

RUSSIAN ARCTIC

russian-arctic.info

#4(15)/2021

EXCLUSIVE

SEA ICE PROCESSES IN
THE RUSSIAN ARCTIC
SEAS IN AUTUMN OF 2021
AND ESTIMATION OF ICE
FORECASTS ACCURACY



BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES IN THE
ENERGY OF THE ARCTIC TERRITORIES

GEOPOLITICS

INDIA'S ARCTIC PUSH



RUSSIAN ARCTIC № 4 (15) 2021 SCIENTIFIC PEER-REVIEWED JOURNAL

CHIEF EDITOR Kira Zmieva

EDITORIAL BOARD

Nikolay Koldunov, PhD (Bremen, Germany)
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)
Belonenko Tatiana, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Belozersky Gennady 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)
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)
Filippov Boris, 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)
Kydrushova Elena, Doctor of Sciences, Prof (Arkhangelsk, Russia)
Lebedev Sergey, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Levykin Sergey, Doctor of Sciences, Prof (Yekaterinburg, Russia)
Malinin Valery, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Mingazova Elmira, Doctor Sciences, professor (Kazan, 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 (Moscow, 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)
Saltykova Olga, PhD (Cheboksary, 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: 29.12.2021



CONTENTS

04

Editor's letter

GEOECOLOGY

05

RISK ASSESSMENT OF THE ARCTIC COASTAL NATURE MANAGEMENT BASED ON THE MATRIX APPROACH

G. Gogoberidze, E. Rumiantceva, M. Shilin

17

CHEMICAL COMPOSITION OF SNOW COVER OF THE BARENTS AND KARA SEAS ISLANDS

E.Kotova, I. Vasilevich, K. Romashova, A. Krasavina

BIOGEOGRAPHY

28

CURRENT STATE, PROBLEMS OF NORTHERN DOMESTIC REINDEER HUSBANDRY AND WAYS TO SOLVE THEM

R.R. Kalitin

OCEANOLOGY

40

SEA ICE PROCESSES IN THE RUSSIAN ARCTIC SEAS IN AUTUMN OF 2021 AND ESTIMATION OF ICE FORECASTS ACCURACY

Ye.U. Mironov, S.V. Klyachkin, Ye.I. Makarov, A.V. Yulin, E.V. Afanasyeva

54

ICE CONDITIONS OF NAVIGATION DURING THE NABOS-2021 EXPEDITION IN SEPTEMBER-OCTOBER 2021

A.B. Timofeeva

68

THE SHIPBORNE SEA-ICE CONDITION OBSERVATIONS IN THE ARCTIC BASIN DURING THE SUMMER 2021

E.S. Egorova, N.A. Filippov, T.A. Alekseeva, S.S. Serovetnikov, V.T. Sokolov

ELECTRIC POWER

81

INTEGRATION OF GREEN AND RENEWABLE ENERGY INTO THE INTELLIGENT ENERGY SYSTEM OF THE ARCTIC TERRITORIES THROUGH BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES

K. Zmieva

PERIODICAL PUBLICATIONS

92

DEVELOPMENTS IN THE FIELD OF ELECTRICAL ENGINEERING AND ENERGY FOR AZRF-REVIEW OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS

GEOPOLITICS

94

INTERVIEW WITH A.A. GAYDASHEV - A POLAR RESEARCHER FROM BELARUS

99

INDIA'S ARCTIC PUSH: "THOUGHT THROUGH" OR "A REMEDIAL PROCESS TO ADDRESS AN INSECURITY"

Vikram Suhag

101

INDIA'S STRATEGIC ENVIRONMENT – NO MORE LIMITED JUST TO THE INDIAN OCEAN. INDIA & RUSSIA TO SIGN THE RECIPROCAL EXCHANGE OF LOGISTICS AGREEMENT (RELOS)

Vikram Suhag

У

ВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!



