech.*, 1960, 8: pp. 565-583.
16. Lavrenov I.V. Matematicheskoye modelirovaniye vetrovogo volneniya v neodnorodnom okeane. – St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1998, 400 p. (In Russian).
17. Tolman H. L. A third generation model for wind waves on slowly varying, unsteady and inhomogeneous depths and currents // *J. Phys. Oceanogr.* 1991. V. 21. pp. 782-797.
18. Korobov V.B., Lavrenov I.V. Otsenka analiza prilivnykh techeniy po funktsii raspredeleniya vysot vetrovykh voln. // *Meteorologiya i gidrologiya.*, 1989, 11: pp. 73-80. (In Russian).
19. Gudkovich Z.M., Karklin V.P., Frolov I.Ye. Vnutrivenkovyye izmeneniya klimata, ploschad' ledyanogo pokrova, Yevraziyskikh arkticheskikh morey i ikh vozmozhnyye prichiny. // *Meteorologiya i gidrologiya.*, 2005, 6: pp. 5-14. (In Russian).
20. Dumanskaya I.O. Ledovyye usloviya morey aziatskoy chasti Rossii. Moskva: Izdatel'stvo IG-SOTSIN, 2017: 640 p. (In Russian).
21. Yulin A.V., Timofeyeva A.B., Pavlova Ye.A., Sharatunova M.V., Khotchenkov S.V. Mezhhodovaya i sezonnaya izmenchivost' ledovitosti rossiyskikh arkticheskikh morey v sezonnom klimaticheskom periode. // *Trudy GOIN*, 2019, 220: pp. 44-60 (In Russian).
22. Третьяков В.Ю., Фролов С.В., Сарафанов М.И. Изменчивость ледовых условий плавания по трассам Северного морского пути за период 1997-2018 гг. // *Problemy Arktiki i Antarktiki.* 2019, 65 (3): pp. 328-340. (In Russian).
23. Vinogradnaya Ye.S., Yegorova Ye.S., Sheveleva T.V., Yulin A.V. Izmenchivost' polozheniya granits l'dov v vesenniy period i ostatochnykh l'dov v osenniy period v Severnom Ledovitom okeane v usloviyakh klimaticheskogo perioda. // *Rossiyskaya.Arctica*, 2020, 2 (9): pp. 41-55. (In Russian).
24. Yegorov A.G. Prostranstvennoye polozheniye kromki l'dov v avguste – sentyabrya v vostochnykh moryakh Rossii v nachale XXI v. // *Problemy Arktiki i Antarktiki.*, 2020, 1 (66): pp. 38-55 (In Russian).
25. Egorov A.G. Positions of the summer ice edge and autumn dates of stable ice formation in the Laptev, East-Siberian and Chukchi seas in 1981-2018 // *Ice and Snow.*, 2021, 61(1): pp. 117-127. (In Russian). Available at: <https://doi.org/10.31857/S2076673421010075>
26. Mironov Ye.U., Klyachkin S.V., Makarov Ye.I., Yulin A.V., Afanasyeva E.V. Sea ice processes in the Russian Arctic seas in autumn of 2021 and estimation of ice forecasts accuracy. // *Rossiyskaya.Arctica.* 2021. № 15. С. 40-53. DOI:10.24412/2658-4255-2021-4-40-53
27. Pavlova Ye.A., Alekseyeva T.A., Mironov Ye.U., Smolyanitskiy V.M. Osobennosti raspredeleniya aysbergov po dannym sudovykh volokon v Karskom more v 2004–2019 gg. // *Rossiyskaya Arktika*, 2020, 10: pp. 30-36. (In Russian).

Научная статья

УДК 19.00.02

DOI: 10.24412/2658-4255-2022-2-34-43

Для цитирования:

С.В. Пряничников,
С.В. Егарева
Психофизиологические
особенности обучающихся
студентов-медиков в
Арктической зоне РФ на
примере Мурманской
области // Российская
Арктика. 2022.
№ 17. С. 34–43

Получена: 25.04.2022

Принята: 08.07.2022

Опубликована: 13.07.2022

**ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ
СТУДЕНТОВ-МЕДИКОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ
НА ПРИМЕРЕ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ**С.В. Пряничников¹ , С.В. Егарева²

¹ Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем, ФГБУН «Кольский научный центр Российской академии наук», г. Апатиты, Россия (научный сотрудник)
pryanichnikov@medknc.ru

² Государственное автономное профессиональное образовательное учреждение Мурманской области «Кольский медицинский колледж», г. Апатиты, Россия (заместитель директора)
egareva@kolamed.ru

Аннотация: Представлены результаты одномоментного поперечного исследования показателей психофизиологического состояния организма студентов-медиков до 18 лет и старше, проживающих более 1 года в Мурманской области (группа 1) и вновь прибывших на обучение из других регионов России, проживающих на месте менее полугода (группа 2). Сравнительная оценка производилась по методикам: Ч. Д. Спилбергера в адаптации Ю.Л. Ханина (ситуативная и личностная тревожность); уровню стресса Ю.В. Щербатых «Комплексная оценка проявлений стресса»; степени стрессоустойчивости и социальной адаптации Холмса–Рея; степени нервно-психической напряжённости по интегральному показателю суммарного отклонения от аутогенной нормы и вегетативного коэффициента, преобладанию влияния симпатической и парасимпатической нервной системы на регуляцию процессов адаптации и по тесту цветопредпочтения М. Люшера. При сравнении по возрастному критерию в группе учащихся от 18 лет и старше субъективные показатели психофизиологического состояния лучше, чем в группе до 18 лет. Показано, что в группе учащихся, проживающих на территории Мурманской области более одного года, показатели психофизиологического состояния ниже, чем у вновь прибывших. Выражается это напряжением психоэмоциональных и физиологических систем, доминирующим влиянием симпатической нервной системы на процессы регуляции и вероятным срывом адаптационных механизмов.

Ключевые слова: ситуативная и личностная тревожность, самочувствие, активность, настроение, вегетативный коэффициент, суммарное отклонение аутогенной нормы, студенты, Арктическая зона

**PSYCHOPHYSIOLOGICAL FEATURES OF MEDICAL STUDENTS
STUDYING IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION
ON THE EXAMPLE OF THE MURMANSK REGION**S.V. Pryanichnikov¹, S.V. Egareva²

¹ Research Center for Medical and Biological Problems, Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia
pryanichnikov@medknc.ru

² State Autonomous Professional Educational Institution of the Murmansk region "Kola Medical College", Apatity, Russia
egareva@kolamed.ru

Abstract: The results of a one-stage cross-sectional study of the indicators of the psychophysiological state of the body of medical students under 18 years of age and older who have been living for more than 1 year in the Murmansk region (group 1) and new arrivals from other regions of Russia who have been living locally for less than six months (group 2) are presented. The comparative assessment was carried out according to the methods of: C. D. Spielberger in the adaptation of Yu. L. Khanin (situational and personal anxiety); the stress level of Yu. V. Shcherbatykh "Comprehensive assessment of stress manifestations"; the degree of stress tolerance and social adaptation of Holmes–Ray; the degree of neuropsychiatric tension according to the integral indicator of the total deviation from the autogenic norm and the vegetative coefficient, the predominance of the influence of the sympathetic and parasympathetic nervous system on the regulation of adaptation processes and according to the test of M. Lusher's color perception. When compared by age criterion in a group of students aged 18 and older, subjective indicators of psychophysiological state are better than in a group under 18 with an optimal level of neuropsychiatric tension. It is shown that in the group of students living in the Murmansk region for more than one year, the indicators of psychophysiological condition are lower than those of new arrivals. This is expressed by the tension of psycho-emotional and physiological systems, the dominant influence of the sympathetic nervous system on the processes of regulation and the likely breakdown of adaptive mechanisms.

Keywords: situational and personal anxiety, well-being, activity, mood, vegetative coefficient, total deviation of the autogenic norm, students, Arctic zone

Введение

Арктическая зона Российской Федерации расположена в области высоких широт, где изменчивость внешней среды носит ярко выраженный характер, обусловленный строением магнитосферы Земли и овала полярных сияний. Приспособительные механизмы адаптации человека проявляются как через физиологические механизмы (метаболические, гемодинамические и дыхательные), так и через психоэмоциональное состояние (тревожность, стресс) [1-4]. Гелиогеофизические, климатографические особенности, а также возраст, пол, условия проживания в совокупности влияют на психофизиологическое состояние жителей АЗРФ. При длительном, некомпенсируемом воздействии факторов окружающей среды возможно развитие преморбидных состояний, приводящих в дальнейшем к заболеваниям сердечно-сосудистой и дыхательных систем [5,6]. Адаптация в экстремальных условиях жизни, комплексное воздействие неизбежных экологических и климатогеографических факторов и их интегральное воздействие на организм человека показаны в работах ряда авторов [7-14].

Студенты-медики кроме интегративного воздействия высокоширотных факторов среды также испытывают на себе и психоэмоциональное воздействие, связанное с адаптацией в новой социальной среде [15,16]. Проведённые ранее исследования выявили, что ПФС студентов-медиков хуже, чем у женщин старшего возраста (медперсонала). Обусловлено это тем, что они несут более выраженную аллостатическую нагрузку и менее адаптированы к изменяющимся условиям среды [17]. Анализ

литературных данных показал недостаточную изученность проблемы экспресс-оценки ПФС специалистов, прибывших на обучение в АЗРФ и жизнедеятельность которых в будущем связана с условиями проживания в районах Крайнего севера.

Ввиду того что жизнедеятельность в условиях высоких широт предъявляет высокие требования к адаптационным возможностям организма и обуславливается высокой уязвимостью к воздействию факторов среды, проведённое исследование позволит расширить знания в области интегративной оценки функционального состояния организма и откроет возможности для своевременного обнаружения групп риска развития дезадаптивных нарушений в профессиональной сфере.

Цель

Изучить психофизиологическое состояние (ПФС) студентов медицинского колледжа Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ), проживающих более 1 года в Мурманской области и вновь прибывших на обучение из других регионов России, проживающих менее полугода. Провести сравнительный анализ ПФС в группах студентов в возрасте до 18 лет и старше.

Материалы и методы

Представлены результаты одномоментного поперечного исследования ПФС учащихся. На первом этапе исследования произведён сравнительный анализ данных учащихся, проживающих более 1 года – это лица, рождённые или постоянно проживающие на территории Мурманской области (группа 1) на Кольском полуострове в количестве 69 человек и прибывших на обучение из других регионов России, проживающие менее полугода (группа 2) – 22 человека (см. рисунок 1). На втором этапе исследования произведён сравнительный межгрупповой анализ данных ПФС в зависимости от возраста: до 18 лет (16-17 лет), ($n=62$, возраст $15,36\pm 3,75$), и после 18 лет (24-31 года), ($n=29$, возраст $26,75\pm 3,24$), выявлены достоверные различия по возрасту ($p = 0,002$). На момент исследования время проживания в Мурманской области группы до 18 лет составило ($3,03\pm 2,37$), группы старше 18 лет ($5,11\pm 1,36$). Исследовались студенты 1 курса КМК г. Апатиты, Мурманской области в количестве 91 человека (девушки), составляющие 14,44% от общего количества обучающихся, средний возраст $18,67\pm 3,75$ лет.

Следует учитывать, что адаптационные изменения в психофизиологическом состоянии начинаются сразу после перемещения в особые климатогеографические условия АЗРФ, но подразумевает их критические периоды, когда показатели адаптационных возможностей наиболее выражены: 1,5, 4, 7 и 14-15 лет [18].

Критерии отбора: отсутствие жалоб на момент проведения исследования, место рождения и основное место проживания, отсутствие заболеваний в острой стадии течения. Обследуемые были ознакомлены с целью, условиями проведения исследования и представили письменное согласие на обработку персональных данных. Заключение локального этического комитета о возможности проведения исследования – №11 от 19.12.2016 года.

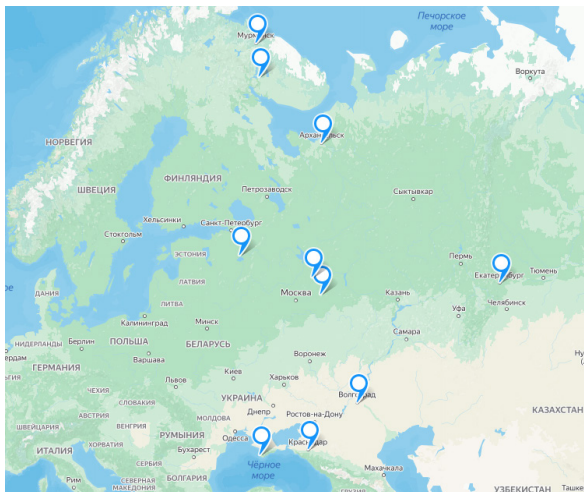


Рисунок 1 – География постоянного проживания прибывших на обучение в Мурманскую область (Северо-Западный федеральный округ (ФО), Центральный ФО, Уральский ФО, Южный ФО, Республика Крым).

Для оценки ПФС использовалось методики: ситуативная (СТ) и личностная (ЛТ) тревожность определялась с помощью теста Ч.Д. Спилбергера – Ю.Л. Ханина: низкий уровень – менее 30; средний от 31–45 баллов; от 46 и более – высокие показатели [19]; самочувствие (С), активность (А), настроение (Н) оценивалось в соответствии с тестом по дифференцированной самооценке функционального состояния (САН):

50 и выше – высокие, 30–50 – средние и менее 30 баллов – низкие [20]; уровень стресса по методике Ю.В. Щербатых «Комплексная оценка проявлений стресса»: 0–5 – допустимые значения, 6–12 – умеренный стресс, 13–24 – выраженное напряжение эмоциональных и физиологических систем организма, 25–40 – сильный стресс, 40 и более баллов – истощение адаптационных ресурсов [21]; степень сопротивляемости стрессирующему фактору оценива-

лась по методике определения стрессоустойчивости и социальной адаптации Холмса–Рея: высокая – 150–199, пороговая – 200–299, низкая – 300 и более баллов [22, 23]; показатели нервно-психической напряженности определялись с помощью теста цветопреференций М. Люшера. Обработка результатов проводилась с помощью ПО «ImatonShell» (ИМАТОН). Применялся интегральный показатель суммарного отклонения от аутогенной нормы (СО): 0–6 – отсутствие, 8–12 – незначительный, 14–20 – средний, 22–26 – повышенный, 28–32 баллов – выраженный уровень непродуктивной нервно-психической деятельности. Доминирование симпатического либо парасимпатического отделов вегетативной нервной системы определяли по показателям вегетативного коэффициента (ВК): $ВК > 1$ – преимущественное влияние симпатического отдела, $ВК < 1$ – превалирующее воздействие парасимпатического отдела [24].

Полученные данные обработаны с применением программного обеспечения: «Microsoft Excel» (Microsoft) и «STATISTICA 10.0» (TIBCO). Данные представлены в виде средней арифметической показателей (М) и стандартной ошибки средней ($\pm m$). Статистические различия с использованием непараметрического U-критерия Манна–Уитни считались значимыми при уровне $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

Межгрупповой анализ данных по тесту Ч.Д. Спилбергера – Ю.Л. Ханина, среди групп исследуемых по длительности проживания показал умеренный уровень СТ и ЛТ (см. таблицу 1). Эти показатели соответствуют оптимальному или естественному уровню СТ и ЛТ для активной деятельной личности (полезная тревожность).

Межгрупповые данные по тесту дифференцированной оценки состояния в исследуемых группах показали следующие результаты: С ($U = 501,50$, $p = 0,52$), А ($U = 454,00$, $p = 0,023$), Н ($U = 545,00$, $p = 0,89$) характеризуются как благоприятные. В группе 1 и 2 показатели находятся в зоне комфортных значений. Это говорит о том, что субъективные ощущения физиологической, психологической комфортности, взаимодействие с физической и социальной средой и эмоциональный фон настроения исследуемых находится в оптимальном диапазоне.

Таблица 1

Сравнение психофизиологических показателей студентов-медиков в зависимости от длительности проживания в АЗРФ

Показатели	Все группы, баллы	группа 1, баллы	группа 2, баллы	p-value
СО	16,24±0,75	15,95±0,83	17,26±1,78	0,55
ВК	1,18±0,06	1,17±0,07	1,21±0,13	0,63
Самочувствие	4,76±0,13	4,82±0,14	4,55±0,33	0,52
Активность	4,39±0,10	4,44±0,11	4,19±0,23	0,23
Настроение	5,33±0,13	5,35±0,15	5,27±0,28	0,89
СТ	38,80±0,99	38,60±1,19	39,50±1,55	0,41
ЛТ	43,79±1,17	44,00±1,34	43,05±2,48	0,74
Комплексная оценка проявлений стресса	14,40±1,16	14,67±1,29	13,56±2,68	0,53
Стрессоустойчивость	172,81±12,51	188,48±14,65	122,95±20,85	0,04

Примечание: СО – суммарное отклонение от аутогенной нормы, ВК – вегетативный коэффициент, СТ – ситуативная тревожность, ЛТ – личностная тревожность.

Данные межгруппового анализа по методике Ю.В. Щербатых показали, что в обеих группах в ответ на сильный стрессорный фактор наблюдается выраженное напряжение эмоциональных и физиологических систем организма ($U = 701,00$, $p = 0,53$), которое на момент проведения исследования ещё не компенсировано.

Анализ данных при межгрупповом сравнении по методике Холмса–Рея определил высокие показатели сопротивляемости стрессу ($U = 545,00$, $p = 0,04$). В группе 1 показатель степень сопротивляемости стрессовым нагрузкам более выражен и составляет ($188,49 \pm 14,65$), что свидетельствует о высоком уровне стресса с более чем 50% вероятностью возникновения какого-либо психосоматического заболевания. В группе 2 показатели находятся на более низком уровне, что соответствует низкому уровню стресса и минимальную вероятность развития стрессовых расстройств в отличие от группы 1 (табл. 1). Есть вероятность, что эти показатели изменятся при более длительном проживании в северных условиях. Здесь нужно обратить особое внимание на данные по этой методике. В группе проживающих более 1 года в Мурманской области показатели сопротивляемости стрессирующим факторам находятся в зоне пороговых значений. Это говорит о том, что психоэмоциональное состояние студентов в группе 1 находится на таком уровне, при котором с высокой вероятностью возможен срыв механизмов адаптации и переход к развитию дезадаптивных нарушений.

Данные межгруппового анализа показателей степени нервно-психической напряжённости по методике М. Люшера свидетельствуют о том, что уровень СО находится в пределах средних значений ($U = 578,50$, $p = 0,55$). Это обеспечивает возможность выполнения необходимых обязанностей в рамках средних требований, а также позволяет переключаться от одного вида деятельности к другой без особых затруднений и усталости.

Показатели ВК в обеих группах находятся в пределах оптимальных значений для мобилизации физических и психических ресурсов ($U = 590,00$, $p = 0,63$). Проявляется это ориентацией на активную деятельность, обеспеченную необходимыми энергоресурсами при доминировании симпатического отдела вегетативной нервной системы.

Сравнение психофизиологических показателей студентов-медиков в зависимости от возраста представлены в таблице 2. Межгрупповой анализ данных по методике Холмса–Рея показал, что в исследуемых группах достоверных различий не обнаружено ($U=706,50$, $p=0,90$), но средние показатели свидетельствуют о высоком риске развития стрессовых расстройств и неблагоприятны в прогностическом плане ввиду снижения адаптационных возможностей и развития психосоматических заболеваний.

Таблица 2

Сравнение психофизиологических показателей студентов-медиков в зависимости от возраста

Показатели	Все группы, баллы	до 18 лет, баллы	18 лет и старше, баллы	p-value
СО	16,24±0,75	17,30±0,82	12,75±1,58	0,01
ВК	1,18±0,06	1,14±0,07	1,31±0,14	0,23
Самочувствие	4,76±0,13	4,59±0,15	5,33±0,16	0,02
Активность	4,39±0,10	4,27±0,11	4,78±0,23	0,03
Настроение	5,33±0,13	5,12±0,16	6,05±0,10	0,01
СТ	38,80±0,99	39,76±1,16	35,38±1,59	0,14
ЛТ	43,79±1,17	45,20±1,38	38,83±1,69	0,03
Комплексная оценка проявлений стресса	14,40±1,16	14,72±1,34	13,27±2,36	0,70
Стрессоустойчивость	172,81±12,51	172,87±14,11	172,60±27,71	0,90

Примечание: СО – суммарное отклонение от аутогенной нормы, ВК – вегетативный коэффициент, СТ – ситуативная тревожность, ЛТ – личностная тревожность.

Анализ данных по методике Ю. В. Щербатых не выявил достоверных различий ($U=679,50$, $p=0,70$) между группами до 18 лет и старше. При этом показатели в обеих возрастных группах свидетельствуют о достаточно выраженном напряжении как эмоциональных, так физиологических систем организма.

Межгрупповые данные по методике Ч.Д.Спилбергера–Ю.Л.Ханина показали достоверные различия по критерию ЛТ ($U=370,50$, $p=0,03$), где представлен высокий уровень тревожности в группе до 18 лет. Данные СТ по этой же методике не выявили достоверных различий и находятся в пределах допустимых значений, свидетельствующих о необходимом уровне тревожности для повседневной деятельности.

Межгрупповые данные по тесту дифференцированной оценки состояния в исследуемых группах показали достоверные различия между группами по всем категориям: С ($U=347,00$, $p=0,01$), А ($U=367,50$, $p=0,02$), Н ($U=339,50$, $p=0,01$). В группе 18 лет и старше показатели по всем категориям выше, что говорит о высоком уровне физиологического и психологического комфорта испытуемых.

Данные анализа показателей степени нервно–психической напряжённости по методике М. Люшера показали достоверные различия между группами в СО ($U=401,00$, $p=0,01$), что свидетельствует о неумеренно завышенном расходовании нервно–психических ресурсов и низком коэффициенте полезного действия в группе до 18 лет. Достоверных различий по показателям ВК между группами не выявлено ($U=541,50$, $p=0,22$). Данные ВК обеих групп свидетельствуют об оптимальной мобилизации физических и психических ресурсов.

Выводы

Проведённое одномоментное поперечное исследование показало следующие результаты. Группа учащихся студентов–медиков, проживающих на территории Мурманской области более 1 года, имеет более неблагоприятные показатели психофизиологического состояния, чем вновь прибывшие на обучение студенты. Данные суммарного отклонения от аутогенной нормы и вегетативного коэффициента в группах показывают средний уровень непродуктивной нервно–психической деятельности, что проявляется в длительном периоде сниженной работоспособности после активной деятельности и доминирующем влиянии симпатического отдела вегетативной нервной системы на регуляцию функциональных систем организма. Показатели комплексной оценки проявлений стресса в группе проживающих более 1 года в Мурманской области более выражены и говорят о высоком сопротивлении стрессирующему фактору, что приводит к некомпенсируемому воздействию факторов среды и проявляется определённым напряжением эмоциональных и физиологических систем организма с возможным срывом адаптационных возможностей. При этом достоверных различий по методикам САН и Ч.Д.Спилбергера – Ю.Л.Ханина не выявлено. При категоризации по возрасту субъективные показатели психофизиологического состояния более выражены в группе от 18 лет и старше, что говорит о более устойчивом формировании адаптационных механизмов организма в этой возрастной группе.

Список литературы:

1. Казначеев В.П. Современные проблемы адаптации человека // В книге: Адаптация и проблемы общей патологии. Тезисы докладов Всесоюзной конференции. 1974. С. 3–9.
2. Филиппова С.Н. Особенности адаптации в зависимости от функциональной асимметрии мозга и фактора пола у пришлых жителей Заполярья // Вестник СО АМН РФ. 2000. С.108–110.
3. Хаснулин В.И., Хаснулина А.В. Сезонная динамика функциональных показателей у северян – участников проекта «МАРС–500» // Адаптация человека к экологическим и социальным условиям Севера / Отв. ред. Е.Р. Бойко. Сыктывкар УрО РАН. 2012. С. 22–28.
4. Davis S., Mirck D.K. Circadian disruption, shift work and the risk of cancer: a summary of the evidence and studies in Seattle // Cancer Causes Control. 2006. Vol. 17.P. 539–545.) DOI: 10.1007/s10552-005-9010-9
5. Агаджанян Н.А., Ермолаева Н.В. Экологический портрет человек на Севере. М.: Крук. 1997. 208 с.
6. Кривошеков С.Г., Охотников С.В. Производственные миграции и здоровье человека на Севере. Москва – Новосибирск. 2000. 118 с.
7. Boiko E.R., Burykh E.A. Nitric oxide metabolites level in human serum in acute normobaric hypoxia // Russian Journal of Physiology. 2012. T. 98. № 1. С. 147–154.
8. Бойко Е.Р. Жизнь и здоровье человека на севере. В сб.: Европейская зона российской Арктики: сценарии развития. Материалы Всероссийской научной конференции (с международным участием) в 2–х частях. 2017. С. 19–22.

9. Марков А.Л., Солонин Ю.Г., Бойко Е.Р. Влияние метеорологических параметров на вегетативную регуляцию ритма сердца у жителей европейского севера: индивидуальный контроль / Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2018. № 1. С. 21–29.
10. Белишева Н.К., Мартынова А.А. [и др.] Возрастные особенности вариабельности сердечного ритма у детей дошкольного возраста, проживающих в условиях Евро–арктического региона // Физиология человека. 2016.Т.42.Т2. С49.
11. Белишева Н.К., Пряничников С.В. [и др.] Архипелаг Шпицберген – полигон для аналоговых исследований воздействия космофизических агентов на организм человека // Вестник Кольского научного центра РАН. 2017. №4. С. 22–29.
12. Белишева Н.К., Мартынова А.А. [и др.] Связь параметров межпланетного магнитного поля и солнечного ветра в области полярного каспа с психофизиологическим состоянием жителей арх. Шпицберген // Вестник КНЦ РАН. 2018. №4 С.5–12.
13. Бартош Т.П. Исследование психофизиологических и психологических характеристик жителей, проживающих в условиях Северо-Востока России//Вестник психофизиологии. 2022. №1. Том 1. С. 83-93. Psychophysiology News. 2022. No. 1-1. P. 83-93. DOI:10.34985/16754-7589-6888-1
14. Bartosh O. P., Bartosh T.P. Mychko M.V. Features of anxiety and attention in elementary school students of the Russian North Russian Open Medical Journal. 2021 Volume 10. Issue 3: e0314 DOI: 10.15275/rusomj.2021.03
15. Linda M Moscaritolo. Interventional strategies to decrease nursing student anxiety in the clinical learning environment. JournalofNursingEducation. 2009. Vol. 48(1). P. 17–23. DOI: 10.3928/01484834-20090101-08
16. Shearer J. Anxiety, nursing students, and simulation: State of the science. Journal of Nursing Education. 60 2016. Vol. 55(10). P.551–556. DOI: 10.3928/01484834-20160914-02
17. Соловьевская Н.Л., Терещенко П.С. Психоэмоциональное состояние медицинских сестер психиатрического профиля в условиях Арктики // Консультативная психология и психотерапия. 2021. Т. 29. № 2. С. 164—184.
18. Короленко Ц. П. Психофизиология человека в экстремальных условиях., Л., «Медицина», 1978, 272 с.).
19. Елисеев О. П. Практикум по психологии личности: 2-е изд., испр. и перераб. СПб.: Питер, 2002. 512 с.
20. Доскин В.А. Тест дифференцированной самооценки функционального состояния / Доскин В.А., Лаврентьева Н.А., Мирошников М.П., Шарай В.Б. // Вопросы психологии. – 1973, – № 6. – С.141-145.
21. Щербатых Ю. В. Психология стресса и методы коррекции. — СПб.: Питер, 2006. — 256 с.
22. Holmes T.H., Rahe R.H. The Social Readjustment Rating Scale. Journal of Psychosomatic Research. 1967. Vol. 11. P. 213-218. DOI: 10.1016/0022-3999(67)90010-4
23. Rahe R.H., Arthur R.H. Life change and illness studies. Journal of Human Stress. 1978. 4(1). 3-15 DOI: 10.1080/0097840X.1978.9934972
24. Токарева Н.Г. О некоторых показателях психического здоровья подростков / Токарева Н.Г., Колосунин И.А., Родин О.В.Здоровье и образование в XXI веке 2017 с. 153-158. <http://dx.doi.org/10.26787/nydha-2226-7425-2017-19-12-153-158>

References:

1. Kaznacheev V.P. Sovremennye problema daptacii cheloveka // V knige: Adaptaciya i proble mobshchej patologii. Tezisy dokladov Vsesoyuznoj konferencii. [Modern problems of human adaptation. In the book: Adaptation and problems of general pathology.] Abstracts of reports of the All-Union Conference. 1974. pp.3-9. (In Russian).
2. Filippova S.N. Osobennosti adaptacii v zavisimosti ot funkcional'noj asimmetrii mozga i fakto rapola u prishlyh zhitelej Zapolyar'ya [Features of adaptation depending on the functional asymmetry of the brain and the sex factor in the alien inhabitants of the Arctic.] Bulletin of the SB AMN of the Russian Federation. 2000. pp.108-110. (In Russian).
3. Hasnuln V.I., Hasnulina A.V. Sezonnaya dinamika funkcional'nyh pokazatelej u severyan – uchastnikov proekta «MARS-500» // Adaptaciya cheloveka k ekologicheskim i social'nym uslovijam Severa /Otv. red. E.R. Bojko. [Seasonal dynamics of functional indicators among Northerners participating in the MARS-500 project. Human adaptation to environmental and social conditions of the North / Ed. by E.R. Boyko.] Syktyvkar UrO RAS. 2012. pp.22-28 (In Russia).

4. Davis S., Mirck D.K. Circadian disruption, shift work and the risk of cancer: a summary of the evidence and studies in Seattle // *Cancer Causes Control*. 2006. Vol. 17. P. 539–545. DOI: 10.1007/s10552-005-9010-9
5. Agadzhanian N.A., Ermolaeva N.V. *Ekologicheskij portret cheloveka Severa*. M.: Kruk. 1997. 208 s. [Ecological portrait of a man in the North.] M.: Kruk. 1997. 208 p. (In Russian).
6. Krivoshechekov S.G., Ohotnikov S.V. *Proizvodstvennyyemigracii iz dorov'echeloveka Severa*. [Industrial migrations and human health in the North]. Moscow - Novosibirsk. 2000. 118 p. (In Russian).
7. Boiko E.R., Burykh E.A. Nitric oxide metabolites level in human serum in acute normobaric hypoxia // *Russian Journal of Physiology*. 2012. T. 98. № 1. C. 147–154.
8. Boiko E.R. Zhizn' izdorov'echeloveka severa. V sb.: *Evropeiskaya zona rossiiskoi Arktiki: stsenarii razvitiya*. Materialy Vserossiiskoi nauchnoy konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem) v 2-kh chastyakh. [Human life and health in the north. In the collection: The European zone of the Russian Arctic: development scenarios. Materials of the All-Russian Scientific Conference (with international participation) in 2 parts.] 2017. C. 19–22. (In Russian).
9. Markov A.L., Solonin Yu.G., Boiko E.R. Vliyaniye meteorologicheskikh parametrov na vegetativnyy regulatsionnyy ritm serdtsa u zhitelei Evropeiskogo Severa: individual'nyy kontrol' / *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta*. Seriya: *Biologiya i ekologiya*. [The influence of meteorological parameters on the vegetative regulation of heart rhythm in the inhabitants of the European North: individual control / *Bulletin of Tver State University*. Series: *Biology and Ecology*.] 2018. № 1. C. 21–29. (In Russian)
10. Belisheva N.K., Martynova A.A. [i dr.] *Vozrastnyye osobennosti variabel'nosti serdtsenogoritma u detey i doshkol'nogo vozrasta, prozhivayushchikh v usloviyakh Evro-arkticheskogo regiona* // *Fiziologiya cheloveka*. [Age-related features of heart rate variability in preschool children living in the conditions of the Euro-Arctic region // *Human Physiology*.] 2016. T. 42. T. 2. C. 49. (In Russian)
11. Belisheva N.K., Pryanichnikov S.V. [i dr.] *Arhipelag Shpitsbergen – poligon dlya analogovyykh issledovaniy vozdeystviya kosmofizicheskikh agentov na organizm cheloveka* // *Vestnik Kola'skogo nauchnogo tsentra RAN* [The Svalbard Archipelago is a testing ground for analog studies of the effects of cosmophysical agents on the human body // *Bulletin of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*] 2017. № 4. C. 22–29. (In Russian)
12. Belisheva N.K., Martynova A.A. [i dr.] *Svyaz' parametrov mezhplanetnogo magnitnogo polya i osobennostey psikhofiziologicheskogo sostoyaniya zhitelei Arktiki*. Shpitsbergen // *Vestnik KNTs RAN* [The relationship of the parameters of the interplanetary magnetic field and the solar wind in the polar Caspian region with the psychophysiological state of the inhabitants of the arch. Svalbard // *Bulletin of the KNC RAS*] 2018. № 4. C. 5–12. (In Russian)
13. Bartosh T.P. *Issledovaniye psikhofiziologicheskikh i psihologicheskikh kharakteristik zhitelej, prozhivayushchikh v usloviyakh Severo-Vostoka Rossii* // *Vestnik psikhofiziologii*. [Research of psychophysiological and psychological characteristics of residents living in the conditions of the North-East of Russia // *Bulletin of Psychophysiology*]. 2022. № 1. Tom 1. C. 83–93. *Psychophysiology News*. 2022. No. 1-1. P. 83–93. DOI: 10.34985/16754-7589-6888-1
14. Bartosh O. P., Bartosh T.P., Mychko M.V. Features of anxiety and attention in elementary school students of the Russian North *Russian Open Medical Journal*. 2021 Volume 10. Issue 3: e0314 DOI: 10.15275/rusomj.2021.03
15. Linda M Moscaritolo. Interventional strategies to decrease nursing student anxiety in the clinical learning environment. *Journal of Nursing Education*. 2009. Vol. 48(1). P. 17–23. DOI: 10.3928/01484834-20090101-08
16. Shearer J. Anxiety, nursing students, and simulation: State of the science. *Journal of Nursing Education*. 60 2016. Vol. 55(10). P. 551–556. DOI: 10.3928/01484834-20160914-02
17. Solov'evskaya N.L., Tereshchenko P.S. *Psikhoemotsional'noye sostoyaniye meditsinskikh sester psikhiatricheskogo profilya v usloviyakh Arktiki* // *Konsultativnaya psikhologiya i psikhoterapiya*. [Psychoemotional state of psychiatric nurses in the Arctic conditions // *Consultative psychology and psychotherapy*] 2021. T. 29. № 2. C. 164–184. (In Russian)
18. Korolenko C. P. *Psikhofiziologiya cheloveka v jekstremal'nykh usloviyakh*. [Human psychophysiology in extreme conditions]. L., «Medicina», 1978, 272 p.
19. Eliseev O. P. *Praktikum po psihologii lichnosti: 2-e izd., ispr. i pererab.* [Practicum on personality psychology: 2nd ed., ispr. and reprinted] St. Petersburg: Piter, 2002. 512 p. (In Russian).
20. Doskin V.A. *Test differencirovaniya samoocenki funktsional'nogo sostoyaniya* [Test of differentiated self-assessment of functional state.] *Questions of psychology*. - 1973, - No. 6. - pp. 141–145. (In Russian).

21. Shcherbatyh YU. V. Psihologiyastressaimetodykorrekcii. [Psychology of stress and methods of correction.] - St. Petersburg: Peter, 2006. - 256 p. (In Russian).
22. Holmes T.H., Rahe R.H. The Social Readjustment Rating Scale. Journal of Psychosomatic Research. 1967. Vol. 11. P. 213-218. DOI: 10.1016/0022-3999(67)90010-4
23. Rahe R.H., Arthur R.H. Life change and illness studies. Journal of Human Stress. 1978. 4(1). 3-15 DOI: 10.1080/0097840X.1978.9934972
24. Tokareva N.G. O nekotoryhpokazatelyahpsihicheskogozdorov'yapodrostkov[On some indicators of mental health of adolescents.] Health and education in the XXI century 2017 pp. 153-158.(In Russian). <http://dx.doi.org/10.26787/hydh-a-2226-7425-2017-19-12-153-158>

Научная статья

УДК 528.88 + 551.463 + 556.5

DOI: 10.24412/2658-4255-2022-2-44-71

Для цитирования:

V. V. Tikhonov, A. N. Romanov, I. V. Khvostov, T. A. Alekseeva, A. I. Sinitskiy, M. V. Tikhonova, E. A. Sharkov, N. Yu. Komarova
 Analysis of the hydrological regime of the Gulf of Ob in the freezing period using SMOS data // Российская Арктика. 2022. № 17. С. 44–71

Получена: 19.07.2022

Принята: 23.07.2022

Опубликована: 27.07.2022

Funding. This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 20-05-00198a) (V.V. Tikhonov, I.V. Khvostov, A.N. Romanov, A.I. Sinitskiy, N.Yu. Komarova). Modeling of microwave radiation of the Arctic Sea ice was carried out in the framework of the "Monitoring" State Research Theme (State Reg. No. 122042500031-8) (T.A. Alekseeva, E.A. Sharkov).

Финансирование. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 20-05-00198а) (Тихонов В.В., Хвостов И.В., Романов А.Н., Синицкий А.И., Комарова Н.Ю.). Моделирование микроволнового излучения арктического морского льда проводилось в рамках государственной научно-исследовательской темы "Мониторинг" (гос. рег. № 122042500031-8) (Т.А. Алексеева, Е.А. Шарков).



ANALYSIS OF THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE GULF OF OB IN THE FREEZING PERIOD USING SMOS DATA

V. V. Tikhonov^{1,2*}, A. N. Romanov², I. V. Khvostov², T. A. Alekseeva^{3,1}, A. I. Sinitskiy⁴, M. V. Tikhonova⁵, E. A. Sharkov¹, N. Yu. Komarova¹

¹ Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia

³ Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

⁴ "GEOINGSERVICE", LLP, Moscow, Russia

⁵ Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

* vtikhonov@asp.iki.rssi.ru

Abstract. The Gulf of Ob is a unique ecosystem characterized by a complex interaction of river and sea factors. It is exposed to extremely strong seasonal pressure of highly variable temperature, insolation, biogenic load and many other factors, including anthropogenic and technogenic effects. Operational satellite data on the hydrological regime of the Gulf of Ob are crucial for the analysis of different environmental and climate processes as well as assessment of the intensity and scale of anthropogenic and technogenic impacts on the adjacent areas. This study presents an analysis of seasonal and interannual variations of brightness temperature in different parts of the Gulf of Ob in the freezing period based on SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) data. It was found that in the southern part of the Gulf of Ob, the seasonal and interannual brightness temperature dynamics are similar to freshwater lakes. However, the closer to the Kara Sea the more these dynamics deteriorate and, finally, in the northern part of the Gulf, become similar to those of the central Kara Sea. During the freezing period, changes in the brightness temperature dynamics occur in different parts of the Gulf of Ob. This is explained by an increase in the salinity of water under ice. It was shown that during winter seasons, the zone of fresh and salt waters mixing (the transition zone) can shift far to the south of the Gulf of Ob. Winter shift of the transition zone was compared with climate changes in the region that determine the river runoff and the state of permafrost. The revealed patterns of brightness temperature seasonal variations in different parts of the Gulf of Ob and the associated ice cover phases can be used to assess the hydrological regime in large estuaries of the Arctic in winter, as well as climate changes in the adjacent areas on the basis of satellite microwave radiometry data.

Keywords: microwave radiometry, SMOS, estuary, ice cover, fresh and salt waters mixing zone

АНАЛИЗ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОБСКОЙ ГУБЫ В ПЕРИОД ЛЕДОСТАВА ПО ДАННЫМ SMOS

В. В. Тихонов^{1,2*}, А. Н. Романов², И. В. Хвостов², Т. А. Алексеева^{3,1}, А. И. Синицкий⁴, М. В. Тихонова⁵, Е. А. Шарков¹, Н. Ю. Комарова¹

¹ Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

² Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

³ Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

⁴ ООО «ГЕОИНЖСЕРВИС», Москва, Россия

⁵ Российский Государственный Аграрный Университет - МСХА имени К.А.Тимирязева, Москва, Россия
* vtikhonov@asp.iki.rssi.ru

Аннотация. Обская губа представляет собой уникальную экосистему, находящуюся в условиях сложного взаимодействия речных и морских факторов. Она подвержена очень сильным сезонным воздействиям с существенными колебаниями температуры, солнечной освещенности, биогенной нагрузки и множеством других факторов, включая антропогенные и техногенные воздействия. Оперативные спутниковые данные о гидрологическом режиме Обской губы являются важнейшим источником информации для анализа различных природных и климатических процессов, а также оценки интенсивности и мощности антропогенного и техногенного воздействия на прилегающие территории. В этом исследовании представлен анализ сезонных и межгодовых зависимостей яркостной температуры различных областей Обской губы в период ледостава, полученных по данным спутника SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity). Проведенные исследования показали, что в южной части Обской губы наблюдается схожая с пресноводными озерами сезонная и межгодовая динамика яркостной температуры. Однако, ближе к акватории Карского моря эта динамика нарушается и в северной части губы становится схожей с динамикой яркостной температуры центральной области Карского моря. Изменение сезонной динамики яркостной температуры различных областей Обской губы происходит в период ледостава. Такое изменение объясняется увеличением солености воды подо льдом. Проведенные исследования показали, что в зимние сезоны область смешения пресных и соленых вод (фронтальная зона) может сдвигаться далеко на юг Обской губы. Смещение фронтальной зоны в зимний период сопоставлено с климатическими изменениями региона, определяющими речной сток и состояние многолетнемерзлых пород. Выявленные закономерности сезонных вариаций яркостной температуры различных участков Обской губы и связанные с ними фазы ледяного покрова могут быть использованы для оценки гидрологического режима в крупных эстуариях Арктики в зимнее время, а также климатических изменений прилегающих территорий по данным спутниковой микроволновой радиометрии.

Ключевые слова: микроволновая радиометрия, SMOS, эстуарий, ледяной покров, зона смешения пресных и соленых вод

INTRODUCTION

Notable changes in the state and dynamics of various climate and hydrological processes have been recorded in the Arctic. These include: an increase in average air temperature; a reduction in duration of snow cover season; late ice formation and early opening of river, lake and sea ice; increased freshwater runoff; glacier melt; degradation of permafrost; reduction in sea ice area, etc. [1]. These changes also affect numerous rivers flowing into the Arctic Ocean. Among them are four of the twelve longest rivers on Earth, namely Yenisei, Ob, Lena, and Mackenzie [2-6]. These rivers account for nearly 60% of the freshwater that flows from the continents into the Arctic Ocean. Because of its unique land-sea connection, the Arctic Ocean is exposed to greater inflow of freshwater than any other ocean [7].

The Arctic River deltas and estuaries are unique ecosystems involved in complex interaction of river and sea factors. They are characterized by considerable variability and high ecological vulnerability. At the same time, however, they possess significant natural resources that play an important role in the economy of coastal regions [8-10]. Globally, areas of mixing sea and river waters represent an ocean “filter” belt. The effectiveness of such a “filter” in shallow waters is much higher than in the open ocean. One of the important aspects in the study of brackish waters is establishing and refining the dependencies of various processes on salinity of mixing sea and fresh waters [11, 12]. The Arctic estuaries are subject to very strong seasonal influences with significant variations in temperature, insolation, ice cover, snow water equivalent, biogenic load, and many other factors, including anthropogenic and technologic influences [13]. Arctic estuaries provide essential habitat for migratory birds, fish and marine mammals [12].

Approximately 1000 km³ of freshwater flows through the estuaries of the Ob and the Yenisei rivers annually. With the runoff of these rivers an enormous amount of allochthonous substances (~150·10⁶ t/year) enters the estuarine zones. The composition of these substances reflects the entire spectrum of natural processes and economic activities in the watershed area. The degree of transformation of freshwater entering the Ob and Yenisei estuaries is determined by geomorphology features, level of water exchange, volume of river runoff and its seasonal dynamics [11, 14-17]. These estuaries should be given a very special place in the overall monitoring system of coastal areas. The anthropogenic and technologic impacts associated with mining, processing and transportation of minerals, and increasing exploitation of the Northern Sea Route are extremely strong here [18, 19].

The traditional method of monitoring river mouths and, in particular, estuaries is contact studies based on a system of stationary observations: a network of posts, control sections, stations, transects, etc., as well as various expeditionary works. Hydrological characteristics are calculated and predicted from the analysis of water samples obtained by grab samplers or hydrological probes. There are a number of methods used: empirical, hydrological, balance, etc. [5, 10, 11, 16, 20].

Over the past 40 years, remote sensing techniques have been increasingly used to monitor the state of coastal areas, rivers and their mouths. For this purpose, optical, multispectral, radar, and infrared airborne and satellite sensors of low, medium, high, and very high resolution are used [10, 21-25].

Visible and near-infrared data are generally used to track and assess changes in coastlines [21, 26-30], large river streamways [31] and winter freezing over the long reaches of large northern rivers [32]. The infrared range is used to determine surface temperature and thermal anomalies in coastal and estuarine areas [23, 31, 33]. Radar and synthetic-aperture radar (SAR) data provide key information for mapping coasts, flooding and inundation, wetland characterization, assessing soil subsidence along streams, analysis of surface changes in permafrost zones, etc. [21, 34-38]. River flow and related hydrodynamic processes, as well as estuarine and coastal water quality are assessed from remote sensing data of visible and near-infrared bands. It follows from the literature [39-46], that using data from these bands, one can estimate river flow level and map spatial distribution of suspended solids, turbidity, temperature and salinity in estuaries. Combining multispectral and SAR data and using machine learning methods enable mapping large rivers over vast areas [47].

Given the fact that most of the time the Arctic territory is inaccessible for the visible and near-infrared ranges (due to polar night or solid cloud cover), the microwave data, which are independent of solar illumination and cloud cover, become promising for the study of river estuaries [48]. First of all, these are satellite radar data and, second, satellite microwave radiometry data.

Akimov et al. [49] present the results of a study of the zone of fresh and salt waters mixing (the transition zone) in the estuaries of the Ob and the Yenisei in the Kara Sea using SAR ERS-1/2 satellite data. Satellite data were compared with contact measurements obtained during Kara Sea expeditions (KAREX). The expeditions were conducted in 1994 and 1995 by the Arctic and Antarctic Research Institute (AARI). Transition zones were detected in 70 images out of 89. However, the study left open many questions, in particular concerning the differences in the spatial distribution of the transition zones derived from satellite data and contact measurements. Studies of winter hydrology and ice regime of the Ob and Yenisei estuaries based on SAR data (ERS, RADARSAT, Envisat) are discussed by Melentyev et al. [50, 51]. Melentyev et al. [51] compare SAR data with the results of synchronous monitoring campaigns onboard icebreaker “Kapitan Dranitsyn” (April – May 1998) and nuclear icebreakers “Vaygach” and “Taymyr” (1993) as well as the data of multispectral “Resours-O1” satellite instrument. In Melentyev et al. [50], SAR data are analyzed together with climate characteristics. These studies highlight the prospects of radar imaging in assessing spatial and temporal variability of ice cover, detecting different types of ice, determining the beginning of ice formation and ice breakup, identifying polynyas, etc.

The use of satellite microwave radiometry in the study of river basins and estuaries began only in the XXI century. This happened so late because spatial resolution of the data is rather low (several kilometers and more). However, the possibility of obtaining information from vast areas, high frequency of observation in high latitudes, independence of the data of solar illumination and atmospheric conditions, sensitivity to subsurface processes, and low power consumption make satellite microwave radiometry a promising tool for monitoring the Earth surface [52]. Satellite microwave radiometry data are currently being used to determine flooding and underflooding in the vicinity of a river channel [53] and to estimate flooding extension on a global scale [54]. A pioneering study on flood area estimation is the work of Stippel et al. [55] presenting the results of Amazon basin flooding derived from SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer) data. The degree of flooding is obtained using the linear mixing model of microwave signatures from the underlying landscape (soil, vegetation) and the water surface. The brightness temperatures of these surfaces are very different. Subsequently, this method of monitoring flooded areas was improved using data from more modern AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS) and SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager) satellite radiometers with higher spatial resolution [53, 56-58]. Umbert et al. [59] presented a study of the salinity of the upper desalinated water layer of the Kara Sea and the Laptev Sea obtained from SMOS data. The results showed that the surface layer salinity is in a negative linear correlation with the concentration of detrital matter carried out by the Ob, Yenisei, and Lena rivers.

Tikhonov et al. [60, 61] discuss the results of a study of phenological phases of five large freshwater lakes (Baikal, Ladoga, Guron, Great Bear, and Great Slave) using data from MIRAS (Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis) of the SMOS satellite. In the study, multiyear seasonal

variations of brightness temperature in the central parts of the lakes are analyzed and compared with theoretical model calculations. This has allowed identifying three distinct time regions of brightness temperature values for freezing freshwater lakes. The first time region (TR1) with lowest brightness temperature corresponds to the radiation from ice-free water surface. The second time region (TR2) features rise and sustained stabilization of brightness temperature at an intermediate level and corresponds to the radiation from stable ice cover on the lake surface. The third time region (TR3) marks maximal brightness temperature as a result of a short-term (~ 20–50 days) sharp increase by 40–90 K and corresponds to the period of a drastic change in ice cover structure (intense destruction and melt). The work is continued by Tikhonov et al. [62] with the study of seasonal brightness temperature dynamics derived from SMOS data at three sites in the Gulf of Ob. Comparison of the satellite data with model results shows that in the freshwater part of the gulf (southern and central regions), the dynamics of brightness temperature is similar to lakes. However, in its “marine” part (northern region), there is no such similarity as no distinct TR2 can be observed on the brightness temperature curve. With the onset of freeze-up, brightness temperature strongly increases from the open water values (TR1) directly to the TR3 values which in this case correspond to stable ice cover. Then it remains relatively stable up to the beginning of ice cover destruction. The authors explain such change in the brightness temperature dynamics in the marine part of the gulf by an increase in salinity of water under the ice cover. The appearance of brackish water under ice leads to an increase in radiation absorption in the lower ice layer which is in contact with the water surface. This in turn leads to an increase in the brightness temperature which becomes comparable with that of decaying freshwater ice. The obtained results open the way to determining the transition zone in large estuaries of the Russian Arctic during the freezing period using satellite microwave radiometry data.

This article presents the results of a theoretical study of 2012–2018 seasonal and interannual variations of microwave radiation in different areas of the Gulf of Ob during the freezing period using SMOS MIRAS data. The study was carried out for the entire water area of the gulf (13 sites) and for one site located far from the estuary in the Kara Sea. Theoretical modeling of ice cover microwave radiation was carried out together with an analysis of the river runoff to the gulf, changes in climate characteristics of the Ob River watershed and territories adjacent to the gulf. The shift of the transition zone during the freezing period depending on river runoff to the Gulf of Ob and interannual climate changes in the adjoining territories of the watershed was examined.

STUDY AREA

The Gulf of Ob is the largest gulf of the Kara Sea (Fig. 1, left). It is located between the Gydansky and Yamal peninsulas (Fig. 1, left). Its length is about 800 km, width is 30–90 km, maximum depth does not exceed 28–30 m, and average depth is 10–15 m. The total area of the gulf is 40800 km², and its water volume is 400 km³. In the south, during high water it resembles a river, and during low water a reservoir or lake. In the Gulf of Ob, two primary water masses, river and sea, come into contact forming a transition zone. The transition zone is a migrating phenomenon and during open water can be found between 71°N and 72°N (Fig. 1, right). Thus, two large areas with moving boundaries can be distinguished in the Gulf of Ob: the freshwater part and the marine part. The latter is bounded from the south by a salinity (mineralization) isohaline of 0.5‰ [16, 63, 64].