В последнее время средства массовой информации всё чаще упоминают Арктический регион, как территорию, интерес к освоению которой проявляют как циркумполярные страны, так и далёкие от северного полюса государства. Связан такой интерес прежде всего с растущей скоростью таяния льдов Северного Ледовитого Океана (СЛО), вызванной высокой антропогенной нагрузкой. Этот процесс, с одной стороны, несёт глобальные изменения климата, а с другой – открывает новые возможности для судоходства по Северному морскому пути и для добычи ранее недоступных углеводородов на морском шельфе в акватории СЛО.

В то же время безопасность и эффективность судоходства и добычи полезных ископаемых в акватории Северного морского пути (СМП) зависит не только от общего количества льда и продолжительности ледового периода. Существенное влияние на безопасность судоходства оказывают опасные ледовые явления и образования – аномально раннее ледообразование, наличие сплочённых и мощных льдов на трассах, сжатия и повышенная торосистость, концентрация айсбергов и стамух, а также величина снежного покрова. Этой теме посвящена большая часть исследований, опубликованных в очередном 15-м по счёту выпуске научного журнала «Российская Арктика». Также в этом номере вы ознакомитесь с особенностями арктического берегового природопользования, узнаете о новых тенденциях в построении интеллектуальных энергетических систем для арктических территорий, поразмышляете о домашнем оленеводстве и ознакомитесь с работами зарубежных исследователей.

Приятного прочтения!
Кира Змиева,
Главный редактор

УДК 332.143 + 504.062
 DOI: 10.24412/2658-4255-2021-4-05-16

Для цитирования:

Г.Г. Гогоберидзе,
 Е.А. Румянцева,
 М.Б. Шилин Оценка рисков
 арктического берегового
 природопользования на
 основе матричного подхода //
 Российская Арктика. 2021.
 № 15. С. 05–16

Получена: 06.08.2021
 Принята: 18.08.2021
 Опубликована: 15.10.2021



Статья распространяется
 в полнотекстовом формате на
 условиях лицензии Creative
 Commons Attribution 4.0

Исследование выполнено
 при финансовой поддержке
 РФФИ в рамках научного
 проекта № 20-05-00312

ОЦЕНКА РИСКОВ АРКТИЧЕСКОГО БЕРЕГОВОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МАТРИЧНОГО ПОДХОДА

Г.Г. Гогоберидзе¹ , Е.А. Румянцева¹ , М.Б. Шилин² 

¹ Мурманский арктический государственный университет, г. Мурманск; gogoberidze.gg@gmail.com, rumkate@rambler.ru

² Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург; shilinspb@gmail.com

Аннотация: В арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) и ее береговых эко-социо-экономических системах наблюдается значительное увеличение природных и техногенных рисков природопользования, что связано как с процессами глобального изменения климата Арктики, так и с постоянно увеличивающимся антропогенным воздействием. На основе представления риска как процесса в виде матриц риск-фактор – риск-источник и риск-объект – риск-фактор, предлагается использование матричного подхода оценки рисков арктического берегового природопользования. Подход основан на процессной классификации рисков, взаимодействии их составляющих и воздействию риска на элементы арктической береговой системы, с использованием экспертных критериальных оценок. В работе сформулированы основные принципы и алгоритм матричного подхода в виде последовательности трех действий: уменьшение размерности матриц составляющих рисков, расчет оценок риск-факторов R_i и расчет оценки интегрального показателя риска R_{int} . В качестве апробации получены оценки рисков природопользования для двух приморских территориальных образований Мурманской области (городское поселение Кола и сельское поселение Варзуга), и выделены наиболее значимые риск-факторы для каждой территории. Предлагаемый матричный подход позволяет осуществить картирование арктических береговых эко-социо-экономических систем по степени риска природопользования, проводить ситуационные и сценарные оценки интегрального показателя риска и его составляющих вследствие размещения нового инфраструктурного объекта.