The Gulf of Ob lies almost entirely within the tundra zone. Average duration of the freezing period varies from 250 to 300 days. The hydrological regime during open water depends on a large number of factors. During high water, the determining factor is the river flow. During low water, the effect of meteorological factors, especially wind and associated storm surges, the amplitude of which can reach 3-4 m, increases sharply [63, 64].

As the major tributary to the Gulf of Ob with 75–76% of its total inflow, the Ob River has a determining significance for the hydrological regime of the Gulf of Ob and the processes occurring in it. Several other rivers flow into the Gulf of Ob: rivers Nadym and Nyda in the southeast, the Taz River opening to the Taz Gulf in the east and a number of smaller rivers from the Yamal Peninsula in the west.

The basin of the Ob is one of the largest in Siberia, its area reaches 2770000 km². From south to north, the river crosses a number of natural and climate zones from the Altai Mountains through semi-desert, steppe, forest-steppe, taiga to tundra. A significant part of the river feeding is snow (~55%), 25% is rainfall, and 20% is groundwater [63]. A distinctive feature of the Ob River is its giant watershed, much of which (~75%) is heavily marshy. Over most of its length (55%) the river flows through permafrost-free territory. In its lower reaches, the Ob flows in the zone of discontinuous and island permafrost, and only the river mouth and its estuary are located in the permafrost zone [65]. The Ob belongs to rivers with a prolonged spring-summer flood. Beginning in October and continuing throughout the winter, the river is mainly fed by groundwater, and its runoff sharply decreases at this time [54, 66].

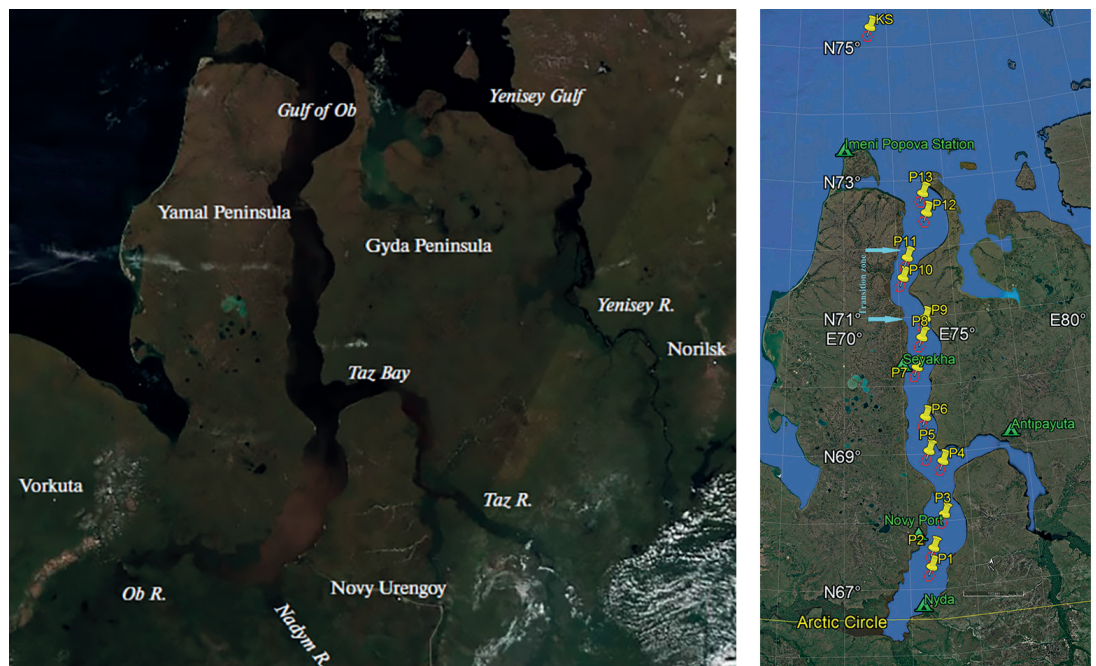


Fig. 1. Study area (the Gulf of Ob and the Kara Sea). Left: Terra MODIS image of 05.07.2016. Right: map of the area where yellow numbered pins are selected study sites with their numbers; red polygons are SMOS LIC cells corresponding to each selected study site; green triangles show weather stations; blue arrows show the location of the transition zone during open water

Рис. 1. Район исследования (Обская губа и Карское море). Слева: снимок Terra MODIS от 05.07.2016. Справа: карта района, где желтые пронумерованные значки - выбранные участки исследования с указанием их номеров; красные многоугольники - ячейки SMOS LIC, соответствующие каждому выбранному участку исследования; зеленые треугольники - метеостанции; синие стрелки показывают расположение фронтальной зоны в период открытой воды

DATA DESCRIPTION

Satellite data

Thirteen study sites (P1–P13) were selected across the entire water area of the Gulf of Ob plus one site located in the central part of the Kara Sea (see Fig. 1, right). For all selected sites, SMOS MIRAS data were obtained for the period from 2012 to 2018. Specifically, the SMOS L1C product version v620 was used [67]. The L1C product data are mapped to a discrete hexagonal DGG ISEA 4H9 geodetic grid [68]. The grid cells corresponding to each selected site are shown in Fig. 1, and the coordinates of their centers are listed in Table 1. The linear size of the cell is 15 km. The L1C product is built from the SMOS MIRAS data with a wavelength of 21 cm (frequency 1.4 GHz) and a resolution of 35×65 km for vertical (V) and horizontal (H) polarizations at a viewing angle of 42.5°. A continuous data archive for the period from 2012 to the present is stored on the servers of the European Space Agency (ESA).

Table 1

Center coordinates of the analyzed SMOS L1C cells.
DGG ID (Discrete Global Grid ID) is SMOS cell identification number

Таблица 1

Координаты центров анализируемых ячеек SMOS L1C.
DGG ID (Discrete Global Grid ID) - идентификационный номер ячейки SMOS

Site	DGG ID	Latitude, °N	Longitude, °E
P1	4050014	67.21	73.22
P2	4051040	67.49	73.33
P3	4053091	67.98	73.82
P4	4055657	68.76	73.88
P5	4055659	68.92	73.34
P6	4057199	69.42	73.27
P7	4059253	70.15	73.03
P8	4060792	70.58	73.30
P9	4061818	70.86	73.50
P10	4062848	71.46	72.59
P11	4063874	71.75	72.83
P12	4066949	72.39	73.87
P13	4067975	72.68	73.75
Kara Sea (KS)	4075674	75.18	71.38

Climate data

Climate data for the study area were obtained from meteorological stations (M), marine hydrometeorological stations (MH), and hydrological stations (HS) (<http://www.sevmeteo.ru/company/stations.php>, accessed June 10, 2022), and from the weather web archive (<https://rp5.ru>, accessed June 10, 2022). Fig. 1 on the right shows the locations of Nyda M, Imeni Popova MH, Novy Port MH, Antipayuta M and Seyakha HS. Table 2 shows their coordinates.

Table 2

Stations in the area of the Gulf of Ob

Таблица 2

Метеостанции в районе Обской губы

Weather station	Latitude, °N	Longitude, °E	Height, m
Nyda N	66.62	72.95	10
Novy Port MH	67.68	72.87	12
Antipayuta M	69.10	76.87	3
Seyakha HS	70.17	72.52	16
Imeni Popova St. MH	73.33	70.05	6

Table 3

Stations on the Ob River

Таблица 3

Станции и посты на реке Обь

Ob River sections	Locality, Region	Latitude, °N	Longitude, °E
Upper Ob	Barnaul, Altai Krai, Russia	53.35	83.78
Upper Ob	Ordynskoye, Novosibirsk Oblast, Russia	54.37	81.90
Upper Ob	Molchanovo, Tomsk Oblast, Russia	57.58	83.77
Middle Ob	Kolpashevo, Tomsk Oblast, Russia	58.31	82.90
Middle Ob	Kargasok, Tomsk Oblast, Russia	59.06	80.86
Middle Ob	Nizhnevartovsk, Khanty-Mansi Autonomous Okrug, Russia	60.94	76.56
Lower Ob	Sytomino, Khanty-Mansi Autonomous Okrug, Russia	61.30	71.29
Lower Ob	Oktyabrskoye, Khanty-Mansi Autonomous Okrug, Russia	62.46	66.04
Lower Ob	Salekhard, Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, Russia	66.53	66.61

The Ob River with the Katun River, one of main Ob tributaries, cross the entire territory of Russia from south to north, flowing through a number of natural and climate zones. By the nature of the river network, feeding conditions and flow formation, the Ob is divided into 3 sections: Upper Ob (from the confluence of Biya and Katun rivers to the mouth of the Tom River), Middle Ob (up to the mouth of the Irtysh River) and Lower Ob (up to the Gulf of Ob). To analyze the climate conditions along the Ob River in the study period (2012–2018), data from several weather stations in different parts of the river were obtained from the weather web archive (<https://rp5.ru>, accessed June 10, 2022). The locations of the weather stations are listed in Table 3.

Glaciological data

The characteristics of ice (thickness) and snow cover (height and density) in the Gulf of Ob were obtained for the period 2010–2017 at Novy Port MH. They were measured by A.I. Sinitsky, one of the authors of this article, and Yu.I. Prilepsky, Head of Novy Port MH of the Northern Agency for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (<http://www.sevmeteo.ru/company/stations.php>, accessed June 10, 2022). The data were averaged and approximated by smooth curves shown in Fig. 2. In the other parts of the Gulf of Ob, ice and snow characteristics differ little from those obtained at New Port MH [69].

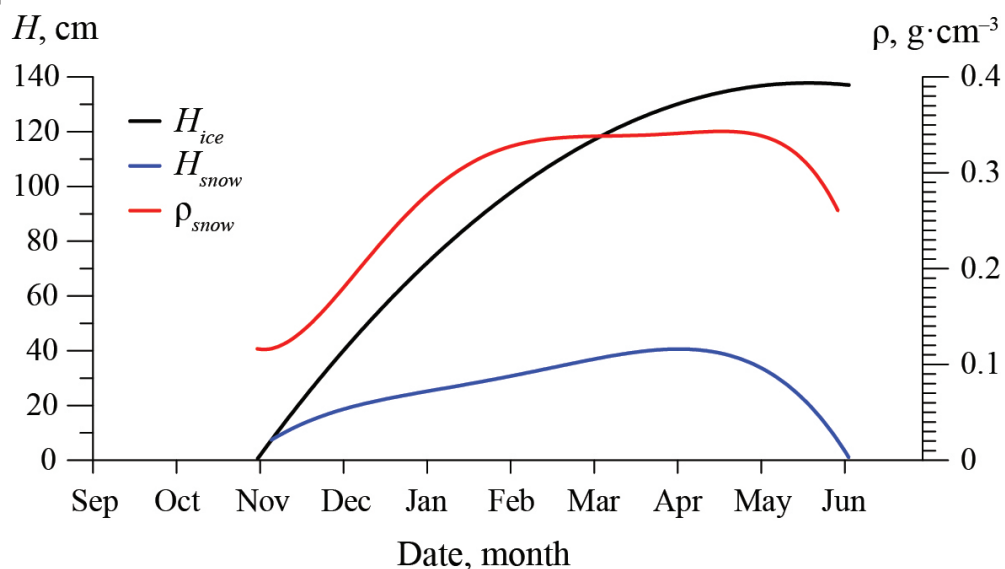


Fig. 2. Eight-year averages (2010–2017) of seasonal variations in ice thickness (H_{ice}), snow depth (H_{snow}) and snow density (ρ) in the Novy Port MH area of the Gulf of Ob

Рис. 2. Усреднённые за 8 лет (2010–2017) сезонные зависимости толщины льда (H_{ice}), высоты снежного покрова (H_{snow}) и плотности снега (ρ) в Обской губе в районе МН Новый порт

Hydrological data

Data on hydrological characteristics of the Gulf of Ob (temperature, water salinity, temperature and salinity profile by depth) were obtained from works of [16, 20, 63, 64]. They give water temperature and salinity at water surface and beneath in the summer and autumn seasons. There are almost no data on contact measurements of water salinity in the freezing period, neither at the surface nor at depth. Voynov et al. [64] show the results of winter salinity measurements under landfast ice that were made mainly from 1966 to 1988, i.e., 30–55 years ago. As noted in the work, the measurements were carried out irregularly and were of rather poor quality, not allowing a statistical analysis. Allegedly, as cited by Lapin [63], the farthest penetration of seawater into the Gulf of Ob, as far as the Taz Gulf (69°03' N), was observed at the end of the freezing period, however, no reliable documentary confirmation is available.

Since most of the runoff to the Gulf of Ob is supplied by the Ob River (>75%), an analysis of interannual river runoff near the city of Salekhard was undertaken. Salekhard is located 287 km from the mouth of the Ob. Runoff data for 2011–2018 were obtained from the following servers: ArcticGRO (<https://arcticgreativers.org/data/>, accessed June 10, 2022), ArcticRIMS (<https://rims.unh.edu//data.shtml>, accessed June 10, 2022) and R-ArcticNet (<https://www.r-arcticnet.sr.unh.edu/v4.0/index.html>, accessed June 10, 2022).

They are presented in Fig. 3 which shows a drastic change, depending on the year, in the river runoff in the warm half of the year (May – October). In the cold half of the year (November – April), the fluctuations of the river flow are not so significant. Bulavina [66] shows that the runoff of the Ob River is determined by the water content of the warm half-year. The runoff of the warm half-year is mostly influenced by the amount of solid precipitation of the preceding cold half-year and the precipitation of the warm half-year. The most significant is the amount of solid precipitation in the Upper and Middle Ob basins [66].

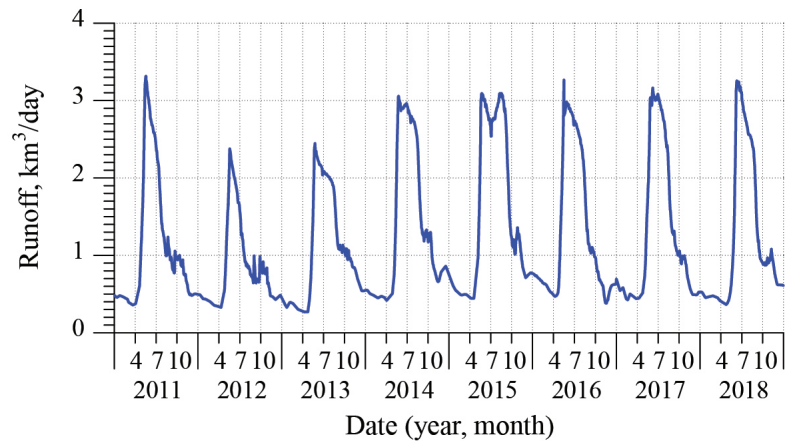
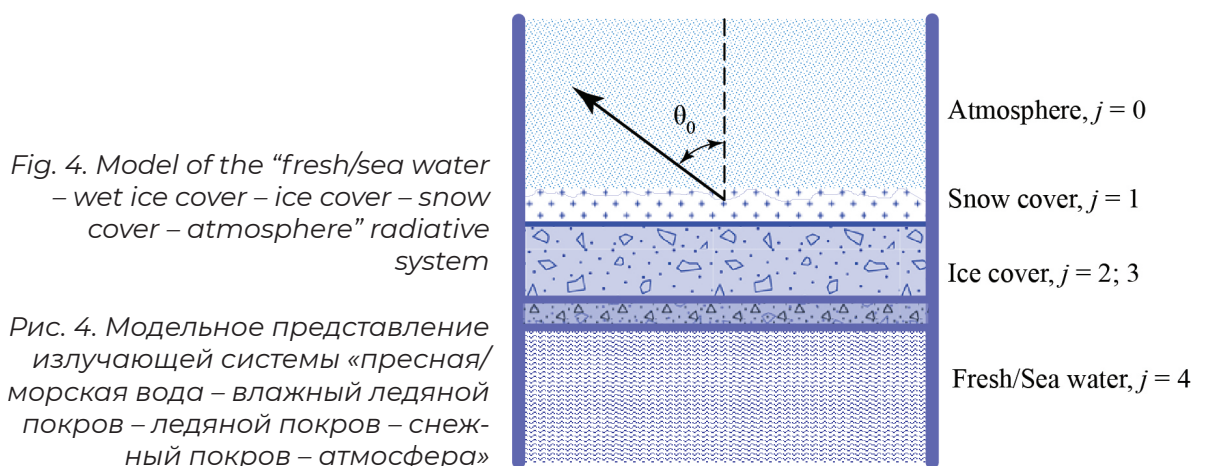


Fig. 3. Runoff of the Ob River near Salekhard for the period 2011–2018

Рис. 3. Сток реки Обь у города Салехард за период 2012–2018 гг.

MODEL

To interpret and analyze the seasonal variations in the brightness temperature of the Gulf of Ob regions during the freezing period, we used the radiation model of layered inhomogeneous non-isothermal medium [52]. The model was adapted for the case of the “fresh/sea water – ice cover (two layers) – snow cover – atmosphere” radiating system. A detailed description of the model for both marine and freshwater areas is given by Tikhonov et al. [6], [70]. In our case, the radiating system is an environment consisting of several layers: a fresh/sea water surface, above it a thin layer of wet ice (due to contact with the water), next is a layer of ice (wet or dry, depending on temperature conditions), above it a snow cover and then a thick layer of atmosphere (Fig. 4). As was shown by Demir et al. [71], such configuration enables a good model description of microwave radiation of an ice cover. Depending on the hydrological regime of the modeled region of the Gulf of Ob, the ice cover may be either freshwater or seawater.



Brightness temperature TBr of such a system is determined from the expressions discussed in detail by Sharkov [52] and Tikhonov et al. [61, 70]:

$$\begin{aligned}
 T_{Br}^v &= \sum_{j=1}^3 \frac{T_j |W_j|^2}{|1 - r_j^- r_j^+ \exp(2i\psi_j)|^2} \left[\frac{(1 - \exp(-2 \operatorname{Im} \psi_j)) \cdot (1 + |r_j^- \exp(i\psi_j)|^2)}{4 \frac{\operatorname{Im} \psi_j}{\operatorname{Re} \psi_j} \operatorname{Re}(r_j^- \exp(i\psi_j)) \cdot \operatorname{Im}(\exp(i\psi_j)) \cdot \left(\frac{|k_{z_j}|^2 - k_x^2}{|k_j|^2} \right)} \right] \times \\
 &\times \frac{\operatorname{Re} Z_j}{\operatorname{Re} Z_0} + T_4 |W_4|^2 \frac{\operatorname{Re} Z_4}{\operatorname{Re} Z_0}, \\
 T_{Br}^h &= \sum_{j=1}^3 \frac{T_j |W_j|^2}{|1 - r_j^- r_j^+ \exp(2i\psi_j)|^2} \left[\frac{(1 - \exp(-2 \operatorname{Im} \psi_j)) \cdot (1 + |r_j^- \exp(i\psi_j)|^2)}{4 \frac{\operatorname{Im} \psi_j}{\operatorname{Re} \psi_j} \operatorname{Re}(r_j^- \exp(i\psi_j)) \cdot \operatorname{Im}(\exp(i\psi_j))} \right] \times \\
 &\times \frac{\operatorname{Re} Z_j}{\operatorname{Re} Z_0} + T_4 |W_4|^2 \frac{\operatorname{Re} Z_4}{\operatorname{Re} Z_0},
 \end{aligned} \tag{1}$$

where the upper index of T_{Br} denotes:

v — vertical polarization;

h — horizontal polarization;

index *j* denotes layer of the medium;

the underlying layer (*j* = 4) has semi-infinite thickness;

k_j is wave vector in layer *j*;

T_j is temperature of layer *j*;

r_j⁺, *r_j⁻* are reflection coefficients from the upper and lower boundaries of layer *j*, respectively;

Ψ_j is wave phase overrun across layer *j*;

W_j is transmission coefficient from the inner side of the upper boundary of layer *j* to the snow-atmosphere boundary;

Z_j is wave impedance of layer *j*.

The characteristics of each layer are found from the following expressions:

$$W_j = \prod_{m=1}^j \frac{Z_{m-1}^{m+} + Z_{m-1}}{Z_{m-1}^{m+} + Z_m} \exp(i\psi_{m-1}), \quad Z_j^{m+} = Z_j \frac{Z_{j-1}^{m+} - iZ_j \operatorname{tg} \psi_j}{Z_j - iZ_{j-1}^{m+} \operatorname{tg} \psi_j}, \quad Z_j^{m-} = Z_j \frac{Z_{j+1}^{m-} - iZ_j \operatorname{tg} \psi_j}{Z_j - iZ_{j+1}^{m-} \operatorname{tg} \psi_j},$$

$$\psi_j = k_{z_j} h_j, \quad k_{z_j} = k_j \cos \theta_j, \quad k_x = k_0 \sin \theta_0, \quad k_j = \frac{2\pi \sqrt{\epsilon_j}}{\lambda}, \quad \cos \theta_j = \sqrt{\frac{\epsilon_j - \epsilon_0 \sin^2 \theta_0}{\epsilon_j}},$$

$$r_j^+ = \frac{Z_{j-1}^{m+} - Z_j}{Z_{j-1}^{m+} + Z_j}, \quad r_j^- = \frac{Z_{j+1}^{m-} - Z_j}{Z_{j+1}^{m-} + Z_j}, \quad Z_j = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{\epsilon_j} \cos \theta_j} & \text{—horizontal polarization,} \\ \frac{\cos \theta_j}{\sqrt{\epsilon_j}} & \text{—vertical polarization,} \end{cases} \tag{2}$$

where *Z_j^{m+}* is input impedance in layer *j* at the lower boundary for a wave propagating upward;

Z_j^{m-} is input impedance in layer *j* at the upper boundary for a wave propagating downward;

h_j is thickness of layer *j*;

λ is radiation wavelength;

θ₀ is viewing angle (see Fig. 4);

ε_j is complex dielectric constant of layer *j*.

Thus, the radiation of the system is determined by the physical temperature and the complex dielectric constant of each layer. The layer (ice and snow) complex dielectric constant was determined using the quasi-wave model of effective dielectric constant of a dispersed medium [6], [70], [72]. As the model input parameters (air, snow, and ice temperatures; snow density; ice cover salinity; average size of snow ice grains, air pores, brine and water inclusions in ice; their size dispersions, etc.) data were obtained from M, MH, and HS closest to the study site (see Fig. 1 and Table 2). Also, the average parameters of snow, freshwater, and sea ice typical of the Arctic region were taken from the literature [73-79].

During open water, brightness temperature of selected sites was determined as the product of water surface emissivity and thermodynamic temperature [80].

RESULTS AND DISCUSSION

Satellite data and modeling

In order to analyze brightness temperature dynamics in different study sites of the Gulf of Ob during the freezing period, model calculations were performed. The results were compared with satellite data.

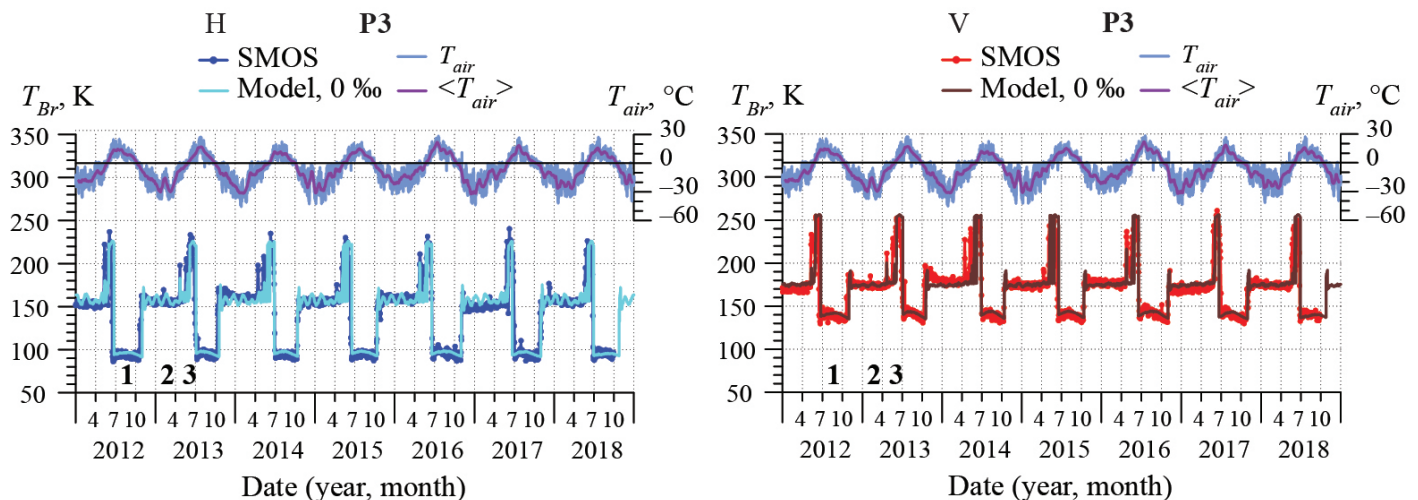


Fig. 5. Seasonal dynamics of brightness temperature at Site P3 in the Gulf of Ob from SMOS data at H (left panel, lower graph) and V (right panel, lower graph) polarizations. The upper graphs of each panel show daily and 2-week average air temperature. Blue and red lines and symbols are the SMOS data; cyan and dark brown lines are the modeling results for a salinity of 0‰. Numbers below the brightness temperature lines indicate the three time regions of brightness temperature values: 1 — open water (TR1), 2 — ice cover (TR2), 3 — ice destruction (TR3)

Рис. 5. Сезонная динамика яркостной температуры на площадке P3 в Обской губе по данным SMOS при H (левый рисунок, нижний график) и V (правый рисунок, нижний график) поляризациях. Верхние графики каждого рисунка показывают дневную и 2-недельную среднюю температуру воздуха. Синие и красные линии и символы - данные SMOS; голубые и темно-коричневые линии - результаты моделирования для солености 0‰. Цифры под линиями яркостной температуры указывают на три временные области значений яркостной температуры: 1 - открытая вода (TR1), 2 - ледяной покров (TR2), 3 - разрушение льда (TR3)

Figure 5 shows the brightness temperature dynamics at Site P3 (see Fig. 1, right) derived from the MIRAS data as well as the theoretical dependencies calculated using formulas (1)–(2). It should be noted that at sites P1 and P2 the brightness temperature dynamics is identical to P3. Analysis of the graphs shows that they are very similar to the seasonal brightness temperature dynamics of freshwater lakes [60, 61]. Comparison of satellite data and

modeling revealed three time regions of brightness temperature values for freshwater lakes. The first region (TR1) is associated with radiation from ice-free water surface. The second (TR2) marks stable ice cover on the lake surface. The third time region (TR3), characterized by a short-term sharp increase in brightness temperature by several tens of K, corresponds to the period of intense destruction and melt of the ice cover. In Fig. 1, exactly the same time regions TR1-TR3 are present on the brightness temperature graphs for freshwater sites (P1-P3). Here, the correlation between air temperature and brightness temperature corresponding to the phenological phases of the Gulf of Ob is well traced (see Fig. 5). Ice freeze-up begins when the air temperature drops below zero degrees Celsius. After ice cover is established, the dynamics of brightness temperature is quite stable and corresponds to that of average air temperature. The destruction of the ice cover begins when air temperature stays at zero for some time and then becomes positive.

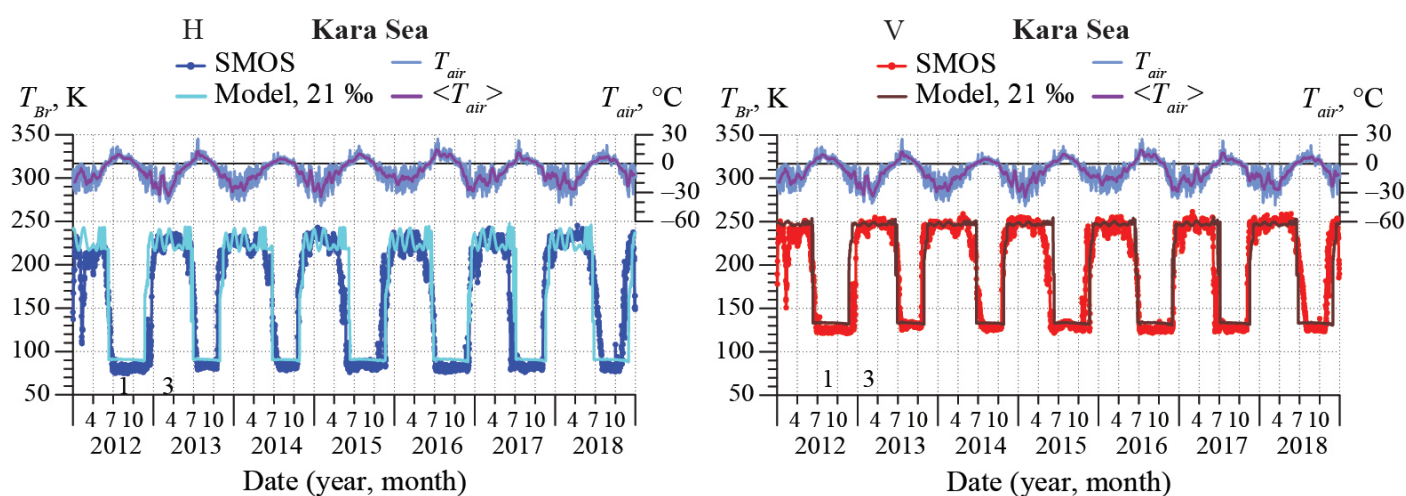


Fig. 6. Seasonal dynamics of brightness temperature in the Kara Sea from SMOS data. The notations are the same as in Fig. 5. Modeling is performed for a salinity of 21 ‰. Numbers below the brightness temperature lines show two time regions of brightness temperature: 1 — open water (TR1), 3 — stable ice cover and ice destruction (TR3)

Рис. 6. Сезонная динамика яркостной температуры в Карском море по данным SMOS. Обозначения те же, что и на рис. 5. Моделирование выполнено для солёности воды 21 ‰. Цифры под линиями яркостной температуры показывают две временные области яркостной температуры: 1 - открытая вода (TR1), 3 - устойчивый ледяной покров и разрушение льда (TR3)

The site in the Kara Sea (Fig. 1, right), in comparison with the freshwater sites of the Gulf of Ob, demonstrates a different brightness temperature dynamics. The difference is determined by the absence of TR2 (Fig. 6). With ice freeze-up, brightness temperature leaps from open water values to values recorded in TR3 at freshwater sites (see Fig. 5), then it remains relatively stable up to the beginning of ice destruction. The leap of over 130 K occurs in the period when air temperature drops and remains below zero for some time. As a result, brightness temperature reaches the values corresponding to ice destruction in the freshwater sites (compare Figs. 5 and 6). But in the Kara Sea, such values correspond to the ice cover period. During this period, for a long time (5–7 months), brightness temperature is not as stable as in TR2 at freshwater sites, and varies in the counter-phase with the dynamics of average air temperature. Closer to the spring-summer season, when air temperature periodically exceeds 0°C, brightness temperature becomes even more unstable, which can be explained by snow and ice periodic melt/freeze processes. Ice destruction begins when average air temperature exceeds 0°C.

Calculations using formulas (1)–(2) showed that the change in the seasonal brightness temperature dynamics at the Kara Sea site is related to a change in water salinity. For the freshwater part of the Gulf of Ob (P1–P3), the calculation was performed for a water salinity of 0 ‰, whereas for the Kara Sea site salinity was assumed at 21 ‰, which corresponds to the real water salinity (20–25 ‰) in this part of the sea [81, 82]. An increase in salinity leads to a strong growth of the imaginary part of the dielectric constant of water near 1.4 GHz [52] that, in turn, leads to an increase in radiation absorption by wet ice. Schematically, the absorption and emission processes in ice and snow at sites P1–P3 and in the Kara Sea can be described as follows (Figs. 7, 8).

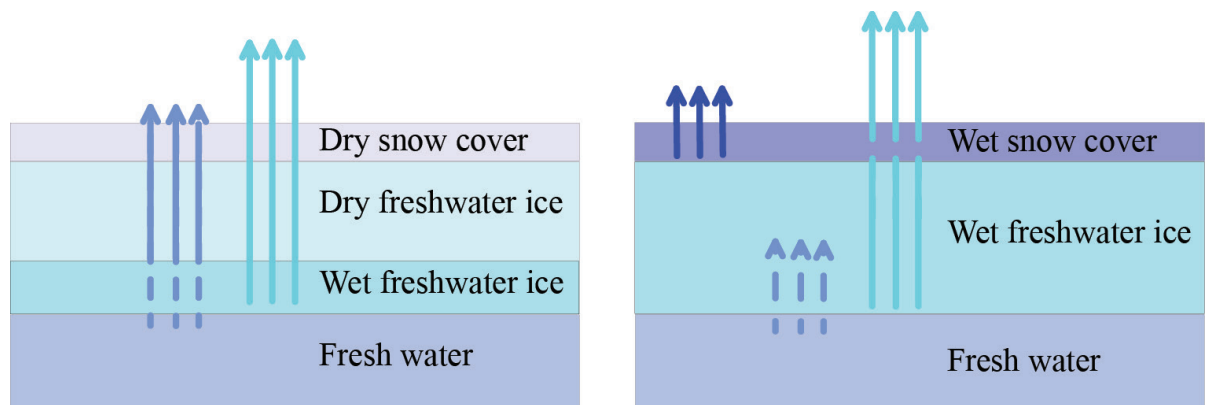


Fig. 7. Schematics of intrinsic microwave radiation of water, ice and snow for sites P1–P3 of the Gulf of Ob. Left: stable ice cover (TR2, see Fig. 5); Right: ice cover destruction (TR3, see Fig. 5)

Рис. 7. Схемы собственного микроволнового излучения воды, льда и снега для участков P1–P3 Обской губы. Слева: устойчивый ледяной покров (TR2, см. рис. 5); справа: разрушение ледяного покрова (TR3, см. рис. 5)

At Site P3, TR2 (see Fig. 5) is associated with stable ice cover. At the beginning, there is a strong increase in brightness temperature related to water freeze-up and appearance of a stable ice cover. Once established, the ice cover is characterized by brightness temperature determined by the seasonal course of average air temperature in this region. Dry snow and dry freshwater ice (without liquid water in its pores) have low dielectric losses at 1.4 GHz [80], 2014). Their radiation penetration depths in this range are much greater than the thickness of ice and snow cover in the Gulf of Ob [61, 62]. Consequently, dry freshwater ice and dry snow are transparent for this radiation range. In wet freshwater ice with inclusions of liquid water in its pores, the absorption of microwave radiation increases, and such ice starts emitting radiation. In TR2, the radiation pattern at sites P1–P3 can be represented as follows (see Fig. 7, left). Part of the radiation from the water surface is absorbed by the wet freshwater ice layer. However, such ice emits by itself and adds radiation to the water surface radiation. Dry snow cover and dry freshwater ice are transparent for the radiation from beneath.

TR3 at Site P3 (see Fig. 5) is characterized by a short-term sharp increase in brightness temperature by about 80 K. This is the period of intense ice cover destruction and ice and snow melt [61]. During this period, changes in the physical properties of the entire ice cover occur: cracks appear in large numbers and get saturated with water. The presence of liquid water in ice alters its dielectric properties causing a strong increase in absorption of microwave radiation [80]. Increased absorption leads to an increase in the brightness temperature of the ice cover. However, absorption sharply

decreases the penetration depth of freshwater ice [61, 62] turning it into a shield for the radiation rising from the water surface. The snow cover during this period has a thickness of several centimeters (see Fig. 2) and maximum wetness due to intense melt. At 1.4 GHz, the radiation penetration depth for such snow is small (10–20 cm), but greater than the thickness of the snow cover on ice [61, 62]. Therefore, the wet snow layer has the same effect on the ice cover radiation in TR3 as the wet ice layer in TR2 does on the water surface radiation (see Fig. 7, left). Only here the snow cover adds radiation to the radiation of melting ice. The resulting summary radiation characterizes TR3 for sites P1–P3 (Fig. 7, right). Thus, the seasonal brightness temperature dynamics of the freshwater part of the Gulf of Ob completely corresponds to that of freezing freshwater lakes [60, 61].

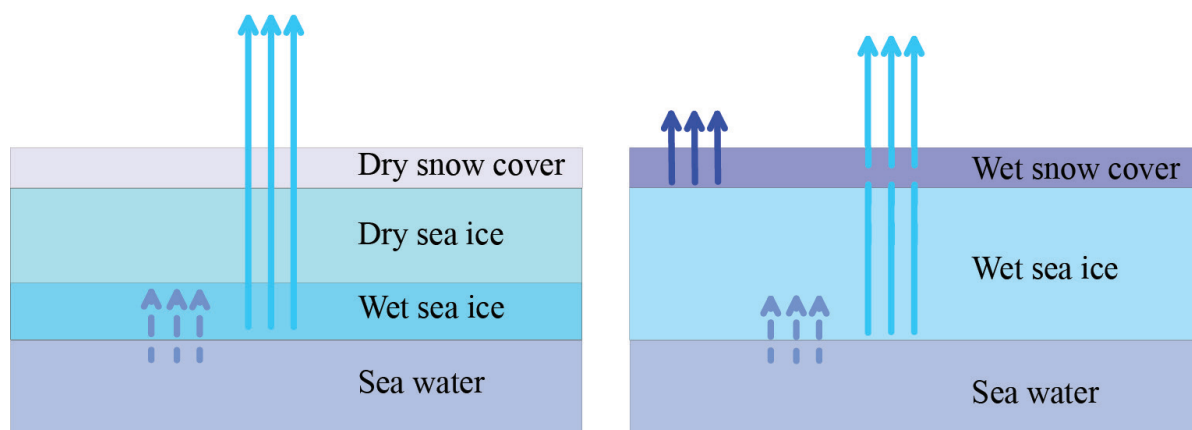


Fig. 8. Schematics of intrinsic microwave radiation of water, ice and snow at the Kara Sea site. Left: stable ice cover (beginning and middle of TR3, see Fig. 6); right: ice cover destruction (end of TR3, see Fig. 6)

Рис. 8. Схемы собственного микроволнового излучения воды, льда и снега на участке в Карском море. Слева: стабильный ледяной покров (начало и середина TR3, см. рис. 6); справа: разрушение ледяного покрова (конец TR3, см. рис. 6)

The peculiarity of the site in the Kara Sea is the absence of TR2 in the graph of interannual brightness temperature dynamics (see Fig. 6). Here, TR1 transforms directly into TR3 over a short period of time (about a month). Brightness temperature leaps by about 130–160 K depending on radiation polarization. The duration of TR3 for this site corresponds to the freezing period. Further, with the ice cover melt and decay TR3 changes over to TR1. At this site, ice is formed from salty water in contrast to P1–P3 of the Gulf of Ob where water remains fresh even in winter [16, 20, 63, 64]. This means much greater absorption of radiation in the lower ice layer that is in constant contact with salty water. The increased absorption in the lower ice layer, as compared to P1–P3, leads to an increase in the brightness temperature [83]. Due to the strong absorption, the lower (wet) ice layer shields the 1.4 GHz radiation from the water surface while its own radiation increases in comparison with freshwater ice (see Fig. 8, left). The conditions here are similar to the period of ice cover destruction at P1–P3 (see Fig. 7, right, and Fig. 8, left). At 1.4 GHz, the radiation from melting and decaying freshwater ice is practically similar in magnitude to the radiation from stable ice cover in the Kara Sea. Also, water salinity at the Kara Sea site explains a slightly delayed establishment of the ice cover there, as compared to P1–P3 (compare Figs. 5, 6).

The period of ice cover destruction and melt in the Kara Sea (end of TR3) differs slightly from the same period in the freshwater part of the Gulf of Ob (P1–P3). As ice begins to melt, many cracks and pores appear in it. They fill with

salt water from below and with fresh water from above. This further increases the absorption of radiation in the ice cover. The snow cover becomes wet and partly absorbs the radiation from the ice. At the same time, the wet snow itself starts emitting and adds its own radiation to that of the sea ice (see Fig. 8, right).

Microwave radiation modeling in the other selected sites of the Gulf of Ob obtained the following results.

Analysis of Site P4 showed that water salinity under the ice cover can vary 0–5‰ in different years (Fig. 9). In 2012, 2017 and 2018, winter water salinity was 0‰, and in 2014 and 2015 it was 5‰. In the other years considered, winter water salinity was between 0 and 5‰ (see Fig. 9). At Site P4, ice cover is formed from fresh water. However, in winter, for various reasons (they will be discussed below), the salinity of water under ice may increase. The lower ice layer (see Fig. 7, left) is then saturated with brackish water instead of fresh water. Consequently, absorption of radiation increases in this layer, but the layer itself emits more intense radiation. In this case, microwave radiation of Site P4, schematically, will appear intermediate between Fig. 7, left, and Fig. 8, left. The ice is freshwater, but its lower layer is saturated with brackish water. Brightness temperature varies depending on water salinity: both either increase or decrease. The seasonal and interannual dynamics of brightness temperature at Site P5 almost completely agree with those of P4.

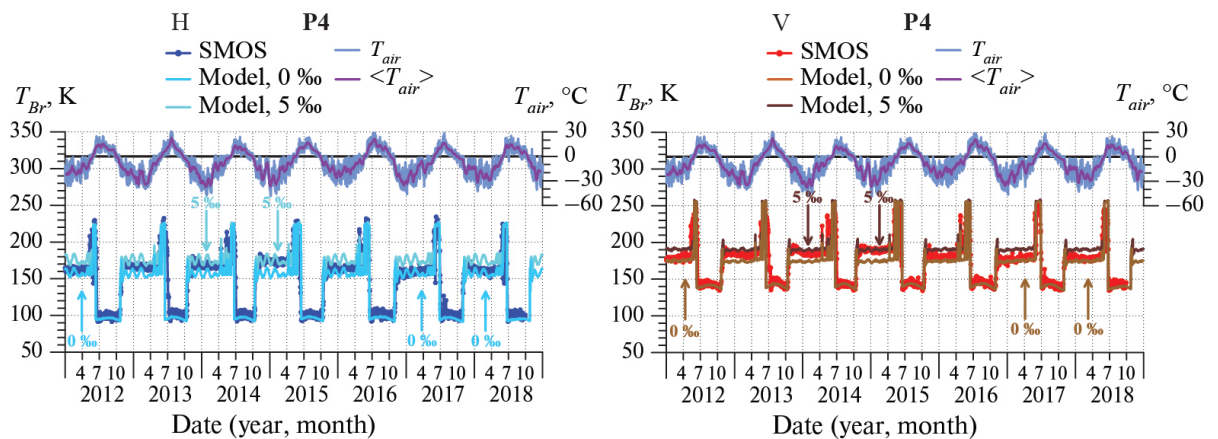


Fig. 9. Seasonal dynamics of brightness temperature at Site P4 from SMOS data. Notations are the same as in Fig. 5. Model results are sky blue and brown for a water salinity of 0‰ and cyan and dark brown for 5‰. Vertical arrows show fits of the satellite data to the model results at water salinity of 0 or 5‰

Рис. 9. Сезонная динамика яркостной температуры на участке P4 по данным SMOS. Обозначения те же, что и на рис. 5. Результаты моделирования представлены бирюзовым и коричневым цветом для солёности воды 0‰ и голубым и темно-коричневым для 5‰. Вертикальные стрелки показывают соответствие спутниковых данных результатам моделирования при солёности воды 0 или 5‰

At Site P6, model calculations agree with satellite data for under-ice water salinity at an average of 5‰ (Fig. 10). Here, as well as at P4, water salinity fluctuations in winter are noticeable across the years, though not so pronounced.

Analysis of Site P8 data showed that under-ice water salinity in winter in this part of the gulf is unstable and can vary greatly not only from year to year, but also during one winter season in the range from 5 to 15‰ (Fig. 11). Indeed, in 2014 and 2015, water salinity during the winter was 5‰, and in 2018, for most of the freezing period, it was 15‰. And in 2013 and 2016, under-ice water salinity varied from 5‰ at the beginning of winter to 15‰ at the end. At sites P7 and P9 (see Fig. 1, right), the seasonal and interannual brightness temperature dynamics are the same as at P8.

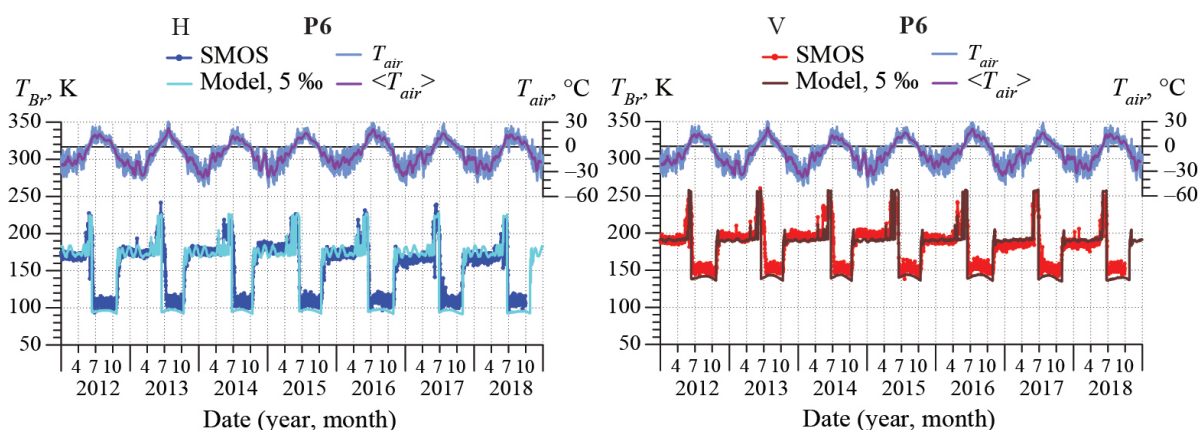


Fig. 10. Seasonal brightness temperature dynamics at Site P6 from SMOS data. The notations are the same as in Fig. 5. The modeling is performed for a water salinity of 5 ‰

Рис. 10. Сезонная динамика яркостной температуры на участке P6 по данным SMOS. Обозначения те же, что и на рис. 5. Моделирование выполнено для солёности воды 5 ‰

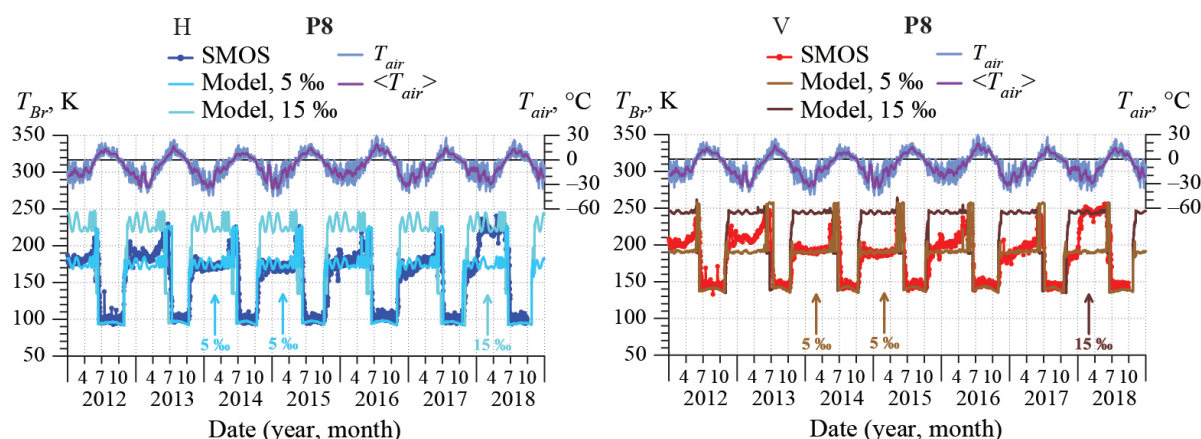


Fig. 11. Seasonal dynamics of brightness temperature at Site P8 from SMOS data. The notations are the same as in Fig. 5. Model results are sky blue and brown for a water salinity of 5‰ and cyan and dark brown for 15‰. Vertical arrows show fits of the satellite data to the model results at 5‰ or 15‰ water salinity

Рис. 11. Сезонная динамика яркостной температуры на участке P8 по данным SMOS. Обозначения те же, что и на рис. 5. Результаты моделирования выделены бирюзовым и коричневым для солёности воды 5‰ и голубым и темно-коричневым для 15‰. Вертикальные стрелки показывают соответствие спутниковых данных результатам моделирования при солёности воды 5‰ или 15‰

The seasonal and interannual brightness temperature dynamics at Site P10 are close to P8. However, the variation of under-ice water salinity from year to year is not as large and averages between 10 and 15‰ (see Fig. 12). The seasonal and interannual dynamics of brightness temperature at Site P11 almost completely mimic those at P10.

Analysis of sites P12 and P13 showed that in this part of the Gulf of Ob the seasonal and interannual brightness temperature dynamics do not differ from the Kara Sea site (compare Figs. 6 and 13). Here, ice is already formed from brackish water, as evidenced by numerous contact measurements made in autumn [16, 20, 63, 64] and irregular winter measurements (Fig. 14) [64, 84]. Figure 13 shows the model results at Site P13 for under-ice water salinity of 15‰.