Ключевые слова: риск природопользования, береговая эко-социо-экономическая система, Арктика, матрицы составляющих риска, интегральный показатель риска

RISK ASSESSMENT OF THE ARCTIC COASTAL NATURE MANAGEMENT BASED ON THE MATRIX APPROACH

G. Gogoberidze¹, E. Rumiantceva¹, M. Shilin²

¹ Murmansk Arctic State University, Murmansk

² Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

Abstract: In the Russian Arctic and its coastal eco-socio-economic systems, there is a significant increase in natural and technogenic risks of nature management, which is associated both with the processes of global climate change in the Arctic and with the constantly increasing anthropogenic impact. Based on the representation of risk as a process in the form of risk-factor – risk-source and risk-object – risk-factor

matrices, it is proposed to use a matrix approach to assessing the risks of Arctic coastal nature management. The approach is based on the process of risks classification, the interaction of their components and the impact of risk on the elements of the Arctic coastal system, using expert criterial assessments. The paper formulates the basic principles and algorithm of the matrix approach in the form of three actions: reducing the dimension of matrices of risk components, calculating risk factor estimates R_i and calculating the assessment of the integral risk indicator R_{int} . As an approbation, nature management risk assessments were obtained for two coastal territorial formations of the Murmansk Region (Kola urban settlement and Varzuga rural settlement), and the most significant risk factors for each territory were identified. The proposed matrix approach makes it possible to map the Arctic coastal eco-socio-economic systems according to the degree of risk of nature management, to carry out situational and scenario assessments of the integral risk indicator and its components due to the placement of a new infrastructure facility.

Keywords: nature management risk, coastal eco-socio-economic system, Arctic, matrices of risk components, integral risk indicator

Введение

Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) с ее берегами является макрорегионом, в котором наблюдается значительное увеличение природных и техногенных рисков природопользования, что подтверждается содержанием недавно принятых документов стратегического планирования и территориального развития (Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года, утвержденные указом Президента РФ от 5 марта 2020 г. N 164; Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года, утвержденная указом Президента РФ от 26 октября 2020 г. № 645; Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 г. № 207-р, и другие документы) и научными разработками. Это связано с процессами глобального изменения климата Арктики, но в первую очередь – с постоянно увеличивающимся антропогенным воздействием на береговую эко-социо-экономическую систему АЗРФ [1, 2, 6, 10-12, 15].

В работе [3], в частности, была предложена классификационная система, определяющая виды, источники, сферы действия и пространственный масштаб составляющих рисков природопользования, а также характер их воздействий на элементы арктических береговых эко-социо-экономических систем. Риск как процесс представляется в виде цепочки трех взаимосвязанных составляющих (рис. 1):

- риск-источник как непосредственный элемент арктической береговой эко-социо-экономической системы, который и производит риск природопользования;
- риск-фактор как непосредственный риск (событие), возможность реализации которого исходит от риск-источника с разной степенью вероятности и интенсивности проявления, и представляющий собой угрозу природопользования для какого-либо объекта системы;
- риск-объект как непосредственный элемент арктической берего-

вой эко-социо-экономической системы, на который воздействует риск-фактор, с разной степенью интенсивности и угрозы его устойчивому функционированию. При этом необходимо отметить, что по своей сути риск-объект и риск-источник представляют близкие, а зачастую одни и те же элементы арктической береговой эко-социо-экономической системы, что дает возможность определения обратной связи процесса.

Исходя из такого представления, взаимосвязи элементов структурных составляющих риска оценивались путем проведения экспертных оценок по 5-бальной системе для двух матриц:

- матрица риск-фактор (строки) – риск-источник (столбцы), отражающая степень продуцирования риск-фактора от воздействия каждого из риск-источников (матрица 21*19);
- матрица риск-объект (строки) – риск-фактор (столбцы), отражающая

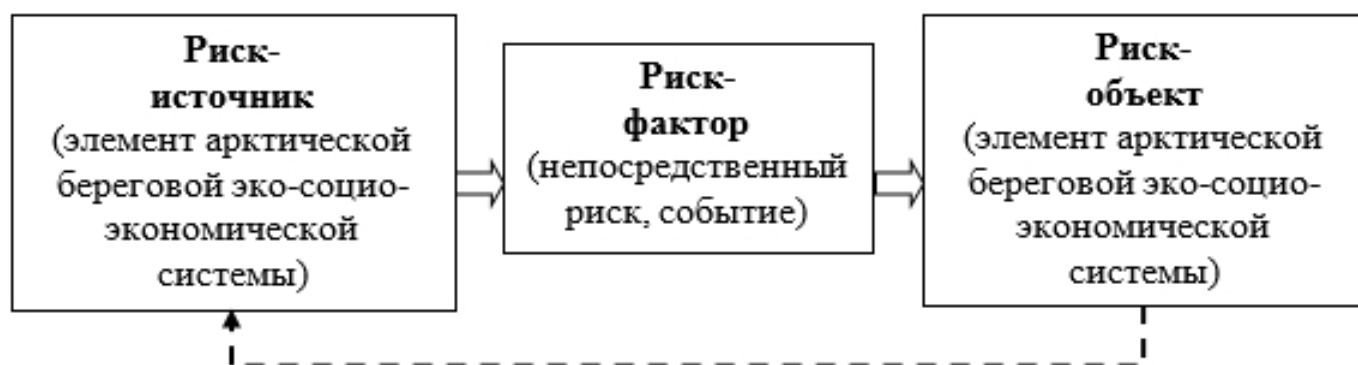


Рисунок 1 – Структура риска арктического берегового природопользования как процесса, [3].

степень возможного воздействия каждого риск-фактора на нормальное эффективное функционирование риск-объектов (матрица 18*21).

Следующей задачей анализа, прогноза и разработки решений по реализации мероприятий управления рисками природопользования в береговой эко-социо-экономической системе АЗРФ является разработка инструментария оценки факторов риска и его интегрального показателя для рассматриваемого территориального объекта береговой системы. Однако, несмотря на большое количество подходов, включающих как количественные, так и экспертные и нормативные методы оценки рисков, они в большей степени относятся к вероятностным методам, с различной интерпретацией проводимых оценок [5, 7, 13, 14]. Предлагаемый матричный подход основывается на процессной классификации рисков арктического берегового природопользования, взаимодействии их составляющих и воздействию риска на элементы арктической береговой системы, с использованием экспертных критериевых оценок для элементов матриц составляющих риска.

Основные положения методики оценки рисков арктического берегового природопользования на основе матричного подхода

Основные принципы, заложенные в матричном подходе оценки рисков арктического берегового природопользования, включают следующие положения:

- арктическая береговая эко-социо-экономическая система, для которой проводится оценка рисков природопользования, представляет территориальный объект, чья протяженность может варьироваться

от районного (например, приморское муниципальное образование районного уровня управления и прилегающие территориальные воды) до локального (например, приморское муниципальное образование поселений и прилегающие внутренние воды, узловые пространственные объекты в виде берегового поселения и прилегающих внутренних вод, и т.п.) пространственного уровней;

- оценки риск-факторов и интегрального показателя риска для территориального объекта АЗРФ проводятся в безразмерном виде;
- расчет оценки риск-факторов и интегрального показателя риска основывается на матрицах составляющих риска [3]:
 - матрице риск-фактор – риск-источник, которая отражает степень продуцирования риск-фактора от воздействия каждого из риск-источников;
 - матрице риск-объект – риск-фактор, которая отражает степень возможного воздействия каждого риск-фактора на нормальное эффективное функционирование риск-объектов.

Алгоритм матричного подхода оценки риска природопользования в арктической береговой эко-социо-экономической системе реализуется в виде последовательности трех действий.

Уменьшение размерности матриц составляющих риска

Исходные матрицы риск-фактор – риск-источник и риск-объект – риск-фактор могут уменьшать размерность для рассматриваемой береговой системы в зависимости от следующих качеств этой системы.

1. Отсутствия в пределах рассматриваемого территориального объекта риск-источников. В случае отсутствия какого-либо риск-источника (например, портового комплекса и т.п.), естественно, отсутствует возможность продуцирования риск-факторов от него. Таким образом, все элементы соответствующего риск-источнику столбца в матрице риск-фактор – риск-источник обнуляются, и этот столбец становится возможным автоматически удалить из матрицы. При этом в первую очередь принимается во внимание классификационный вид риск-источника, т.е. риск-источники природного происхождения присутствуют практически повсеместно, наличие геологических источников зависит от ряда внешних параметров (например, геологической/сейсмологической устойчивости, типа и степени устойчивости береговой линии и т.п.), а антропогенные/техногенные источники могут присутствовать либо отсутствуют в пределах рассматриваемой территории. В результате количество столбцов в матрице риск-фактор – риск-источник может быть сокращено.