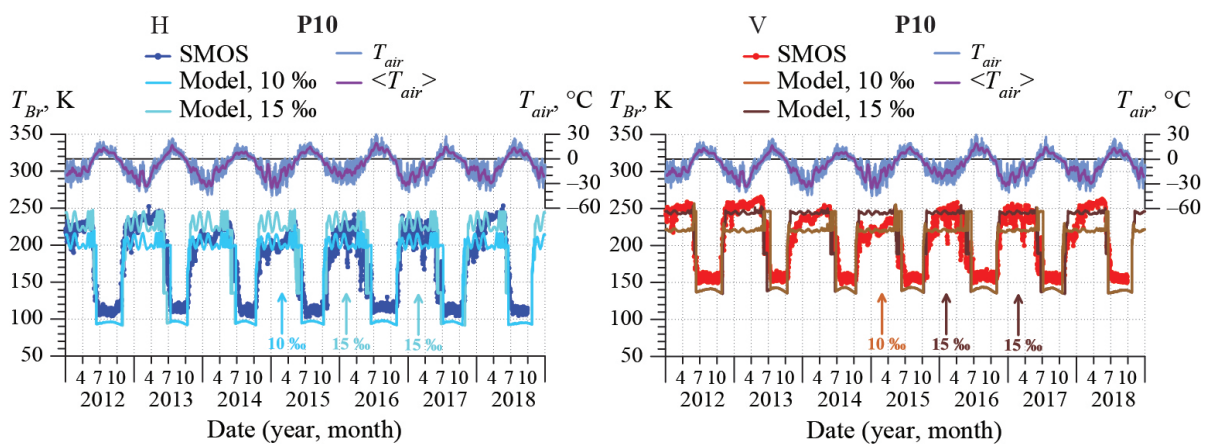


Fig. 12. Seasonal dynamics of brightness temperature at Site P10 from SMOS data. Notations are the same as in Fig. 5. Model calculations are sky blue and brown for a water salinity of 10‰ and cyan and dark brown for 15‰. Vertical arrows show fits of the satellite data to the model results at 10 or 15‰

Рис. 12. Сезонная динамика яркостной температуры на участке P10 по данным SMOS. Обозначения те же, что и на рис. 5. Модельные расчеты выделены бирюзовым и коричневым цветом для солености воды 10‰ и голубым и темно-коричневым для 15‰. Вертикальные стрелки показывают соответствие спутниковых данных результатам моделирования при 10 или 15‰

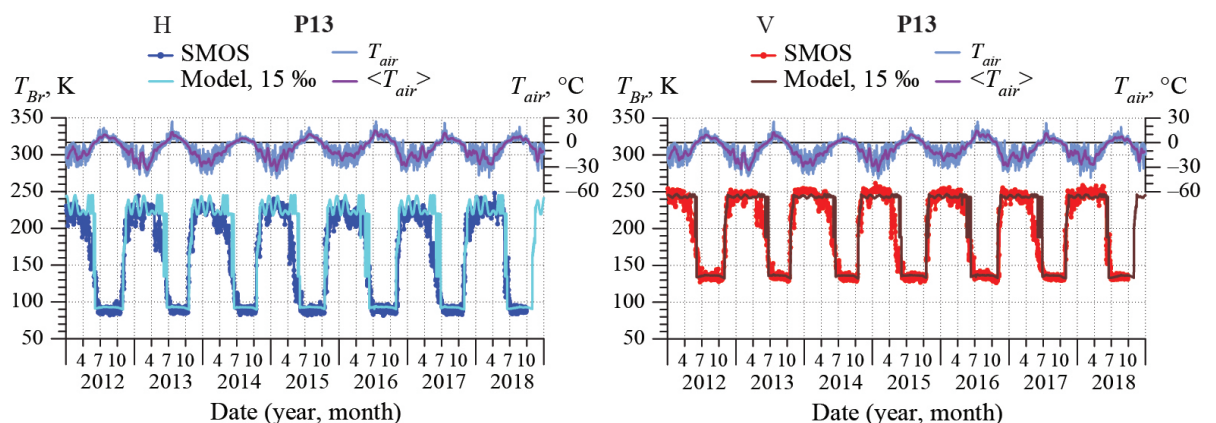


Fig. 13. Brightness temperature seasonal dynamics at Site P13 from SMOS data. The notations are the same as in Fig. 5. Modeling is performed for a water salinity of 15‰

Рис. 13. Сезонная динамика яркостной температуры на участке P13 по данным SMOS. Обозначения те же, что и на рис. 5. Моделирование выполнено для солености воды 15‰

Note that at P13, the winter water salinity reported by Voynov et al. [64] is 15‰, the same as used in the modeling for this site (compare Figs. 1 and 14 and Table 1). According to Voynov et al. [64], the winter water salinities at P8 and P10 are 3 and 9‰, respectively (compare Figs. 1 and 14 and Table 1). In the modeling for these sites, nearly the same values of water salinity (5 and 10‰, respectively) were used.

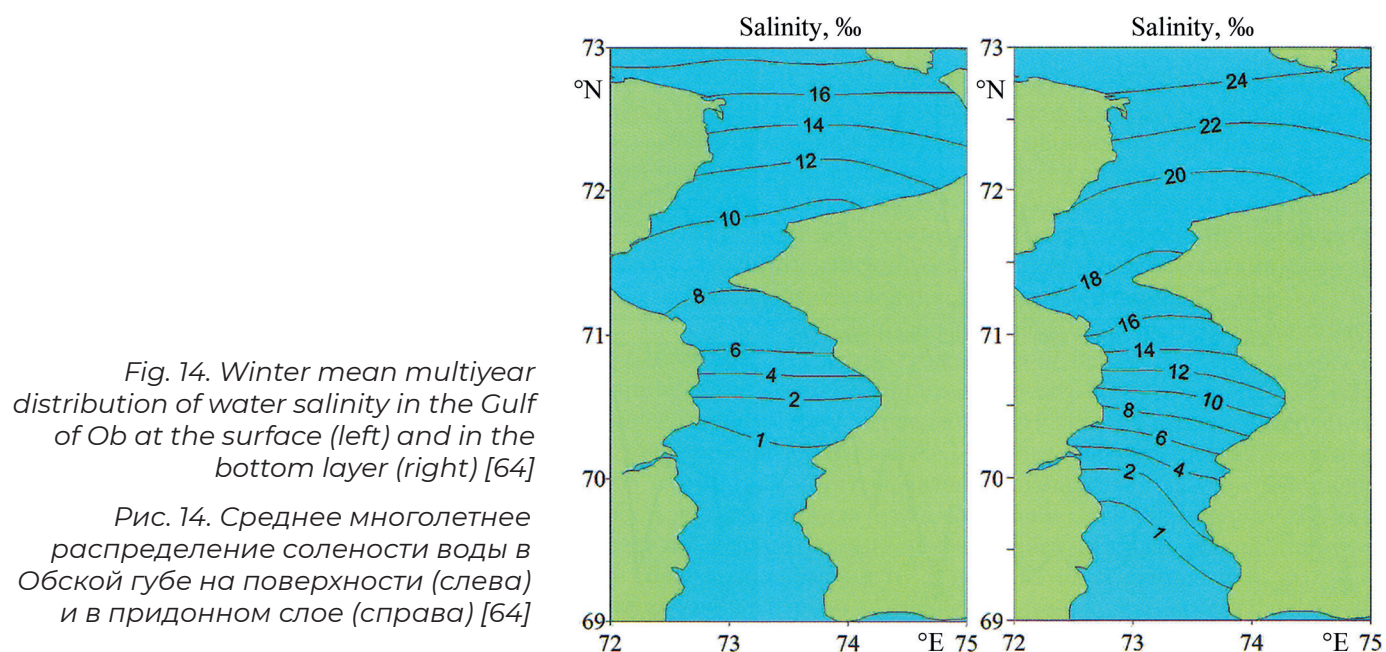


Fig. 14. Winter mean multiyear distribution of water salinity in the Gulf of Ob at the surface (left) and in the bottom layer (right) [64]

Рис. 14. Среднее многолетнее распределение солёности воды в Обской губе на поверхности (слева) и в придонном слое (справа) [64]

Analysis of the model results and their comparison with the satellite data showed that in some winter seasons the transition zone can shift rather far to the south of the Gulf of Ob, up to the Taz Gulf, i.e., to Site P4 (see Fig. 1, right). Thus, the obtained results confirm the statement of Lapin [63] that in the Gulf of Ob the frontal zone can be observed as far south as 69°N.

It should be noted that the SMOS cell has a size of 15×15 km [68], and the MIRAS pixel size is about 35×65 km [85]. Thus, for some study sites in the Gulf of Ob the MIRAS pixel size exceeds the size of the water area where this site is located. Because of this, some shore area is captured into a MIRAS pixel and that is reflected in brightness temperature, especially in summer (when there is no ice cover). This concerns sites P5–P11 (see Fig. 1, right). In summer, when snow and ice melt away, the emissivities of open water and the shore (tundra and forest vegetation, open soil, marshes) are very different. In winter, the radiative properties of frozen land surface and ice cover are close to each other [80, 86]. Therefore, for sites P6, P8, and P10 (see Figs. 10–12) during open water, the model brightness temperature is slightly lower than that derived from the satellite data.

Analysis of hydrological and meteorological data

The displacement of the transition zone in the Gulf of Ob is influenced by a large number of factors: river runoff, tidal and storm surge phenomena [64] as well as the effects of permafrost thaw in the watershed caused by climate changes [65, 87]. In the northern part of the gulf (sites P7–P13) under-ice water salinity is mostly determined by the influence of the Kara Sea, tidal and storm surge phenomena [64]. The southern part of the gulf (sites P1–P3) is more influenced by the river flows, first of all, of the Ob. On the south of the gulf, the influence of tides and storm surges is insignificant [64]. The central part of the Gulf of Ob (sites P4–P6) is exposed, even during one winter season, to all of the above impacts. Studies [16, 20, 63, 64, 84] show that during winter,

against the background of low river flow, a gradual increase in salinity and mineralization of organic matter in the northern Gulf of Ob is observed. Here, during the autumn low-water period, the influence of seawater intensifies. This causes an increase in salinity of the upper water layers up to 8–9‰ and bottom layers up to 20–22‰ [16, 20, 63, 64]. During winter, the northern Gulf of Ob (north of 71.5°N, Site P10) is subject to an even greater increase in salinity associated with a significant decrease in river runoff (see Figs. 3, 14) and sea bottom currents and tides [20, 64].

Since the Ob River supplies most of the river inflow to the gulf (75–76%), an analysis of climate characteristics along the whole of its length was performed for the study period (2012–2018), and also annual and winter river runoffs for the period from 2011 to 2018 were calculated. Figure 15 shows the dynamics of air temperature, precipitation, and snow cover height plotted using data from 9 weather stations located in different natural climate zones along the Ob (see Table 3). The values of annual runoff of the Ob River near Salekhard are given in Table 4. Table 5 gives the values of annual winter runoff (calculated for the period from November 1 till April 30), annual runoff (calculated for the period from May 1 till April 30), and their percentage ratio.

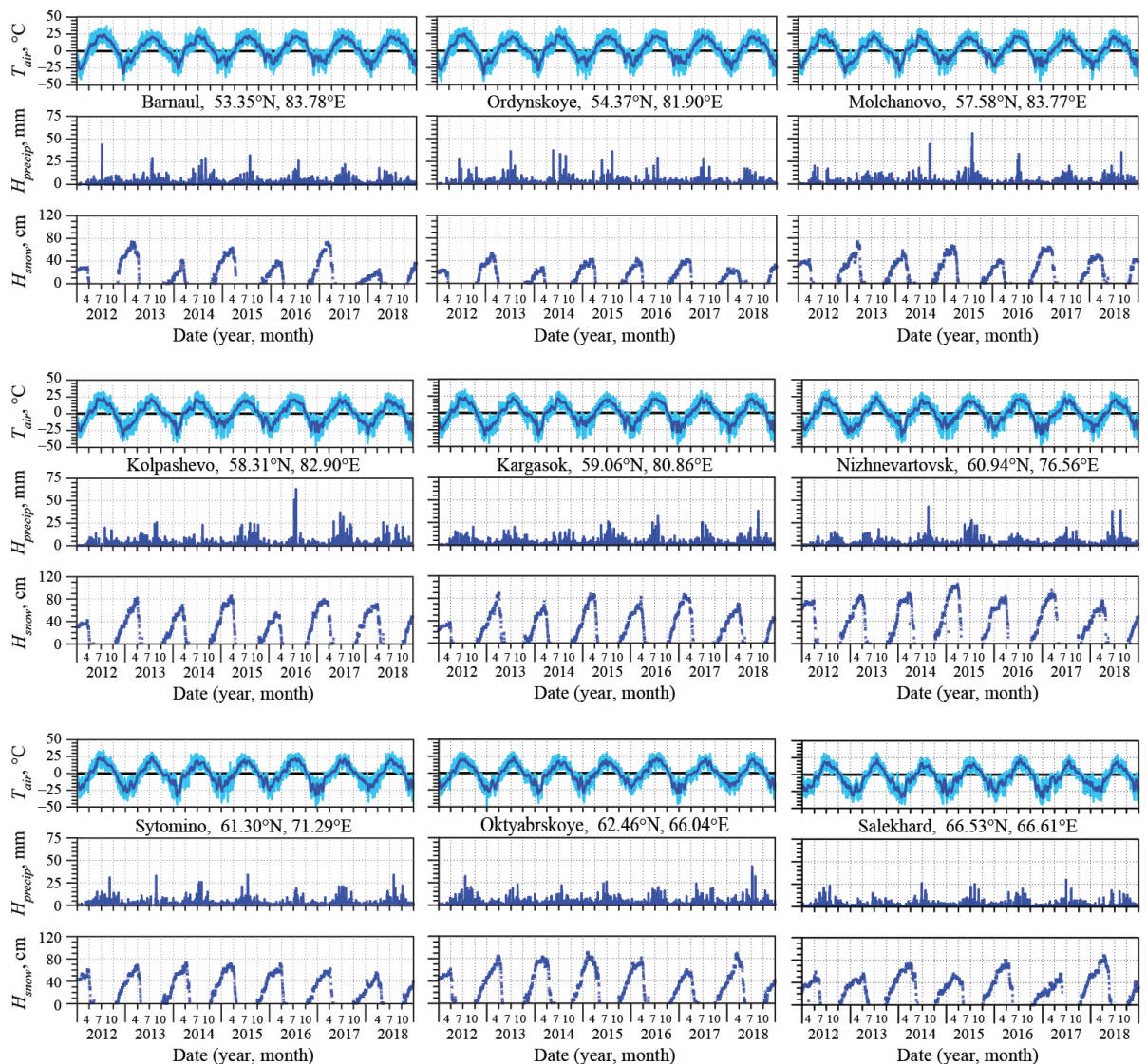


Fig. 15. Air temperature, precipitation, and snow cover height along the Ob River based on data from weather stations (Table 3). Top: Upper Ob, center: Middle Ob, bottom: Lower Ob

Рис. 15. Температура воздуха, количество осадков и высота снежного покрова вдоль реки Обь по данным метеостанций (табл. 3). Вверху: Верхняя Обь, в центре: Средняя Обь, внизу: Нижняя Обь

Table 4

Annual runoff of the Ob River near Salekhard

Таблица 4

Годовой сток реки Обь в районе Салехарда

Year	Annual runoff, km ³
2011	405.29
2012	301.14
2013	374.20
2014	480.05
2015	543.24
2016	463.33
2017	456.81
2018	434.91

Table 5

Runoff of the Ob River near Salekhard: winter (November 1 – April 30), annual (May 1 – April 30) and their percentage ratio

Таблица 5

Сток реки Обь у г. Салехард: зимний (1 ноября - 30 апреля), годовой (1 мая - 30 апреля) и их процентное соотношение

Season	Winter, km ³	Annual, km ³	Winter/Annual, %
2011–2012	84.62	398.18	21
2012–2013	69.56	290.49	24
2013–2014	99.39	391.47	25
2014–2015	111.18	486.82	23
2015–2016	127.80	554.76	23
2016–2017	93.30	448.24	21
2017–2018	88.37	450.00	20

The watershed of the Ob River extends for a great distance from north to south and has a vast area, which determines the diversity of flow formation conditions. Bulavina [66] showed that more than 80% of the Ob runoff is formed in its upper and middle reaches. Lower, it is fed by small tributaries that all make about 5% of the Ob runoff. Thus, the runoff fluctuation patterns are primarily determined by the interaction and overlapping of climate fluctuations in the watersheds of large tributaries of the Upper and Middle Ob. The analysis of Fig. 15 and Table 4 confirms the conclusions of Bulavina [66]. The greatest Ob runoff was observed in 2014, 2015, 2016, and 2017 (see Table 4). These years are characterized, in their warm half, by most intense precipitation in the upper and middle reaches of the river (see Fig. 15). Intense precipitation of the warm half of 2015, the most water plentiful year, was preceded by a large amount of solid precipitation in the cold season (see Section 3.4). Table 5 presents calculations of annual winter runoff of the Ob near Salekhard. The winter runoff does not change much from year to year. It is determined

by the runoff of the whole year and the percentage ratio of winter runoff to annual runoff remains practically the same.

The interannual climate characteristics of the study area and the dynamics of hydrological parameters of the Ob River were found to have no correlation with the satellite data and the model results (compare Figs. 9–12, Fig. 15 and Tables 4, 5). This conclusion is partly supported by Stanovoy [84] who notes a significant interannual variability of surface water salinity in the Ob Gulf in winter (January–April) that is weakly related to the Ob runoff. The same work indicates a much greater relationship between water salinity and the interannual variability of atmospheric processes over the Kara Sea in February.

Table 6

Mean annual air temperature in the area of the Gulf of Ob (Fig. 1, Table 2), °C

Таблица 6

Среднегодовая температура воздуха в районе Обской губы (рис. 1, табл. 2), °C

Weather station	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Nyda M	−3.8	−3.9	−6.5	−7.0	−4.9	−3.4	−4.3	−6.0
Novy Port MH	−4.8	−4.8	−7.4	−7.9	−5.9	−4.3	−5.4	−6.8
Antipayuta M	−5.6	−6.5	−9.0	−9.4	−7.1	−5.8	−6.8	−8.1
Seyakha HS	−5.6	−5.9	−9.0	−9.3	−7.0	−5.5	−6.5	−7.6
Imeni Popova St. MH	−5.6	−5.6	−9.4	−9.1	−7.3	−6.0	−6.7	−7.8

Table 6 presents mean annual air temperatures for each year under consideration, obtained at M, MH and HS in the region of the Gulf of Ob (see Table 2). Here, we can see a correspondence of the warmest years (2011, 2012, 2016, 2017) and the minimums of under-ice water salinity for sites P4–P6 in 2012 and 2017 (compare Table 6 and Figs. 9–10). And the salinity minimum is more pronounced by the second warmest year in a row. It should be noted that the maximums of salinity for sites P4–P6 are observed in 2014 and 2015. They are preceded by two coldest years, 2013 and 2014, and also 2015 is a rather cold year (compare Table 6 and Figs. 9–10). This is likely due to the effects of permafrost thaw on Yamal and Gydan peninsulas in warmer years. Permafrost thaw adds fresh water inflow to the Gulf of Ob. Similar processes have been observed recently throughout the Arctic [4, 6, 87–90]. The entire southern and central part of the Gulf of Ob, including the Taz Bay (see Figs. 1), is surrounded by areas of moderate to warm permafrost. The mean annual ground temperature at the depth of the zero annual amplitude varies from 0 to −5 °C, and the thickness of the active layer ranges from 60 to 150 cm [91]. Hence, even a slight increase in the mean annual air temperature may lead to permafrost thaw around the Gulf of Ob and an inflow of freshwater into the Gulf of Ob.

In the northern (P7–P13) and southern (P1–P3) parts of the Gulf of Ob, no dependence of changes in under-ice water salinity on the mean annual air temperature is observed. In the northern part (P7–P13), the Kara Sea waters have the fundamental influence on water salinity; whereas in the southern part (P1–P3), such is the influence of the Ob River runoff [16, 20, 63, 64].

The analysis of hydrological and climate characteristics of the study area showed that during the freezing period, the displacement of the transition zone in the Gulf of Ob is influenced by a complex of factors. Among them, there are climate variations in the region and the Ob River watershed as well as storm surge and tidal phenomena in the Kara Sea and its internal currents.

CONCLUSIONS

Warming of the Arctic entails hydrological and climate changes that are manifested in shrinking ice cover, intense melt of glaciers, reduction in the number and total area of thermokarst lakes, earlier thaw onset and later freeze-up of tundra. Monitoring of hydrological and climate characteristics of the Arctic region has shown that the observed changes are associated with variation in precipitation and temperature fluctuations, degradation of permafrost and tundra vegetation, increased evaporation rates, additional amounts of water vapor and methane entering the atmosphere. The Arctic is attracting attention not only because of climate change, but also because of growing development of large oil and gas fields and consequent aggravation of environmental problems in the region. Operational information about hydrological responses to climate and environmental changes in the Arctic region can be obtained using remote sensing methods.

This article analyzes the seasonal and interannual dependencies of brightness temperature derived from SMOS MIRAS data for different regions of the Gulf of Ob during the freezing period. The analysis is based on comparison of satellite data and model calculations as well as climate characteristics of the area and hydrological parameters of the Gulf of Ob and the Ob River.

It was shown that during winter seasons, the transition zone, the region where fresh and salt waters mix in the Gulf of Ob, can shift as far south as the Taz Bay. The obtained results agree well with the data of Lapin [63] and Voynov et al. [64]. Winter shift of the transition zone depends on a complex of factors: permafrost thaw in the environs of the gulf, river runoff and the influence of the Kara Sea. Variations in these factors are determined by climate changes in the region. However, these results require further confirmation and development.

Note that winter displacement of the transition zone far to the south of the gulf may cause serious and irreversible disturbances to the regional ecosystem. This is due to the fact that the mouth area of the Ob plays a principal role in the reproduction of semi-anadromous fish - sturgeon, peled, muksun, broad whitefish, Siberian whitefish, European whitefish and dogfish. It is the main, unique and the most populated whitefish habitat. The southern and central regions of the Gulf of Ob serve as a wintering area for these fish. Semi-anadromous fish of the Ob River are mostly freshwater forms and cannot withstand increased salinity. Their wintering area in the gulf is constrained on the north by the moving boundary of the transition zone [63]. This fact calls for continuous remote monitoring of this region as well as further investigation into the causes of variations in the hydrological regime of the Gulf of Ob.

Acknowledgments. *The authors express their sincere gratitude to Yu.I. Prilepsky, Head of Novy Port MH of the Northern Agency for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Northern AHEM of Roshydromet), for providing data on the characteristics of ice and snow cover in the Gulf of Ob. The authors thank Tatiana Bocharova (Space Research Institute, Russian Academy of Sciences) for translating the manuscript into English.*

Благодарности. *Авторы выражают искреннюю благодарность Ю. И. Прилепскому, начальнику Морской гидрометеорологической станции "Новый Порт" Северного агентства по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Северное УГМС Росгидромета), за предоставленные данные по характеристикам ледового и снежного покрова в Обской губе. Авторы благодарят Т. Ю. Бочарову (Институт космических исследований РАН) за перевод рукописи на английский язык.*

References:

1. Barry R. G., Gan T. Y. The Global Cryosphere. Past, Present, and Future. Cambridge University Press, 2011: 472 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511977947>.
2. Day J. W., Rybczyk J. M. Global Change Impacts on the Future of Coastal Systems: Perverse Interactions Among Climate Change, Ecosystem Degradation, Energy Scarcity, and Population, in: Wolanski E., Day J. W. Elliott M., Ramachandran R. (Eds.), Coasts and Estuaries. The Future. Amsterdam: Elsevier, 2019: 621–639. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814003-1.00036-8>.
3. Forbes D. L. Arctic Deltas and Estuaries: A Canadian Perspective, in: Wolanski E., Day J. W. Elliott M., Ramachandran R. (Eds.), Coasts and Estuaries. The Future. Amsterdam: Elsevier, 2019: 123–147. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814003-1.00008-3>.
4. Jacques J.-M. St., Sauchyn D. J. Increasing winter baseflow and mean annual streamflow from possible permafrost thawing in the Northwest Territories, Canada. Geophysical Research Letters. 2009, 36: L01401. doi: 10.1029/2008GL035822.
5. Makarieva O., Nesterova N., Post D. A., Sherstyukov A., Lebedeva L. Warming temperatures are impacting the hydrometeorological regime of Russian rivers in the zone of continuous permafrost. The Cryosphere. 2019, 13: 1635–1659. <https://doi.org/10.5194/tc-13-1635-2019>.
6. Suzuki K., Matsuo K., Yamazaki D., Ichii K., Iijima Y., Papa F., Yanagi Y., Hiyama T. Hydrological Variability and Changes in the Arctic Circumpolar Tundra and the Three Largest Pan-Arctic River Basins from 2002 to 2016. Remote Sensing. 2018, 10(3): 402. <https://doi.org/10.3390/rs10030402>.
7. Somers B., Walker, H.J. Arctic Hydrology, in: Wang Y. (Ed.), The Handbook of Natural Resources, Second Edition, Volume 5, Coastal and Marine Environments. CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, 2020: 169-174.
8. Glaeser B. Human-Nature Relations in Flux: Two Decades of Research in Coastal and Ocean Management, in: Wolanski E., Day J. W. Elliott M., Ramachandran R. (Eds.), Coasts and Estuaries. The Future. Amsterdam: Elsevier, 2019: 641–659. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814003-1.00037-X>.
9. Kravtsova V. I., Cherepanova E. V. Dynamics of the Yenisei and Pur River Deltas. Water Resources. 2003, 30(3): 275–282. doi:10.1023/A:1023882129348.
10. Mikhailov V. N. Gidrologiia ust'ev rek: Uchebnik. Hydrology of river mouths: Textbook. Moscow University Press, 1998: 176 p. [In Russia].
11. Gordeev V. V. Trace elements in water, suspended matter and bottom sediments of the Ob and Yenisey estuaries and the Lena Delta and in the adjacent areas of the Kara and Laptev Seas, in: Kassens H., Lisitzin A. P., Thiede J., Polyakova Ye. I., Timokhov L. A., Frolov I. E. (Eds.), System of the Laptev Sea and the Adjacent Arctic Seas: Modern and Past Environments. Moscow University Press, 2009: 202–225. [In Russia].
12. Khlebovich V. V. K biologicheskoi tipologii estuariy Sovetskogo Soiuza. On biological typology of estuaries of the USSR, in: Khlebovich V. V. (Ed.), Gidrobiologicheskie issledovaniia estuariy. Hydro biological investigations of estuaries. Proceedings of The Zoological institute. 1986, 141: 5–16. [In Russia].
13. Nikanorov A. M., Bryzgalov V. A., Kosmenko L. S., Kondakova M. Yu., Reshetnyak O. S. Antropogennaia nagruzka na ust'ia rek Rossiiskoi Arktiki. Anthropogenic impact on estuaries of the Russian Arctic rivers, in: Kotlyakov V. M., (Ed.), Poliarnaia kriosfera i vody sushi. Polar Cryosphere and Continental Waters. Moscow, Saint-Petersburg: Paulsen Editions, 2011: 288–304. [In Russia].
14. Drits A. V., Arashkevich E. G., Nedospasov A. A., Amelina A. B., Flint M. V. Structural and Functional Characteristics of Zooplankton in the Ob Estuary and Adjacent Shelf Areas of the Kara Sea in Summer. Oceanology. 2019, 59(3): 347–357. doi: 10.31857/S0030-1574593383-395.
15. Galkin S. V., Kucheruk N. V., Minin K. V., Rayskiy A. K., Goroslavskaya E. I. Macrobenthos of the Ob River Estuarine Zone and of the Adjacent Regions of the Kara Sea. Oceanology. 2010, 50(5): 793–797. doi: 10.1134/S0001437010050152.
16. Lapin S. A. Hydrological Characterization of the Ob' Inlet in the Summer and Autumn Seasons. Oceanology. 2011, 51(6): 984–993. doi:10.3390/rs11070835.
17. Lisitsyn A. P., Shevchenko V. P., Vinogradov M. E., Severina O. V., Vavilova V. V., Mitskevich I. N. Particle fluxes in the Kara Sea and Ob and Yenisey estuaries. Oceanology. 1995, 34(5): 683–693.
18. Knizhnikov A. Yu., Golubchikov S. N., Zaitseva Yu. B. Vozmozhnye ekologicheskie posledstviia realizatsii proekta «Iamal-SPG». Possible environmental consequences of the Yamal-LNG project. Energiia: ekonomika, tekhnika, ekologiia. Energy: economics, technology, ecology. 2013, 12: 35–39. [In Russia].