2. Отсутствия на рассматриваемой территории риск-фактора. В соответствии с сокращением столбцов в матрице риск-фактор – риск-источник, в ней возможны нулевые (близкие к нулю) суммарные продуцирующие воздействия оставшихся риск-источников на риск-факторы. В этом случае становится возможным сокращение количества строк в данной матрице, что взаимно влечет сокращение количества столбцов в матрице риск-объект – риск-фактор.

3. Отсутствия на рассматриваемой территории риск-объектов. В случае отсутствия какого-либо риск-объекта (например, обрабатывающих предприятий с соответствующей инфраструктурой и т.п.), естественно, отсутствует возможность воздействия на него риск-факторов. Таким образом, все элементы соответствующей риск-объекту строки в матрице риск-объект – риск-фактор обнуляются, и эту строку становится возмож-

ным автоматически удалить из матрицы. Количество строк в матрице риск-объект – риск-фактор может быть сокращено.

Расчет оценок риск-факторов R_i

Для скорректированных для рассматриваемого территориального объекта матриц риск-фактор – риск-источник и риск-объект – риск-фактор проводится расчет оценки каждого риск-фактора R_i . При этом расчет происходит исходя из двух составляющих:

- сумма строки в матрице риск-фактор – риск-источник, для фактора R_i , с учетом корректирующего коэффициента, отражающего степень управляемости по снижению рисков для каждого риск-источника, воздействующего на риск-фактор;
- сумма столбца в матрице риск-объект – риск-фактор, для фактора R_i , с учетом корректирующих коэффициентов, отражающих пространственный масштаб проявления риск-фактора, временной масштаб воздействия риск-фактора, степень прогнозируемости вероятности проявления риск-фактора, частоту продуцирования воздействия риск-фактора на риск-объект, количество непосредственных риск-объектов, на которые воздействует риск-фактор, степень возможности индуцирования последовательной цепочки риска для риск-объектов и размер (тяжесть) ущерба / последствий реализации риска для риск-объектов.

В общем виде, расчет оценки риска R_i осуществляется по формуле (1):

$$R_i = \sum (R_{S-F_j} \cdot k_m) + \sum \left[R_{F-O_k} \cdot \left(\frac{k_s + k_t + k_p + k_f + k_c + k_{ind} + k_d}{7} \right) \right], \quad (1)$$

где R_i – оценка проявления i -го риск-фактора, ед.;

R_{S-F_j} – степень продуцирования i -го риск-фактора со стороны j -го риск-источника, ед.;

R_{F-O_k} – степень воздействия i -го риск-фактора на k -ый риск-объект, ед.;

k_m – коэффициент степени управляемости по снижению рисков для риск-источника, воздействующего на риск-фактор;

k_s – коэффициент пространственного масштаба проявления риск-фактора;

k_t – коэффициент временного масштаба воздействия риск-фактора;

k_p – коэффициент степени прогнозируемости вероятности проявления риск-фактора;

k_f – коэффициент частоты возникновения воздействия риск-фактора на риск-объект;

k_c – коэффициент количества риск-объектов одного вида, находящихся в пределах рассматриваемой территории, на которые воздействует риск-фактор;

k_{ind} – коэффициент степени возможности индуцирования последовательной цепочки риска для риск-объектов;

k_d – коэффициент размера (тяжести) ущерба / последствий реализации риска для риск-объектов.

По сути, значения всех указанных коэффициентов представляют собой матрицы, с размерностью аналогичными преобразованными для рассматриваемой территории матрицам риск-фактор – риск-источник (для коэффициента k_m) и риск-объект – риск-фактор (для остальных коэффициентов).

Расчет оценки интегрального показателя риска R_{Int}

Оценки интегрального показателя риска R_{Int} рассчитывается как сумма всех риск-факторов R_i , с учетом рассмотренных выше коэффициентов, отображающих территориальные классификационные признаки, видовые формы и особенности составляющих риска. Расчет интегрального показателя риска R_{Int} осуществляется по формуле (2):

$$R_{Int} = \sum R_i, \quad (2)$$

где R_{Int} – интегральный показатель риска, ед.

Коэффициенты оценки рисков арктического берегового природопользования как территориальные классификационные признаки и видовые формы составляющих риска

Принимая во внимание изложенный алгоритм расчета риска арктического берегового природопользования в виде последовательности риск-источник – риск-фактор – риск-объект, рассмотрим их классификационные признаки, видовые формы, а также градации воздействий на элементы арктических береговых эко-социо-экономических систем в виде рассмотренных выше коэффициентов.

По степени управляемости по снижению рисков (коэффициент k_m) риск-источники подразделяются на:

- управляемые риск-источники, подверженные процессам управления, позволяющим существенно снижать вероятность индуцирования ими риск-факторов;
- ограниченно управляемые риск-источники, имеющие ограниченные возможности по процессам управления и воздействия, позволяющим снижать вероятность индуцирования ими риск-факторов;
- неуправляемые риск-источники, практически не имеющие возможностей по процессам управления и воздействия, позволяющим снижать вероятность индуцирования ими риск-факторов.

По пространственному масштабу проявления (коэффициент k_s) риск-факторы подразделяются на:

- локальные, риск-фактор воздействует на единичный объект, площадью до 1 км²;
- местные, риск-фактор воздействует на единичный объект или несколько компактно расположенных объектов, на площади от 1 до 100 км²;
- региональные, риск-фактор воздействует на совокупность объектов, расположенных на значительном расстоянии друг от друга, на площади более 100 км²;
- глобальные, риск-фактор воздействует на совокупность объектов АЗРФ в пределах одного или нескольких регионов (субъектов Российской Федерации), с потенциальным воздействием на всю территорию АЗРФ в целом.

По временному масштабу воздействия (коэффициент k_t) риск-фактор и последствия его проявления подразделяются на:

- краткосрочные, с кратковременным (до 3 суток) воздействием на объект;
- среднесрочные, с непродолжительным (от 3 до 30 суток) воздействием на объект;

- долгосрочные, с долговременным (более 30 суток) воздействием на объект.

По степени прогнозируемости вероятности проявления (коэффициент k_p), риск-фактор и последствия его проявления подразделяются по следующим градациям:

- прогнозируемые, с высокой степенью вероятности реализации прогноза (более 75 %);
- частично прогнозируемые, невысокая степень вероятности реализации прогноза (25-75 %);
- непрогнозируемые, практически без возможности составления прогноза (вероятность его реализации менее 25 %).

По частоте возникновения (коэффициент k_f) выделяют следующие градации риск-фактора и последствий его проявления:

- единичные, единичный характер возникновения (не более 1 раза в 10 лет);
- редкие, имеющие редкий характер возникновения (не менее 1 раза в 3 года);
- регулярные, которые возникают регулярно (не менее 1 раза в год);
- частые, с периодичностью в среднем за год не менее 1 раза в 3 месяца.

По признаку количества объектов (реципиентов) риска, располагающихся в пределах рассматриваемой территории АЗРФ (коэффициент k_o), градации риск-объектов включают:

- единичные риск-объекты, 1 объект на территорию;
- группа риск-объектов, до 5 объектов на территорию;
- совокупность риск-объектов, более 5 объектов на территорию.

По возможности индуцирования последовательной цепочки рисков (коэффициент k_{ind}), риск-объекты имеют градации:

- высокая возможность продуцирования самостоятельных рисков (выступать риск-источником) вследствие воздействия на него риск-фактора;
- средняя (невысокая) возможность продуцирования самостоятельных рисков (выступать риск-источником) вследствие воздействия на него риск-фактора;
- низкая возможность, риск-объект практически не может продуцировать самостоятельные риски (выступать риск-источником) воздействия на него риск-фактора.