19. Kruk M. N. Ekonomicheskaya otsenka riskov proekta osvoeniia morskikh gazovykh mestorozhdenii Obskoi Guby. Economic development project risk assessment of offshore gas fields Ob bay. *Neftegazovoe delo. Oil and gas business*. 2012, 1: 230–242. [In Russia]. Available at: <http://ogbus.ru/article/view/ekonomicheskaya-ocenka-riskov-proekta-osvoeniya-morskix-gazovyx-mestorozhdenij-obskoj-guby>
20. Ilyin G. V. Gidrologicheskiy rezhim Obskoi guby kak novoi oblasti morskogo prirodopol'zovaniia v rossiiskoi Arktike. Hydrological conditions of the Ob bay as new area of maritime wildlife management in the Russian Arctic. *Nauka iuga Rossii. Science in the south of Russia*. 2018, 14(2): 20–32. [In Russia]. doi: 10.23885/2500-0640-2018-14-2-20-32.
21. Gens R. Remote Sensing of Coastlines: Detection, Extraction and Monitoring. *International Journal of Remote Sensing*. 2010, 31(7): 1819–1836. <https://doi.org/10.1080/01431160902926673>.
22. Khorram S. Remote Sensing of Salinity in the San Francisco Bay Delta. *Remote Sensing of Environment*. 1982, 12(1): 15–22. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(82\)90004-9](https://doi.org/10.1016/0034-4257(82)90004-9).
23. Klemas V. V. Sensors and Techniques for Observing Coastal Ecosystems, in: Yang, X. (Ed.), *Remote Sensing and Geospatial Technologies for Coastal Ecosystem Assessment and Management*. Berlin: Springer, 2009: 17–44. doi: 10.1007/978-3-540-88183-4_2.
24. Kuenzer C., Heimhuber V., Huth J., Dech S. Remote Sensing for the Quantification of Land Surface Dynamics in Large River Delta Regions — A Review. *Remote Sensing*. 2019, 11(17): 1985. doi <https://doi.org/10.3390/rs11171985>.
25. Yang X. Remote Sensing, Geospatial Technologies and Coastal Ecosystems, in: Yang, X. (Ed.), *Remote Sensing and Geospatial Technologies for Coastal Ecosystem Assessment and Management*. Berlin: Springer, 2009: 1–14. doi: 10.1007/978-3-540-88183-4_1.
26. Cui B., Li X. Y. Coastline Change of the Yellow River Estuary and Its Response to the Sediment and Runoff (1976–2005). *Geomorphology*. 2011, 127: 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.12.001>.
27. Fan H., Huang H., Zeng T. Q. Wang K. River Mouth Bar Formation, Riverbed Aggradation and Channel Migration in the Modern Huanghe (Yellow) River Delta, China. *Geomorphology*. 2006, 74: 124–136. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.08.015>.
28. Li X., Damen M. Coastline Change Detection with Satellite Remote Sensing for Environmental Management of the Pearl River Estuary, China. *Journal of Marine Systems*. 2010, 82: 54–61. doi: 10.1016/j.jmarsys.2010.02.005.
29. Liu H. Shoreline Mapping and Coastal Change Studies Using Remote Sensing Imagery and LIDAR Data, in: Yang, X. (Ed.), *Remote Sensing and Geospatial Technologies for Coastal Ecosystem Assessment and Management*. Berlin: Springer, 2009: 297–322. doi: 10.1007/978-3-540-88183-4_13.
30. Petropoulos G. P., Kalivas D. P., Griffiths H. M., Dimou P. P. Remote Sensing and GIS Analysis for Mapping Spatio-Temporal Changes of Erosion and Deposition of Two Mediterranean River Deltas: The Case of the Axios and Aliakmonas Rivers, Greece. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2015, 35: 217–228. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.08.004>.
31. Hori M. Near-daily monitoring of surface temperature and channel width of the six largest Arctic rivers from space using GCOM-C/SGLI. *Remote Sensing of Environment*. 2021, 263: 112538. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112538>.
32. Pavelsky T. M., Smith L. C. Spatial and Temporal Patterns in Arctic River Ice Breakup Observed with MODIS and AVHRR Time Series. *Remote Sensing of Environment*. 2004, 93(3): 328–338. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.07.018>.
33. Klok L., van Harmelen T., Janssen S. Urban Heat and Heat Stress in Rotterdam. *Proceedings of the Deltas in Times of Climate Change. International Conference. Rotterdam, The Netherlands, 29 September – 1 October 2010*. 2010: 141–142.
34. Antonova S., Kääh A., Heim B., Langer M., Boike J. Spatio-temporal variability of X-band radar backscatter and coherence over the Lena River Delta, Siberia. *Remote Sensing of Environment*. 2016, 182: 169–191. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.05.003>.
35. Grings F., Salvia M., Karszenbaum H., Ferrazzoli P., Kandus P., Perna P. Exploring the Capacity of Radar Remote Sensing to Estimate Wetland Marshes Water Storage. *Journal of Environmental Management*. 2008, 90: 2189–2198. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.06.029>.
36. Omari K., Chenier R., Touzi R., Sagram M. Investigation of C-Band SAR Polarimetry for Mapping a High-Tidal Coastal Environment in Northern Canada. *Remote Sensing*. 2020, 12(12): 1941. <https://doi.org/10.3390/rs12121941>.
37. Ottinger M., Kuenzer C. Spaceborne L-Band Synthetic Aperture Radar Data for Geoscientific Analyses in Coastal Land Applications: A Review. *Remote Sensing*. 2020, 12(14): 2228. <https://doi.org/10.3390/rs12142228>.

38. Syvitski J. P. M., Overeem I., Brakenridge G. R., Hannon M. Floods, Floodplains, Delta Plains - A Satellite Imaging Approach. *Sedimentary Geology*. 2012, 267–268: 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2012.05.014>.
39. Abascal-Zorrilla N., Vantrepotte V., Huybrechts N., Ngoc D. D., Anthony E. J., Gardel A. Dynamics of the Estuarine Turbidity Maximum Zone from Landsat-8 Data: The Case of the Maroni River Estuary, French Guiana. *Remote Sensing*. 2020, 12: 2173. <https://doi.org/10.3390/rs12132173>.
40. Baban S. M. J. Detecting water quality parameters in the Norfolk Broads, U.K., using Landsat imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 1993, 14(7): 1247–1267. doi: 10.1080/01431169308953955.
41. Lavrova O. Y., Soloviev D. M., Mityagina M. I., Strochkov A. Y., Bocharova T. Y. Revealing the influence of various factors on concentration and spatial distribution of suspended matter based on remote sensing data. *Proceedings of the Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2015*, Toulouse, France, 21–24 September 2015. SPIE — International Society for Optics and Photonics, Bellingham. 2015, 9638: 96380D. doi: 10.1117/12.2193905.
42. Lavrova O. Y., Soloviev D. M., Strochkov M. A., Bocharova T. Y., Kashnitsky A. V. River plumes investigation using Sentinel-2A MSI and Landsat-8 OLI data. *Proceedings of the Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2016*, Edinburgh, UK, 26–29 September 2016. SPIE — International Society for Optics and Photonics, Bellingham. 2016, 9999: 99990G. doi: 10.1117/12.2241312.
43. Nazirova K., Lavrova O., Krayushkin E. Features of monitoring near the mouth zones by contact and contactless methods. *Proceedings of the Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2019*, Strasbourg, France, 9–12 September 2019. SPIE — International Society for Optics and Photonics, Bellingham. 2019, 11150: 111500H. <https://doi.org/10.1117/12.2533165>.
44. Nazirova K., Alferyeva Y., Lavrova O., Shur Y., Soloviev D., Bocharova T., Strochkov A. Comparison of In Situ and Remote-Sensing Methods to Determine Turbidity and Concentration of Suspended Matter in the Estuary Zone of the Mzymta River, Black Sea. *Remote Sensing*. 2021, 13: 143. <https://doi.org/10.3390/rs13010143>.
45. Ray R., Mandal S., Dhara A. Environmental monitoring of estuaries: Estimating and mapping various environmental indicators in Matla estuarine complex, using Landsat TM digital data. *Intern. J. Geomatics and Geosciences*. 2013, 3(3): 570–581.
46. Tarpanelli A., Iodice F., Brocca L., Restano M., Benveniste J. River Flow Monitoring by Sentinel-3 OLCI and MODIS: Comparison and Combination. *Remote Sensing*. 2020, 12: 3867. <https://doi.org/10.3390/rs12233867>.
47. Wei Z., Jia K., Liu P., Jia X., Xie Y., Jiang Z. Large-Scale River Mapping Using Contrastive Learning and Multi-Source Satellite Imagery. *Remote Sensing*. 2021, 13(15): 2893. <https://doi.org/10.3390/rs13152893>.
48. Tedesco M. *Remote sensing of the Cryosphere*. Oxford: JohnWiley & Sons, 2015. 404 p. doi: 10.1002/9781118368909.
49. Akimov D. B., Johannessen O. M., Mitnik L. M., Volkov V. A. Satellite radar signatures of fronts in the Ob and Yenisey estuaries in the Kara Sea. *Proceedings IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS'99*. 1999, 5: 2542–2544. doi: 10.1109/IGARSS.1999.771570.
50. Melentyev V. V., Johannessen O. M., Sandven S., Pettersson L. H. Ice Regime Study for the Ob-Yenisey Estuaries Using ERS SAR Data. *Proceedings IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS'99*. 1999, 2: 1037–1039. doi: 10.1109/IGARSS.1999.774525.
51. Melentyev V., Bobylev L., Pettersson L., Sandven S. Winter hydrology and ice regime of the Ob – Yenisey estuaries: results of satellite SAR comprehensive studies. *Proceedings 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment (ISRSE)*, Saint Petersburg, 20–24 May. 2005.
52. Sharkov E. A. *Passive Microwave Remote Sensing of the Earth: Physical Foundations*. Berlin: Springer/PRAXIS, 2003. 656 p.
53. Kugler Z., Nghiem S. V., Brakenridge G. R. L-Band Passive Microwave Data from SMOS for River Gauging Observations in Tropical Climates. *Remote Sensing*. 2019, 11(7): 835. <https://doi.org/10.3390/rs11070835>.
54. Papa F., Prigent C., Rossow W. B. Monitoring Flood and Discharge Variations in the Large Siberian Rivers from a Multi-Satellite Technique. *Surveys in Geophysics*. 2008, 29(4): 297–317. doi: 10.1007/s10712-008-9036-0.
55. Stippel S. J., Hamilton S. K., Melack J. M., Choudhury B. J. Determination of inundation area in the Amazon River floodplain using SMMR 37 GHz polarization difference. *Remote*

- Sensing of Environment. 1994, 48: 70-76. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90115-5](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90115-5).
56. Du J., Kimball J. S., Jones L. A., Watts J. D. Implementation of satellite based fractional water cover indices in the pan-Arctic region using AMSR-E and MODIS. *Remote Sensing of Environment*. 2016, 184: 469–481. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.07.029>.
 57. Khan S. I., Hong Y., Vergara H. J., Gourley J. J., Brakenridge G. R., Groeve T. D., Flamig Z. L., Policelli F., Yong B. Microwave Satellite Data for Hydrologic Modeling in Ungauged Basins. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. 2012, 9(4): 663–667. doi: 10.1109/LGRS.2011.2177807.
 58. Temimi M., Leconte R., Brissette F., Chaouch N. Flood monitoring over the Mackenzie River Basin using passive microwave data. *Remote Sensing of Environment*. 2005, 98: 344–355. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.06.010>.
 59. Umberto M., Gabarro C., Olmedo E., Gonçalves-Araujo R., Guimbard S., Martinez J. Using Remotely Sensed Sea Surface Salinity and Colored Detrital Matter to Characterize Freshened Surface Layers in the Kara and Laptev Seas during the Ice-Free Season. *Remote Sensing*. 2021, 13: 3828. <https://doi.org/10.3390/rs13193828>.
 60. Tikhonov V. V., Khvostov I. V., Romanov A. N., Sharkov E. A. Analysis of changes in the ice cover of freshwater lakes by SMOS data. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2018, 54(9): 1135–1140. doi: 10.1134/S0001433818090384.
 61. Tikhonov V. V., Khvostov I. V., Romanov A. N., Sharkov E. A. Theoretical study of ice cover phenology at large freshwater lakes based on SMOS MIRAS data. *The Cryosphere*. 2018, 12(8): 2727–2740. doi: 10.5194/tc-12-2727-2018.
 62. Tikhonov V. V., Khvostov I. V., Romanov A. N., Sharkov E. A., Boyarskii D. A., Komarova N. Yu., Sinitskiy A. I. Features of the Intrinsic L-Band Radiation of the Gulf of Ob during the Freeze-Up Period. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2020, 56(9): 9362–949. doi: 10.1134/S0001433820090236.
 63. Lapin S. A. Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' gidrologo-gidrokhimicheskikh kharakteristik Obskoi guby kak osnova otsenki ee bioproduktivnosti. Spatial and temporal variability of the hydro-hydrochemical characteristics of the Ob Bay as a basis for assessing its bioproductivity. PhD thesis. Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography. Moscow. 2012: 128 p. [In Russian].
 64. Voynov G. N., Nalimov Yu. V., Piskun A. A., Stanovoy V. V., Usankina G. E. Osnovnye cherty gidrologicheskogo rezhima Obskoi i Tazovskoi gub (led, urovni, struktura vod). The main features of the hydrological regime of the Ob and Taz bays (ice, levels, water structure). Saint-Petersburg: Nestor-History, 2017. 192 p. [In Russian].
 65. Dolgoplova E. N. Rol' mnogoletnemerzlykh porod v formirovanii gidrologo-morfologicheskogo rezhima ust'ev rek vodosbora Severnogo Ledovitogo okeana. The role of permafrost in the formation of the hydrological and morphological regime of river mouths in the Arctic Ocean watershed area. *Arktika: ekologiya i ekonomika. Arctic: Ecology and Economy*. 2018, 32(4): 70–85. [In Russian]. doi: 10.25283/2223-4594-2018-4-70-85.
 66. Bulavina A. S. Klimaticheskie faktory formirovaniya stoka reki Ob'. Climatic factors of the Ob River runoff formation. *Nauka iuga Rossii. Science in the south of Russia*. 2020, 16(1): 45–54. [In Russian]. <https://doi.org/10.7868/S25000640200106>.
 67. Gutierrez A., Castro R., Vieira P., Lopes G., Barbosa J. SMOS L1 Processor L1c Data Processing Model. Portugal: DEIMOS Engenharia. 2014.
 68. Sahr K., White D., Kimerling A. J. Geodesic Discrete Global Grid System. *Cartography and Geographic Information Science*. 2003, 30(2): 121-134. <https://doi.org/10.1559/152304003100011090>.
 69. Andreev O. M., Drabenko D. V., Vinogradov R. A., Orlova E. U. Vliianie potepleniya klimata na prochnostnye kharakteristiki l'da v Obskoi gube. Influence of climate warming on the strength characteristics of ice in the Ob Bay. *Led i sneg. Ice and Snow*. 2019, 59(4): 539–545. [In Russian]. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-4-409>.
 70. Tikhonov V. V., Boyarskii D. A., Sharkov E. A., Raev M. D., Repina I. A., Ivanov V. V., Alexeeva T. A., Komarova N. Yu. Microwave Model of Radiation from the Multilayer “Ocean-atmosphere” System for Remote Sensing Studies of the Polar Regions. *Progress In Electromagnetics Research B*. 2014, 59: 123–133. doi: 10.2528/PIERB14021706.
 71. Demir O., Johnson J. T., Jezek K. C., Andrews M. J., Ayotte K., Spreen G., Hendricks S., Kaleschke L., Oggier M., Granskog M. A., Fong A., Hoppmann M., Matero I., Scholz D. Measurements of 540–1740 MHz Brightness Temperatures of Sea Ice During the Winter of the MOSAiC Campaign. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2022, 60: 5302011. doi: 10.1109/TGRS.2021.3105360.
 72. Boyarskii D. A., Tikhonov V. V., Kleeorin N. I., Mirovskii V. G. Inclusion of scattering losses in the models of the effective permittivity of dielectric mixtures and applications to

- wet snow. *J. of Electromagnetic Waves and Applications*. 1994, 8(11): 1395–1410. doi: 10.1163/156939394X00281.
73. Crabeck O., Galley R., Delille B., Else B., Geilfus N.-X., Lemes M., Roches M. D., Francus P., Tison J.-L., Rysgaard S. Imaging air volume fraction in sea ice using non-destructive X-ray tomography. *The Cryosphere*. 2016, 10(3): 1125–1145. doi: <https://doi.org/10.5194/tc-10-1125-2016>.
 74. Frantz C. M., Light B., Farley S. M., Carpenter S., Lieblappen R., Courville Z., Orellana M. V., Junge K. Physical and optical characteristics of heavily melted “rotten” Arctic Sea ice. *The Cryosphere*. 2019, 13: 775–793. doi: <https://doi.org/10.5194/tc-13-775-2019>.
 75. Gray D. M., Male D. H. (Eds.). *Handbook of Snow*. Toronto: Pergamon Press, 1981. 776 p.
 76. Lepparanta M. *Freezing of Lakes and the Evolution of their Ice Cover*. Chichester: Springer, 2015. 301 p. doi: 10.1007/978-3-642-29081-7.
 77. Petrich C., Eicken H. Growth, Structure and Properties of Sea Ice, in: Thomas D. N., Dieckmann G. S. (Eds.), *Sea Ice. Second Edition*. Chichester: Blackwell Publishing Ltd, 2010: 23–77.
 78. Singh V. P., Singh P., Haritashya U. K. (Eds.). *Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers*. Dordrecht: Springer, 2011. 1253 p. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-2642-2>.
 79. Timco G. W., Frederking R. M. W. A review of sea ice density. *Cold Regions Science and Technology*. 1996, 24: 1–6. [https://doi.org/10.1016/0165-232X\(95\)00007-X](https://doi.org/10.1016/0165-232X(95)00007-X).
 80. Ulaby F. T., Long D. G. *Microwave Radar and Radiometric Remote Sensing*. Univ. of Michigan Press, 2014. 984 p.
 81. Polukhin A. A., Makkaveev P. N. Features of the Continental Runoff Distribution over the Kara Sea. *Oceanology*. 2017, 57(1): 19–30. <https://doi.org/10.1134/S0001437017010143>.
 82. Zatsepin A. G., Zavialov P. O., Kremenetskiy V. V., Poyarkov S. G., Soloviev D. M. The Upper Desalinated Layer in the Kara Sea. *Oceanology*. 2010, 50(5): 657–667. doi: 10.1134/S0001437010050036.
 83. Naoki K., Ukita J., Nishio F., Nakayama M., Comiso J. C., Gasiewski A. Thin sea ice thickness as inferred from passive microwave and in situ observations. *Journal of Geophysical Research*. 2008, 113: C02S16. doi: 10.1029/2007JC004270.
 84. Stanovoy V. V. Izmenchivost' termokhalinnoi struktury vody v estuariakh Karskogo moria. Variability of thermohaline water structure in the Kara Sea estuaries. *Trudy Arkticheskogo I antarkticheskogo nauchnoy-issledovatel'skogo instituta. Proceedings of the AARI*. 2008, 448: 103–130. [In Russia].
 85. Kerr Y. H., Waldteufel P., Wigneron J.-P., Delwart S., Cabot F., Boutin J., Escorihuela M. J., Font J., Reul N., Gruhier C., Juglea S. E., Drinkwater M. R., Hahne A., Martin-Neira M., Mecklenburg S. The SMOS Mission: New Tool for Monitoring Key Elements of the Global Water Cycle. *Proceeding of the IEEE*. 2010, 98(5): 666–687. doi: 10.1109/JPROC.2010.2043032.
 86. Emery W., Camps A. *Introduction to Satellite Remote Sensing: Atmosphere, Ocean, Land and Cryosphere Application*. Amsterdam: Elsevier Inc, 2017. 856 p. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-04517-8>.
 87. Kokelj S. V., Kokoszka J., van der Sluijs J., Rudy A. C. A., Tunnicliffe J., Shakil S., Tank S. E., Zolkos S. Thaw-driven mass wasting couples slopes with downstream systems, and effects propagate through Arctic drainage networks. *The Cryosphere*. 2021, 15(7): 3059–3081. <https://doi.org/10.5194/tc-15-3059-2021>.
 88. Lin H., Cheng X., Zheng L., Peng X., Feng W., Peng F. Recent Changes in Groundwater and Surface Water in Large Pan-Arctic River Basins. *Remote Sensing*. 2022, 14(3): 607. <https://doi.org/10.3390/rs14030607>.
 89. Suzuki K., Park H., Makarieva O., Kanamori H., Hori M., Matsuo K., Matsumura S., Nesterova N., Hiyama T. Effect of Permafrost Thawing on Discharge of the Kolyma River, Northeastern Siberia. *Remote Sensing*. 2021, 13(21): 4389. <https://doi.org/10.3390/rs13214389>.
 90. Walvoord M.A., Kurylyk B.L. Hydrologic Impacts of Thawing Permafrost-A Review. *Vadose Zone Journal*. 2016, 6(15). <https://doi.org/10.2136/vzj2016.01.0010>.
 91. Ran Y., Li X., Cheng G., Che J., Juha A., Olli K., Jan H., Miska L., Jin H., Jaroslav O., Masahiro H., Yu Q., Chang X. New high-resolution estimates of the permafrost thermal state and hydrothermal conditions over the Northern Hemisphere. *Earth System Science Data*. 2022, 14: 865–884. <https://doi.org/10.5194/essd-14-865-2022>.

Научная статья

УДК 551.467

DOI: 10.24412/2658-4255-2022-2-72-85

Для цитирования:

Е.А. Гришин, Е.А. Павлова, Т.А. Алексеева, Е.У. Миронов
Современные особенности ледовых условий на пути плавания в Татарском проливе Японского моря // Российская Арктика. 2022. № 17. С. 72–85

Получена: 18.07.2022

Принята: 25.07.2022

Опубликована: 28.07.2022



СОВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ НА ПУТИ ПЛАВАНИЯ В ТАТАРСКОМ ПРОЛИВЕ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Е.А. Гришин¹, Е.А. Павлова¹, Т.А. Алексеева^{1,2*}, Е.У. Миронов¹

¹ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

² Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

* taa@aari.ru

Аннотация. В 2004–2005 гг. в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте (АНИИ) была разработана специализированная система гидрометеорологического обеспечения для безопасного и эффективного проведения морских операций. На основе этой системы с 2006 г. АНИИ осуществляет ледовое обслуживание плавания челночных танкеров в Татарском проливе в ледовый сезон с декабря по март.

В данной статье на основе ледовых карт АНИИ рассматриваются особенности ледового режима в Татарском проливе, а на основе опыта ледового плавания выделено два основных маршрута: западный, вдоль материкового побережья, и восточный, вдоль острова Сахалин. По уникальным данным специальных судовых ледовых наблюдений проанализированы характеристики ледяного покрова, формирующиеся во время ледового периода в Татарском проливе, и обуславливающие выбор западного или восточного маршрута плавания.

Ключевые слова: Татарский пролив, условия плавания, ледовые условия, гидрометеорологическое обслуживание, современные ледовые условия

MODERN PECULARITIES OF ICE CONDITIONS ALONG THE NAVIGATIONAL ROUTES IN THE TATAR STRAIT OF THE SEA OF JAPAN

Е.А. Grishin¹, Е.А. Pavlova¹, Т.А. Alekseeva^{1,2}, Ye.U. Mironov¹

¹ State Research Center of Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

² Space Research Institute RAS, Moscow, Russia

* taa@aari.ru

Abstract. In 2004–2005, the Arctic and Antarctic Research Institute (AARI) developed a specialized hydrometeorological support system to ensure safe and efficient support of maritime operations. Based on this system, since 2006, AARI has been providing ice service for shuttle tankers in the Tatar Strait from December to March.

On the basis of the AARI sea ice charts, the peculiarities of sea ice regime in the Tatar Strait are considered, and on the basis of ice navigation experience, two main navigational routes were determined: western along the continental coast and eastern along the Sakhalin Island. The unique special ship observations allowed to analyze sea ice characteristics, formed during the ice period in the Tatar Strait and defined choice of western or eastern route for navigation.

точного маршрута плавания.

Keywords: Tatar Strait, navigation conditions, ice conditions, hydrometeorological service, modern ice conditions

Введение

В последние 16 лет изучение особенностей ледовой навигации в Татарском проливе особенно актуально. Добыча нефти на Дальнем Востоке началась еще в первой половине XX века с вводом в разработку месторождений континентальной части Сахалинской области – Центральная Оха (1923 г.), Катангли (1929 г.), Эхаби (1937 г.), Восточное Эхаби (1946 г.). Сырьевая база этих месторождений истощена, однако рост добычи нефти в этом районе связан с вводом в промышленную эксплуатацию в 2004 – 2005 гг. проекта «Сахалин-1» (включающий разработку месторождений «Чайво», «Одопту» и «Аркутун-Даги») на шельфе о. Сахалин. В 2009 г. был осуществлен выход на круглогодичную добычу нефти по проекту «Сахалин-2» (включающий разработку Пильтун-Астохского (нефтяного) и Лунского (газового) месторождений) [1]. В 2006 г. свою работу начал стационарный морской ледостойкий отгрузочный терминал (СМЛОТ) беспричальной отгрузки нефти в Де-Кастри, который расположен в заливе Чихачева в Ульчском районе Хабаровского края. Нефть поступает на терминал непрерывно с берегового комплекса месторождения Чайво по нефтепроводу протяженностью 226 км¹ (Рис. 1) Погрузка нефти на танкеры осуществляется при помощи одноточечного причала «Сокол», который возвышается на 61 метр над уровнем моря, и был разработан специально для терминала Де-Кастри, с учетом местных сложных климатических условий² [2].

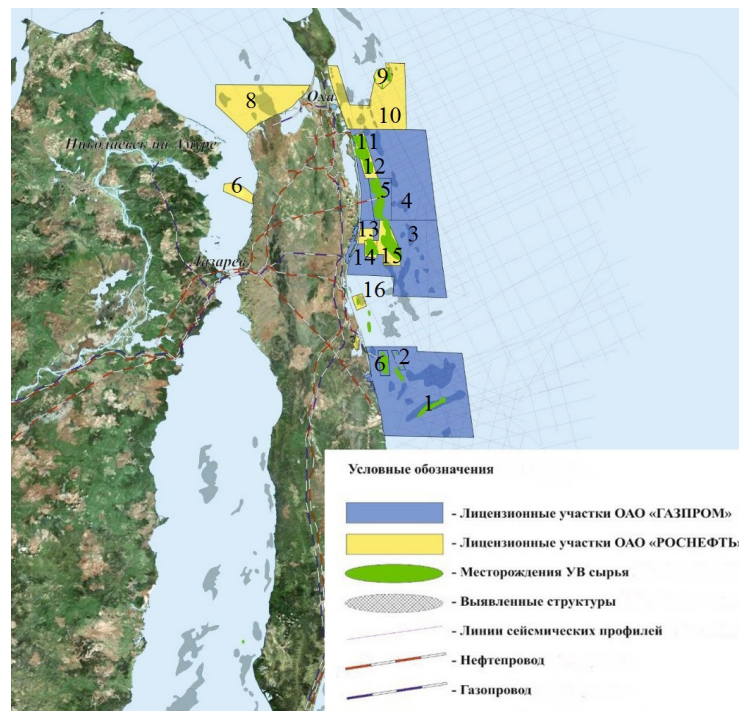


Рис. 1. Карта месторождений и лицензионных участков в районе острова Сахалин³. Названия участков: ОАО-«Газпром»: 1 – Киринский, 2 – Киринское месторождение, 3 – Аяшский, 4 – Восточно-Одоптинский, 5 – Пильтун-Астохский, 6 – Лунский; ОАО «Роснефть»: 6 – Амур-Лиманский, 7 – Восточно-Прибрежный, 8 – Астрахановское море – Некрасовский, 9 – Месторождений Кайганско-Васюканское-Море, 10 – Дерюгинский, 11 – Одопту-Море, Северный купол, 12 – Одопту-Море, 13 – Северная оконечность месторождения Чайво, 14 – Чайво, 15 – Аркутун-Даги, 16 – Северо-Венинское ГКМ

1 <https://neftegaz.ru/news/transport-and-storage/202999-c-terminala-de-kastriotgruzheni-100-millionnaya-tonna-nefti/>

2 https://todaykhv.ru/news/in-areas-of-the-province/94/?sphrase_id=19254

3 Вырезка из карты Охотского моря с сайта Научно-аналитического центра «ГеоНедра» <https://geonedra.ru/2015/sakhalin-oil-gas-map/>

Плавание танкеров в Татарском проливе и проведение операций в районе морского терминала в Де-Кастри в течение 4 – 6 месяцев осуществляется при наличии ледяного покрова, имеющего существенную пространственную и временную изменчивость [3]. Анализ исторических данных показывает существенную межгодовую изменчивость площади льдов [4-6]. В суровые зимы протяженность трассы в ледовых условиях может достигать 200-220 миль. В 2004-2005 гг. в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте (ААНИИ) была разработана специализированная система гидрометеорологического обеспечения для безопасного и эффективного проведения морских операций [7-9]. С ледовой навигации 2006/2007 гг. ААНИИ начал осуществлять ледовое обслуживание плавания челночных танкеров в Татарском проливе [10]. Начиная с середины декабря ледяной покров начинает препятствовать судоходству, и с этого момента начинается прогностическое обеспечение. Обычно оно длится до последних чисел марта или первых чисел апреля, когда влияние ледяного покрова на судоходство снова становится несущественным. В течение зимне-весеннего периода преобладающий ветер северных направлений обуславливает постоянный дрейф льда в южном и юго-восточном направлениях, а в юго-восточной части пролива лед активно разрушается под действием теплого Цусимского течения [11, 3].

С января по март производится проводка танкеров ледоколами в северной части Татарского пролива от нефтеналивного порта к транспортным узлам и обратно. В зависимости от ледовых условий маршруты движения судов могут существенно отличаться. В южной части Татарского пролива ледовые условия позволяют судам двигаться без сопровождения ледокола, при пересечении кромки ледяного покрова грузовые суда продолжают далее движение на юг самостоятельно.

В данной работе обобщаются современные ледовые условия в Татарском проливе на основе ледовых карт ААНИИ и подробно рассматриваются ледовые условия плавания судов в период 2016-2021 гг. на основе уникальных данных специальных судовых ледовых наблюдений.

Данные и методы

Ледовые карты ААНИИ. Для анализа ледовой обстановки в Татарском проливе использовались ежедневные детализированные карты ледяного покрова. Детализированные карты составляются экспертами ААНИИ по одному спутниковому изображению, либо по нескольким изображениям, полученным в пределах 3-часового промежутка времени. Методика составления ледовых карт ААНИИ подробно описана в работе [12].

Специальные судовые ледовые наблюдения. В результате ежегодных проводок судов в период с 2016 по 2021 гг. была получена информация о состоянии ледяного покрова в Татарском проливе, дополняющая и уточняющая спутниковые данные и построенные по ним ледовые карты. Массив судовых данных включает информацию о сплоченности, возрасте, толщине льда, размерах ледяных полей, заснеженности, а также о деформационных характеристиках ледяного покрова — торосистости, наслоенности, сжатиях, и характере формирования льда большой толщины. Ледовые наблюдения выполняются ледовым наблюдателем, находящимся на ходовом мостике судна, непрерывно путем выделения однородных ледовых зон согласно методике специальных судовых ледовых наблюдений ААНИИ [13, 14].

Все натурные ледовые наблюдения и особенности ледяного покрова были получены специалистами ААНИИ во время специальных судовых наблюдений с бортов ледоколов при проводке танкеров от нефтяного терминала из порта Де-Кастри до южной кромки ледяного покрова Татарского пролива и обратно.

Результаты

Особенности ледового режима в Татарском проливе. Ледовые условия Татарского пролива определяются географическим положением, значительными отрицательными значениями температуры воздуха с ноября по март, динамическими атмосферными процессами и действием холодных и тёплых течений [4,15].

Преобладающие в холодное время года ветры северных и северо-восточных направлений способствуют формированию зоны разреженного льда или чистой воды в северо-восточной части Татарского пролива. В южной части пролива ледяной покров сдерживается течениями, кромка льда вытягивается вдоль материкового побережья узкой полосой. В результате, в центральной части Татарского пролива формируются зоны наибольшей сплочённости и торосистости.

Ледообразование в Татарском проливе начинается с северной части, от пролива Невельского, при устойчивом переходе температуры воздуха к отрицательным значениям. В среднем, за последние 5 лет процесс устойчивого ледообразования начинался в третью декаду ноября. Однако вследствие динамичности района данная характеристика достаточно изменчива и сроки начала ледообразования в отдельные годы варьировались от 1 декады ноября (например – 2016, 2017 гг.) до 2 декады декабря (например – 2021 гг.).

Для расчёта ледовитости были взяты официальные границы Татарского пролива, из Лоции Татарского пролива [16]. Южная граница проходит через мыс Тык, северная — через мыс Белкина, огибая о. Рисири с юга.

В среднем через месяц после начала ледообразования ледовитость достигает 30–40 %, на акватории начинает появляться однолетний тонкий лёд — толщина отдельных участков льда достигает толщины 30 см.

Период максимальной ледовитости на акватории приходится на февраль. В среднем с 1960 г. в феврале ледовитость Татарского пролива составляет 44%, превышая в отдельные годы 70% (2001 г.). Около 10 % льда на акватории в феврале составляет однолетний тонкий лёд [4].

В марте количество льда на акватории начинает быстро сокращаться. В конце зимней навигации происходит взлом припая в северной части пролива, обломки которого начинают медленно дрейфовать к южной кромке. В это время ледяной покров в наибольшей степени подвергается деформации, в результате которой происходит наслоение и торшение льдов. В среднем, в апреле происходит полное очищение акватории ото льда.

Как показывают наши наблюдения, а также ряд других исследований [17], с 2016 по 2021 гг. значения ледовитости во все месяцы ледового сезона в районе оставались близкими к средним многолетним значениям, рассчитанным за весь ряд имеющихся наблюдений, начиная с 1960 г. (Рис. 2).

Наравне с ледовитостью, важной характеристикой ледового режима Татарского пролива является изменчивость количества однолетнего тонкого льда, как наиболее толстого льда, в значительном количестве встречающегося в данном районе (Рис. 3).

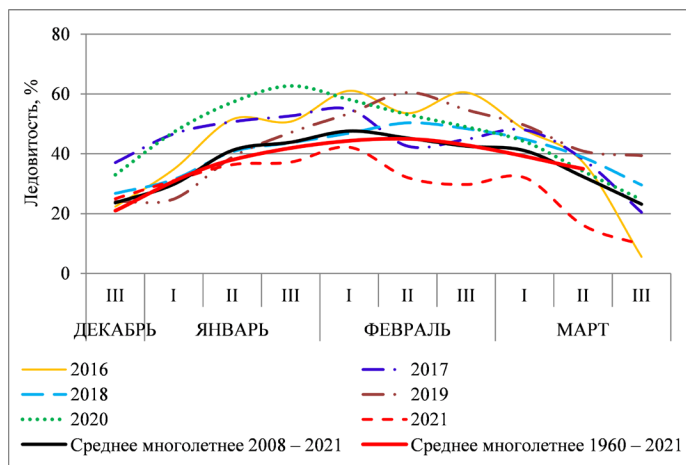


Рис. 2. Сезонные изменения ледовитости Татарского пролива с 2016 по 2021 гг.

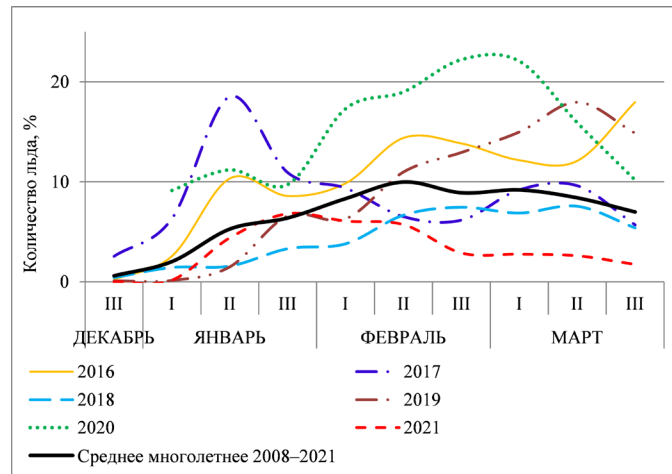


Рис. 3. Сезонные изменения однолетнего тонкого льда в Татарском проливе с 2016 по 2021 гг.

Количество однолетнего тонкого льда в Татарском проливе - достаточно изменчивая характеристика от года к году, это видно на рисунке 3. Максимальное количество однолетнего тонкого льда в среднем за последние годы приходилось на февраль. Однако метеорологические условия могут сильно влиять на эту характеристику. Сильный штормовой ветер разрушает целостность ледяного покрова и приводит к резкому уменьшению ледовитости и изменению количества льда различной толщины. Количество однолетнего льда средней толщины обычно не превышает 1% от всего льда на акватории и часто связано с образованием сморозей старых наслоений.

Ледовые условия плавания. Татарский пролив характеризуется многообразием ледовых условий плавания, которые могут сильно отличаться из года в год по своим характеристикам. Это сказывается на характере движения судов и караванов в зимнюю навигацию в этой акватории. Однако за период специальных судовых наблюдений были выделены некоторые закономерности ледовых условий плавания, встречающиеся практически каждую навигацию.

Можно выделить два основных варианта плавания из северной части пролива к южной кромке. Первый (западный вариант) это маршрут вдоль хабаровского берега, мимо сильно выдающегося в море мыса Сюркум и до акватории порта Ванино (Рис. 4). Второй (восточный вариант) через центр северной части пролива к острову Сахалин и далее вдоль острова до южной кромки ледяного покрова (Рис. 5). Ледовая обстановка на пути движения в каждом из этих вариантов различается и имеет свои особенности и нюансы. Очень редко встречается вариант движения судов по центральной части пролива с севера на юг. Обычно это происходит во время навигаций с тяжёлыми ледовыми условиями, когда выбирать из двух обычных вариантов бессмысленно и проводка осуществляется самым коротким маршрутом к кромке. Далее в общих чертах будут рассмотрены характерные особенности ледовых условий по двум основным маршрутам западному и восточному, по которым было получено значительное количество данных специальных судовых наблюдений во время рейсов в 2016-2021 гг. В силу недостатка натурных данных, особенности плавания по центральному маршруту в данной статье не рассматриваются.

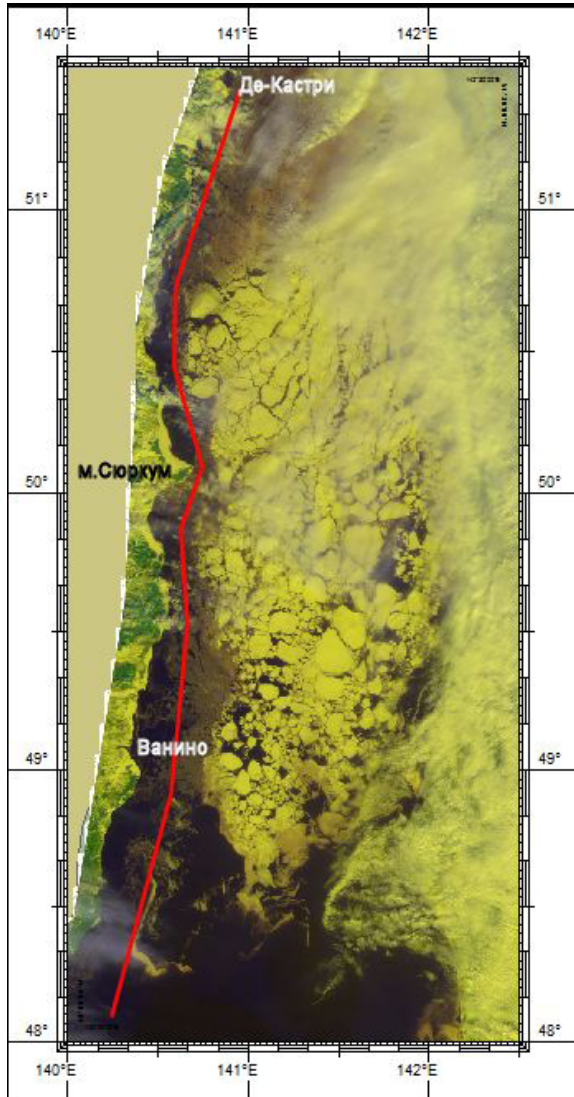


Рис. 4. Пример западного варианта плавания судов в Татарском проливе. Маршрут нанесен на спутниковый снимок в видимом диапазоне Terra MODIS от 13 марта 2018 г.

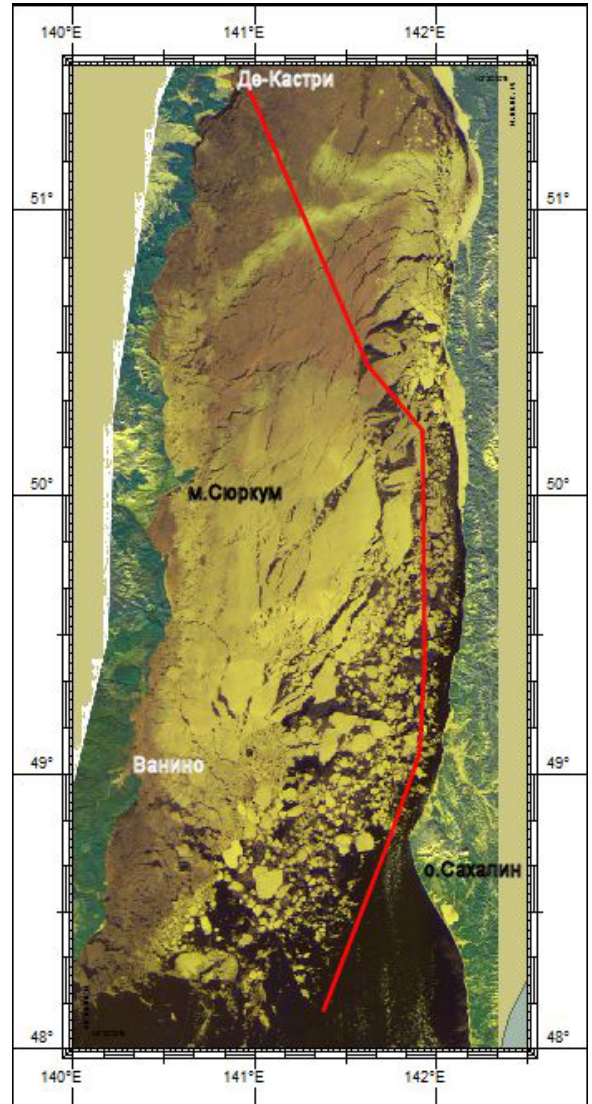


Рис. 5. Пример восточного варианта плавания судов в Татарском проливе. Маршрут нанесен на спутниковый снимок в видимом диапазоне Terra MODIS от 29 января 2019 г.

На западном маршруте, который по статистике наиболее часто используется в январе и феврале (Табл. 1), самые лёгкие условия для движения судов формируются на отрезке от порта Де-Кастри до мыса Сюркум. На этом участке благоприятный ветер, как правило, западных направлений, способствует сдвигу массива сморозей молодых льдов на восток, при этом образуя прогалину с открытой водой, либо покрытую ниласовыми льдами и серым льдом в зависимости от срока ее существования.

Таблица 1

Вероятность использования различных вариантов плавания в Татарском проливе (в %) в период 2016–2021 гг. по маршруту п. Де-Кастри – южная кромка ледяного покрова

Маршрут плавания	Январь	Февраль	Март
Западный	54	50	23
Центральный	2	9	16
Восточный	44	41	61

Южнее находится один из самых сложных участков плавания в Татарском проливе — это акватория вокруг мыса Сюркум. Этот мыс очень сильно влияет на формирование ледяного покрова не только в районе непосредственно вокруг мыса, но также к югу и к юго-западу от него. Как правило обстановка в этом районе и уровень её сложности обуславливает выбор между западным и восточным вариантами движения караванов. Здесь находится район формирования основного ледяного массива в Татарском проливе. И здесь же часто располагаются обширные зоны торшения и сжатия.

Сформировавшиеся в районе мыса Сюркум сильно деформированные ледяные поля, обычно уже однолетнего возраста, и серо-белый лёд в последних стадиях намерзания, оказывают в итоге большое влияние на работу судоходного порта Ванино. Условия на маршруте южнее мыса Сюркум и до кромки льда могут складываться по-разному. При благоприятных метеорологических условиях вдоль берега может образовываться прибрежная прогалина, по которой можно беспрепятственно дойти до порта Ванино. Если прогалина отсутствует, то каравану приходится преодолевать поля сморозей молодого льда и местами деформированные поля однолетнего льда (Рис. 6). Обычно ледовая обстановка для судоходства в районе порта Ванино крайне тяжёлая, особенно в феврале и в первые декады марта. Судоходство в этом районе в это время находится под обеспечением линейных ледоколов. Как правило, основная масса сильно деформированного ледяного массива, сформировавшегося в северной и центральной частях пролива, дрейфует на юг и в дальнейшем разрушается, растягиваясь вдоль материка под влиянием течения.



Рис. 6. Остановка танкера «Виктор Коневский» в деформированном однолетнем льду в районе порта Ванино, начало второй декады января 2020 года

Когда под воздействием северных и восточных ветров ледяной массив Татарского пролива прижимает к материковому берегу, открывается *восточный* маршрут вдоль острова Сахалин. Этот путь по статистике является самым распространённым вариантом проводок танкеров из порта Де-Кастри в марте (Табл. 1). Как правило, первая часть маршрута выполняется на юго-восток к Сахалину через центральную часть северного района Татарского пролива. В северной части пролива происходит активное ледообразование во время всей зимней навигации. Здесь формируются обширные поля молодого льда. Под воздействием сильного постоянного ветра (преимущественно западных и северных направлений) происходит деформация этих полей. При возникающем волнении происходит механическое разрушение и «спрессовывание» ниласа и серого льда, и, одновременно, при низкой температуре воздуха быстро появляются обширные ледяные поля и полосы сморозей. В этих районах во время наблюдений фиксируются большое многообразие форм и сморозей из начальных видов льда, ниласа, молодого льда, в виде многочисленных наслоений, сморозей блинчатого, тёртого льда и ледяной каши. На этом участке ближе к о. Сахалин часто отмечаются сжатия до 1-2 баллов. В северной части пролива важной характеристикой для судоходства является наслоенность ледяного покрова. Уже при появлении тёмного ниласа начинается его наслоение. Ровные поля серого льда и ниласа здесь долго не сохраняются. Наслоенность может достигать на отдельных участках 9-10 баллов (Рис. 7). Средняя же наслоенность отмечается от 3 до 5 баллов. Лёд в этих местах может наслаиваться в несколько слоёв и быстро смерзаться. В сморозях при выворотах льда фиксировалось до 5 таких слоёв. Далее такой лёд в более южных широтах пролива быстро переходит в градацию однолетнего льда и участвует в формировании основного ледяного массива в проливе.

В северной части пролива при обильных снегопадах и присутствии блинчатого льда с ледяной кашей встречается такое явление, как облипание судна (Рис. 8).



Рис. 7. Пример сильно наслоенного участка (наслоенность - 9 баллов) светлого ниласа в северной части Татарского пролива



Рис. 8. Облипание корпуса судна снежно-ледяной массой в Татарском проливе

Несмотря на то, что вдоль Сахалина длина пути во льдах под проводкой ледоколом, должна быть длиннее, зачастую это оказывается самым оптимальным маршрутом плавания во льдах. Дело в том, что вдоль берега Сахалина обычно формируется либо полынья, либо область разреженного льда. Поэтому танкеры при выводе в эту область зачастую могут следовать самостоятельно, руководствуясь рекомендуемым маршрутом, полученным с борта ледокола, осуществляющего проводку. Часто смена танкеров (ведомого танкера с севера и взятие под проводку танкера, пришедшего с юга) происходит на 50°с.ш. или немного южнее. Но не всегда на этом маршруте настолько благоприятные ледовые условия. При неблагоприятных условиях на всём протяжении полыньи у острова Сахалин могут встречаться большие поля неоднородных сморозей из однолетнего и серо-белого льда толщиной до 80-100 см, оторвавшиеся от центрального ледяного массива. Эти ледяные поля при дрейфе могут перекрывать маршрут плавания и создавать серьёзные препятствия для судоходства. При такой ледовой обстановке ледоколам приходится сопровождать танкер до самого траверза южной кромки массива, примерно до портов Углегорск и Шахтёрск, а иногда и до мыса Ламанон. В таких случаях путь плавания под проводкой становится одним из самых длинных, достигая 170-180 миль и может продолжаться более полусуток.

Особое влияние на судоходство в Татарском проливе имеет взломанный припай. Припай в проливе Невельского на самом севере рассматривать не будем, так как его взлом приходится на апрель, а к апрелю ледяной массив в Татарском проливе уже разрушен и взломанный припай из пролива Невельского на условия судоходства уже не влияет. При западном варианте маршрута самую большую опасность и препятствие имеет относительно небольшой припай, формирующийся от мыса Иванова до мыса Сюркум (Рис. 9).



Рис. 9. Преодоление поля взломанного припая в районе мыса Сюркум, февраль 2021 г.

В этом районе при северном ветре всегда формируется сильно деформированный и неоднородный припай, состоящий из различных видов льда. При западном ветре припай отрывается от материка и в условиях слабого дрейфа перекрывает маршрут вдоль материка в районе мыса Сюркум на достаточно длительное время. Обычно этот обломок разворачивается на 90 градусов относительно берега, одной стороной упирается в мыс, а другой - в ледяной массив, который в этом районе также уже весьма деформирован и труднопроходим для караванов (Рис. 10). Припай в районе мыса Сюркум может формироваться несколько раз за одну зимнюю навигацию. В результате, только при наличии взломанного припая на пути плавания в районе мыса Сюркум, и несмотря на удобные прогалины вдоль материка, проводка осуществляется через восточный вариант.

На движение в восточном варианте также имеет влияние взломанный припай, но совсем в другом виде. Припай формируется в северо-восточном районе Татарского пролива, севернее порта Александровск-Сахалинский, в Александровском заливе. Формируется он также под воздействием ветрового дрейфа, только западного направления. При постоянном воздействии западных ветров, только что сформировавшийся в северной части Татарского пролива молодой лёд, сильно деформируется и набивается в Александровском заливе в огромную сморозь припая. Районы формирования припая и торосистых льдов в Татарском проливе схематично представлены на рисунке 11.

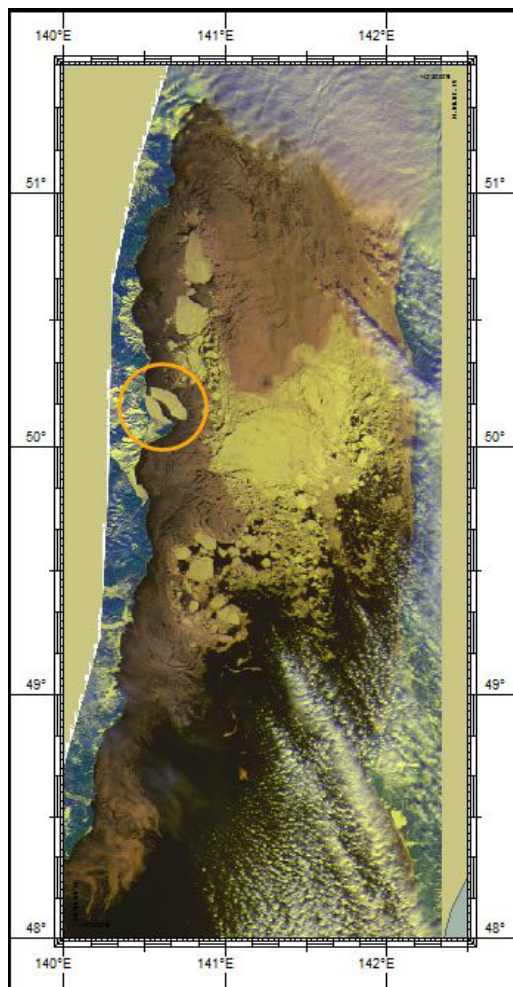


Рис. 10. Спутниковый снимок Terra MODIS в видимом диапазоне. Обломок взломанного припая в районе мыса Сюркум (выделен желтым кругом)

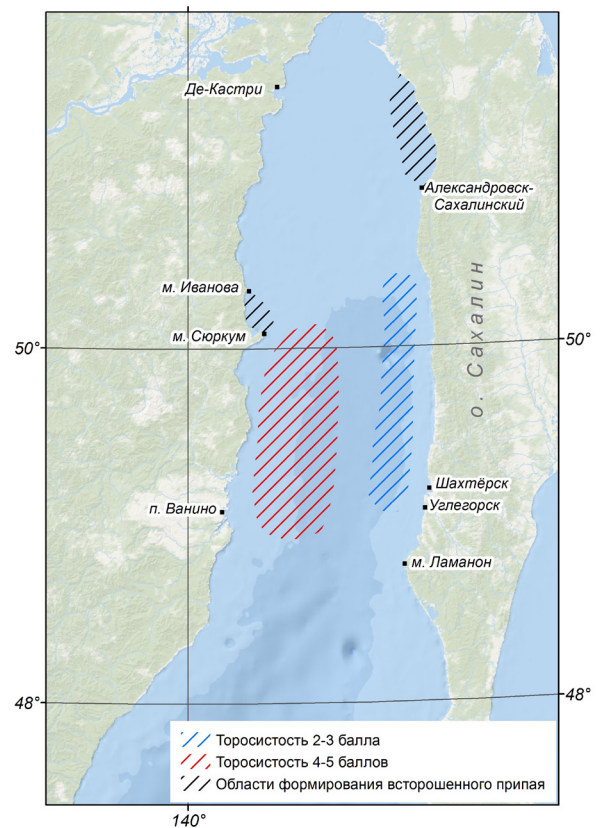


Рис. 11. Области формирования деформированного припая и районы торосистых льдов в Татарском проливе по данным специальных судовых наблюдений

Во время нередких для этих мест мощных циклонов и тайфунов этот припай взламывается, образуя несколько гигантских ледяных полей, которые затем начинают постепенно дрейфовать вдоль острова Сахалин, разрушаясь на более мелкие ледяные поля (Рис. 12). При этом они, естественно, становятся препятствием на восточном варианте маршрута до южной кромки морского льда в Татарском проливе. Такой припай за зимнюю навигацию может успеть сформироваться повторно.



Рис. 12. Деформированные обширные поля взломанного припая из северо-восточной части Татарского пролива (из Александровского залива), дрейфующие на юг вдоль побережья Сахалина

Заключение

Впервые обобщены и представлены современные условия ледового плавания в Татарском проливе Японского моря за период 2016-2021 гг. Ежегодное участие сотрудников АНИИ в рейсах на борту ледоколов, обеспечивающих проводку танкеров из порта Де-Кастри до южной кромки ледяного покрова и ежедневный мониторинг состояния ледяного покрова позволили собрать уникальный архив натуральных и спутниковых данных, ледовых карт и результатов моделирования ледяного покрова.

Мониторинг состояния ледяного покрова позволил выявить особенности ледовых условий в районе — начало устойчивого ледообразования в 3 декаду ноября, период максимального развития ледяного покрова в феврале, образование зоны разряжения льда в северной части Татарского пролива и область наиболее сложных ледовых условий в центральной части Татарского пролива. Несмотря на высокую изменчивость от сезона к сезону, средняя ледовитость за последние 5 лет близка к средней ледовитости за весь ряд наблюдений, с 1960 г.

По результатам оценки ледового плавания были выделены два основных маршрута – западный и восточный. Благоприятные ледовые условия для использования западного маршрута плавания формируются в январе и феврале. В этот период наиболее часто открывается прогалина с открытой водой, или покрытая ниласом и серыми льдами, вдоль континентального побережья. Благоприятные условия для использования восточного маршрута плавания формируются преимущественно в марте, когда вдоль берега Сахалина формируется либо полынья, либо область разреженного льда.

Благодарности

В работе использовались спутниковые данные, полученные от Дальневосточного Центра Федерального Государственного Бюджетного Учреждения «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета».

Список литературы:

1. Конторович А.Э., Эдер Л.В., Филимонова И.В., Немов В.Ю., Проворная И.В. Нефтяная промышленность Дальнего Востока: современное состояние и перспективы развития // Бурение и нефть. 2013. №7-8. <https://burneft.ru/archive/issues/2013-07-08/1>
2. Жариков Е.П. Морские перевозки нефти и газа: формирование восточного направления // Азиатско-Тихоокеанский регион: экономика, политика, право. 2016. № 4. Т. 18. С. 38-52
3. Якунин Л.П. Ледовые условия // Проект “Моря”. Гидрология и гидрохимия морей. Т. VIII: Японское море. Вып. 1 (Гидрометеорологические условия). СПб.: Гидрометеоиздат, 2003 - 398 с.
4. Карклин В.П., Миронов Е.У., Иванов В.В., Шкорба С.П. Особенности формирования крупных аномалий ледовитости в Татарском проливе. Проблемы Арктики и Антарктики. 2016, вып.3, С. 20-33.
5. Думанская И.О. Ледовые условия морей азиатской части России. М.: Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2017. - 640 с.
6. Pishchalnik V.M. Dorofeyeva D.V., Truskov P.A., Romanyuk V.A., Minervin I.G. Variations in the volume of ice in the sea of Okhotsk and the Tatar Strait at the phase of maximum ice extent development for 2000–2020 // Continental Shelf Research. V. 236 (2022) 104663. 1-8 pp
7. Е.У. Миронов, С.В. Клячкин, В.М. Смоляницкий, А.В. Юлин, С.В. Фролов. Современное состояние и перспективы исследований ледяного покрова морей российской Ар-

- тики / Миронов Е.У., Клячкин С.В., Смоляницкий В.М., Юлин А.В., Фролов С.В. // Российская Арктика. – 2020. – №10. – С. 13-29
8. Федяков В.Е., Фролов С.В. Новые алгоритмы учета влияния ледовых образований на надежность движения судов во льдах. Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. №3 (97). С. 28–34
 9. Третьяков В.Ю., Фролов С.В. Модель оценки риска транспортных операций в условиях ледяного покрова. Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 3(97). С. 21–27.
 10. Herbert J.C., Mironov Ye.U. Marine transportation in ice. - Proc. of 8th Intern. Conf. RAO'07, 11-13 September 2007, St. Petersburg (electronic version CD No. 213).
 11. Минервин И.Г., Романюк В.А., Пищальник В.М., Трусков П.А., Покрашенко С.А. // Районирование ледяного покрова Охотского и Японского морей // Вестник Российской Академии Наук. Т. 85, № 3, 2015. 209-217.
 12. Афанасьева Е.В, Алексеева Т.А., Соколова Ю.В., Демчев Д.М., Чуфарова М.С., Быченков Ю.Д., Девятаев О.С. Методика составления ледовых карт ААНИИ // Российская Арктика. – 2019. – №7. - С. 5-20
 13. Наблюдения за ледовой обстановкой: учебное пособие. – СПб: ААНИИ, 2009. – 360 с.
 14. Руководство по производству судовых специальных ледовых наблюдений. – СПб: ААНИИ, 2011. 41 с.
 15. Watanabe, T., K. Hanawa and Y. Toba (1986): Analysis of year-to-year variation of water temperature along the coast of the Japan Sea. J. Progress in Oceanography. N 17, 337-357.
 16. Лоция Татарского пролива, Амурского лимана и пролива Лаперуза. СПб.: ГУНИО МО РФ. 2003. С. 10–193.
 17. Цыпышева И.Л., Муктепавел Л.С., Цициашвили Г.Ш., Шатилина Т.А., Радченкова Т.В. Особенности изменчивости ледовитости в Татарском проливе (Японское море) в связи с региональной атмосферной циркуляцией // Известия ТИНРО. 2016. 184 (1). С. 135-149. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2016-184-135-149>

References:

1. Kontorovich A.E., Eder L.V., Filimonova I.V., Nemov V.Yu., Nimble I.V. Oil industry of the Far East: current state and prospects of development //Drilling and oil. 2013. №7-8. <https://burneft.ru/archive/issues/2013-07-08/1>
2. Zharikov E.P. Sea transportation of oil and gas: the formation of the eastern direction // Asia-Pacific region: economics, politics, law. 2016. No. 4. Vol. 18. pp. 38-52
3. Yakunin L.P. Ice conditions // The "Seas" project. Hydrology and hydrochemistry of the seas. Vol. VIII: The Sea of Japan. Issue 1 (Hydrometeorological conditions). St. Petersburg: Hydrometeoizdat, 2003 - 398 p.
4. Karklin V.P., Mironov E.U., Ivanov V.V., Shkorba S.P. Features of the formation of large ice anomalies in the Tatar Strait. Problems of the Arctic and Antarctic. 2016, issue 3, pp. 20-33.
5. Dumanskaya I.O. Ice conditions of the seas of the Asian part of Russia. Moscow: Obninsk: IG-SOCIN, 2017. - 640 p.
6. Pishchalnik V.M. Dorofeyeva D.V., Truskov P.A., Romanyuk V.A., Minervin I.G. Variations in the volume of ice in the sea of Okhotsk and the Tatar Strait at the phase of maximum ice extent development for 2000–2020 // Continental Shelf Research. V. 236 (2022) 104663. 1-8 pp
7. E.U. Mironov, S.V. Klyachkin, V.M. Smolyanitsky, A.V. Yulin, S.V. Frolov The current state and prospects of research of the ice cover of the seas of the Russian Arctic / Mironov E.U., Klyachkin S.V., Smolyanitsky V.M., Yulin A.V., Frolov S.V. // Russian Arctic. – 2020. – No. 10. - pp. 13-29
8. Fedyakov V.E., Frolov S.V. New algorithms for accounting for the influence of ice formations on the reliability of ship movement in ice. Problems of the Arctic and Antarctic. 2013. No.3 (97). pp. 28-34
9. Tretyakov V.Yu., Frolov S.V. A model for assessing the risk of transport operations in ice cover conditions. Problems of the Arctic and Antarctic. 2013. No. 3(97). pp. 21-27.
10. Herbert J.C., Mironov Ye.U. Marine transportation in ice. - Proc. of 8th Intern. Conf. RAO'07, 11-13 September 2007, St. Petersburg (electronic version CD No. 213).
11. Minervin I.G., Romanyuk V.A., Pishchalnik V.M., Truskov P.A., Pokrashenko S.A. // Zoning of the ice cover of the Okhotsk and Japanese Seas // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Vol. 85, No. 3, 2015. 209-217.
12. Afanasyeva E.V., Alekseeva T.A., Sokolova J.V., Demchev D.M., Chufarova M.S., Bychenkov Yu.D., Devyataev O.S. / AARI methodology for sea ice charts composition // Russian Arctic. - 2019. - No. 7. - P. 5-20

13. Observations of the ice situation: a textbook. – St. Petersburg: AARI, 2009. – 360 p.
14. Guidelines for the production of special ship ice observations. – St. Petersburg: AARI, 2011. – 41 p.
15. Watanabe, T., K. Hanawa and Y. Toba (1986): Analysis of year-to-year variation of water temperature along the coast of the Japan Sea. *J. Progress in Oceanography*. N 17, 337-357.
16. Sailing Directions of the Tatar Strait, Amur Estuary and Strait Laperusa. SPb.: GUNIO MORF. 2003. pp. 10-193.
17. Tsypysheva I.L., Muktepavel L.S., Tsitsiashvili G.S., Shatilina T.A., Radchenkova T.V. Features of the sea ice cover variability in the Tatar Strait (Japan Sea) in connection with the regional atmosphere circulation. *Izvestiya TINRO*. 2016;184(1):135-149. (In Russ.) <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2016-184-135-149>

ОДЕЖДА ДЛЯ ОСОБОЙ ПОГОДЫ

Что надеть, чтоб не замерзнуть в Арктике? Об особенностях производства верхней одежды для экстремальных погодных условий редакции журнала "Российская Арктика" рассказал Александр Сироткин, генеральный директор ООО «БВН инжиниринг»



Сироткин
Александр Юрьевич

генеральный директор
ООО «БВН инжиниринг»

- Александр Юрьевич, сколько лет существует ваша компания? С чего все начиналось?

Можно сказать, что история ООО «БВН инжиниринг» начинается с 1975 года, когда основатель Бринк Иван Юрьевич защитил диплом по специальности «Прикладная математика» и в этот же день сел шить первую пуховую куртку, поскольку через два месяца планировал совершить поход пятой категории сложности на чемпионат СССР по горному туризму. Так началась история работы с пухом. То, что он шил, существенно отличалось от пуховых курток, которые выпускала фабрика ВЦСПС.

Это было замечательное время зарождения производства пуховой одежды в Ростовской области. Иван Юрьевич учил шить пуховые куртки всех друзей, и начался просто лавинообразный процесс передачи навыков шитья пуховых изделий. На этот момент Новочеркасск являлся подлинный столицей по изготовлению пухового снаряжения. Спрос был огромный.

- Это было советское время тотального дефицита. Как удавалось доставать сырье?

Действительно, с пухом было сложно, поэтому его добывали из домашних подушек. Была сконструирована минисортировочная машина для отделения пуха от пера, из трехкилограммовой подушки удавалось собрать пуха на две пуховые куртки.

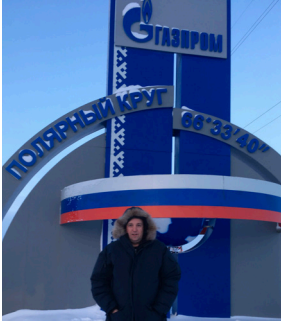
- Как удалось перейти на новый уровень? От пошива снаряжения для туристов-любителей до специальной одежды?

В 1981-м году для подготовки сборной СССР к восхождению на Эверест Бринк представил 5 полных комплектов пухового снаряжения, но экипировку экспедиции поручили фабрике ВЦСПС. В 1982-м году специалисты завода "Звезда"

ООО «БВН инжиниринг» с 1991 года производит специальную и спортивную одежду на основе натурального гусиного пуха.

Верхняя одежда подходит для экстремальных погодных условий: в ней комфортно при температуре до -50°C и сильном ветре. Легкий утеплитель выполнен из натурального пуха, поэтому повышается производительность труда и снижается уровень травматизма и заболеваемости работников. Одежда теплая, легкая и комфортная.

ПАО «Газпром», ПАО «ЛУКОЙЛ» и другие компании, работающие на Севере, давно сотрудничают с «БВН инжиниринг». Собственное производство позволяет выполнять разработку и производство спецодежды в соответствии с особыми требованиями к СИЗ и корпоративному стилю заказчика. Продукция сертифицирована.



В 1998-м году куртками на гагачьем пуху была оснащена советско-канадская экспедиция Дмитрия Шпаро, которая пересекла на лыжах Северный Ледовитый океан по маршруту СССР – Северный полюс – Канада.

(создание одежды и скафандров для космонавтов) поставили Ивану Юрьевичу задачу: разработать комплект одежды, в котором человек должен был выжить при температуре -50°C в течение трех суток. Костюм должен был весить не более трех килограммов и иметь упаковочный объем не более 6 литров. И самое главное: если в космосе в невесомости он вдруг порвется, то пух не должен был разлетаться. Требовалось решить ряд задач. Почему пух мигрирует через ткань и швы и как с этим бороться? Как сделать из пуха материал, который не будет разлетаться в невесомости? Эти и многие другие вопросы требовали своего разрешения в то время. По итогам был создан пуховый холст, который использовался в качестве утеплителя для спасательной одежды, было создано оборудование для очистки и сортировки пера и пуха как гусиного, так и гагачьего.

- По сути, совершил научное открытие? Публиковали научные изыскания?

В 1990-м году Иван Юрьевич совместно с Бондарцом М. написал книгу «Ателье туриста» – руководство по самостоятельному изготовлению снаряжения любителями путешествий.

В 1991-м году было учреждено ООО «БВН инжиниринг» для ведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в сфере переработки перопухового сырья и производства изделий.

- И с этого момента началось промышленное производство одежды?

Да, в 1993-м году мы осуществили первую поставку специальной одежды на пуховом утеплителе для нефтегазовой отрасли.

- Вы продолжаете внедрять инновации на производстве?

Мы активно сотрудничаем с Фондом содействия инновациям, и благодаря такому взаимодействию в нашей одежде используется ряд уникальных разработок: система «теплый шов» с повышенной устойчивостью к деформации, математическая модель теплообменных процессов в системе человек – среда; на сегодняшний день эти и другие разработки используются при проектировании и производстве одежды. Но самое интересное, это реализуемые НИОКР (в рамках гранта от Фонда) по разработке утеплителя на основе натурального гусиного пуха, не поддерживающего горение, которому на сегодняшний день нет аналогов в мире. Эта разработка особенно актуальна для нефтегазовых компаний, ведущих добычу и транспортировку углеводородов в суровых климатических условиях Сибири и Арктики и подверженных риску возникновения пламени. В настоящее время такие компании все более активно осваивают северные регионы страны. В дальнейшем, возможно, этот продукт заинтересует Минобороны.

- Кто сейчас щеголяет в одежде от «БВН инжиниринг»?

Наша специальная и спортивная одежда на основе натурального гусиного пуха пользуется спросом в особо холодных регионах России с температурами до -50°C и сильным ветром. Среди наших партнеров — ПАО «Газпром», ПАО «ЛУКОЙЛ» и ряд других компаний, работающих в сложных условиях в IV и «особом» климатических поясах. С 2016-го года мы начали производить одежду для горного туризма и людей, ведущих активный образ жизни. Создали бренд BVN Travel, много нашей одежды и снаряжения представлено на Эльбрусе. При восхождении на Эльбрус человек подвергается воздействию низких температур и ветра, плюс затруднено дыхание; можно сказать, что мы проводим моделирование арктических условий (ветер, холод, затруднено дыхание, физическая нагрузка при восхождении). Помимо этого, два года назад запустили линейку Outdoor – продукцию для людей, проживающих на Севере.

- Почему вы используете именно натуральный гусиный? Сейчас многие говорят о популярности мембранных материалов.

Пух обладает рядом преимуществ перед синтетическими утеплителями и позволяет:

- уменьшить общую массу зимних комплектов на 1 – 2 кг;
- увеличить физиологический ресурс работоспособности человека на холоде;
- снизить уровень заболеваемости и временной утраты трудоспособности;
- повысить работоспособность персонала;
- снизить риск травматизма;
- увеличить время работы за смену на открытом воздухе, повысить производительность труда;
- улучшить общее психофизиологическое состояние человека (специальная одежда – легкая, комфортная и теплая);
- повысить показатели комфорта и гигиены труда.

- Вы сами бывали на Севере? Тестировали свою одежду?

Конечно, бывал, и не раз – в Надыме, Уренгое и ряде других городов. Особенно запомнилась поездка на Заполярное нефтегазоконденсатное месторождение ПАО «Газпром». По приезду ударили сильные морозы, но в нашем пуховике я не замерз. Помимо этого, я сам хожу в горы и не раз попадал на Эльбрусе и в Гималаях в очень плохую погоду.

- Испытываете ли вы сейчас затруднения в связи с санкциями? Ваше производство – полностью российское? Или используются импортные материалы?

Я бы разделил влияние санкций на три составляющие – на импорт сырья, экспорт продукции и планы развития.

В отношении импорта. В части приобретения сырья – скорее нет, но львиная доля сырья импортная или сырье произведено из импортных комплектующих. Например, хлопкосодержащие ткани для нефтегазового сектора, – в их основе хлопок, который является биржевым продуктом, также при производстве используются различные пропитки и прочее, и все это импортное. Такая же ситуация с фурнитурой, синтетическими тканями и др. Соответственно, значительно возросли сроки поставки нам сырья, а также его цена. Пух – наш, российский.

В отношении сбыта. Санкции сильно повлияли на нас в 2014-м году. Нами были проведены работы в области интеллектуальных систем подогрева одежды. Финансирование НИОКР осуществлялось со стороны РФ – государственным Фондом Содействия инновациям, со стороны Германии – Министерством науки и исследований (BMBF). Задача состояла в разработке интеллектуальной системы подогрева человека, находящегося в условиях холода, в зависимости от интенсивности его деятельности. Иными словами, система подогрева должна автоматически подогревать человека по зонам в зависимости от его теплового состояния (условий климата и интенсивности работ). Была выпущена пробная партия, но тут в отношении России в 2014-м году были введены санкции. Элементная база «умной» куртки была импортная, из Германии, часть ее – двойного назначения. Мы остались без компонентов и сырья. Начали работать по проблеме замены германских компонентов на другие. Но нас опередили. Xiaomi представила «умную» куртку с поддержкой функции контроля температуры и распределения тепла за 79 долларов, с такой ценой на изделие мы конкурировать не могли.

- Получается, вся работа была выполнена впусую?

Нет, все было не зря. Был накоплен богатейший опыт математического моделирования теплообменных процессов в системе человек — среда, и сегодня мы его используем при проектировании одежды.

Также, продолжая про экспорт, с новым продуктом (разработанным при поддержке Фонда содействия инновациям) – пухом, не поддерживающим горение, – мы планировали выход на экспорт в страны Северной Европы, США и Канаду, но – увы! – скорее всего, это трудно реализуемые планы, при том, что продукт уникальный и не имеет аналогов в мире.

Также были значительно скорректированы планы развития, спрос наших основных заказчиков падает в связи с оптимизацией затрат. Но мы не опускаем руки и продвигаем продукт на новые рынки.

- Какие планы у вашей компании? Какие новинки собираетесь выпустить?

О новинках рассказывал ранее, это новый уникальный продукт – пух, не поддерживающий горение; в 2022-м году уже заключен контракт на поставку первых партий продукции с его применением в адрес ПАО «ЛУКОЙЛ».

Также в 2022-м году планируем провести опытные испытания специальной одежды с традиционным натуральным пуховым утеплителем в ПАО «РЖД» на объектах в Якутии. В мае 2022-го года по итогам отбора мы вошли в акселератор АО «Корпорация МПС» для инновационных компаний. В числе планируемых итогов акселератора – расширение взаимодействия с потенциальными партнерами, закупки которых курирует Корпорация МСП, с целью расширения рынков сбыта и укрепления взаимодействия с государственными институтами развития.

Александр Юрьевич, благодарим вас за интересное интервью. Желаем вам успехов в реализации планов!

Историческая справка:

В результате 200 миллионов лет эволюции птиц появился пух с его уникальными свойствами, которые не в силах повторить и синтезировать человек разумный всего с его 40 тысячелетней историей.

1 грамм пуха имеет общую длину структурных элементов 57 км.

Пух очень лёгок, вес 100 пушинок не превышает 0,2 грамма.

По соотношению теплоты и массы пух в 2,5 раза превосходит другие наполнители.

Протоавис (лат. Protoavis) жил 225—210 млн лет назад – первая примитивная птица. Из-за наличия зубов на клюве в нём предполагают хищника, размещение глаз на передней части черепа свидетельствует о ночном или сумеречном образе жизни. Протоавис был адаптирован к полету, на его костях присутствуют особые отметины — точки прикрепления перьев.

«Russian Arctic» is a scientific peer-reviewed journal, established in 2018. It publishes open access academic/scholarly research in Russian and English. Full text are available online. Double-blind peer-review process is supported.

LLC Center for Information and Legal Support for the Development of the Arctic is the Journal's founder and publisher.

ISSN (online): 2658-4255.

Focus and scope

- enable the scientists studying the Arctic to quickly publish the results of their research;
- provide scientific support to strategic projects in the Arctic;
- draw the attention of a wide audience to healthcare issues faced by the Arctic's indigenous population, to the environment and climate of the Russian North;
- provide Russian and foreign scientists with a platform for dialogue and exchange of knowledge;
- increase the prestige of Russian scientific research at the global level.

Section Policies:

2739 Public health, Environmental and Occupational health

2100 Energy

1900 Earth and Planetary Sciences:

1902 Atmospheric science

1905 Economic geology

1910 Oceanography

Publication frequency:

4 times a year; special and thematic issues are published on request.