По размеру (тяжести) ущерба и последствий реализации события (коэффициент k_d), риск-объекты имеют следующие градации:

- незначительный размер ущерба/последствий, при котором риск-объект имеет незначительные последствия воздействия риск-фактора, изменения в береговой системе не выходят за пределы обычной изменчивости, ущерб не превышает 1 млн. руб.;
- существенный размер ущерба/последствий, при котором риск-объект имеет существенные последствия воздействия риск-фактора, изменения в береговой системе превышают пределы обычной изменчивости, ущерб измеряется в пределах 1-100 млн. руб.;
- значительный размер ущерба/последствий, при котором риск-объект имеет значительные последствия воздействия риск-фактора, происходят значительные изменения в береговой системе, с нарушением отдельных ее компонентов, ущерб измеряется в пределах 100-1000 млн. руб.;

- катастрофический размер ущерба/последствий, при котором риск-объект имеет катастрофические последствия воздействия риск-фактора, происходят значительные изменения в береговой системе, с необратимыми нарушениями ее компонентов, ущерб превышает 1 млрд. руб.

Значения коэффициентов определяются для каждого элемента матриц риск-фактор – риск-источник (как степень продуцирования i -го риск-фактора со стороны j -го риск-источника) и риск-объект – риск-фактор (как степень воздействия i -го риск-фактора на k -ый риск-объект) для рассматриваемого района. При определении значений коэффициентов в приведенных грациях используется равномерная шкала на отрезке $[0; 1]$.

Необходимо отметить, что все коэффициенты, кроме коэффициента k_c , зависят в первую очередь от природы риск-источника (для коэффициента k_m), а для риск-факторов антропогенных/технологических источников – от технологического уровня объекта, степени его модернизированности и технической безопасности, уровня квалификации персонала объекта и т.д.

Оценка рисков арктического берегового природопользования для районов Мурманской области

В качестве апробации применения изложенной методики оценки рисков арктического берегового природопользования были рассмотрены два локальных приморских территориальных образования Мурманской области:

- городское поселение Кола, как локальное муниципальное образование, входящее в состав Кольского района, и расположенное на территории слияния рек Кола и Тулома и их впадения в Кольский залив Баренцева моря;
- сельское поселение Варзуга, как локальное муниципальное образование, входящее в состав Терского района, расположенное в береговой зоне Белого моря.

Необходимо отметить, что данные территориальные образования обладают существенными несходствами по большинству физико-географических и социально-экономических параметров, что дает возможность оценить применимость методики для арктических территорий различного типа [4].

Городское поселение Кола расположено в зоне распространения вечной мерзлоты. Недалеко от города, немногим более 10 км, расположен г. Мурманск, а в 15 километрах находится посёлок городского типа Мурманши с международным аэропортом «Мурманск». Территория муниципалитета находится в атлантико-арктической зоне умеренного климата, климат формируется близостью Баренцева моря, с сильными ветрами и осадками. При этом зима более холодная, реки Тулома и Кола и место их впадения в Кольский залив замерзают, в отличие от более широкой и открытой северной части залива. Самыми многоэтажными домами являются девятиэтажные, основная застройка города - «хрущёвки», присутствуют дома сталинской постройки, в районе железнодорожной станции «Кола» присутствуют полуразвалившиеся деревянные дома. На территории находится также ряд социально значимых учреждений. Основными отраслями экономики муниципального образования являются железнодорожные и автомобильные перевозки, передача электроэнергии, а также пищевая промышленность, бетонный завод, несколько частных

строительных компаний.

Сельское поселение Варзуга расположено на юге Мурманской области, с юга омывается Белым морем. На территории проживает менее 700 человек, разбросанных по 8 населенным пунктам и некоторому количеству отдельных домов по берегу моря. Акватория Белого моря замерзает в зимнее время, ветровая нагрузка невысокая, со значительными осадками. Экономике территории определяет экстремальный туризм, подсобное сельское хозяйство, ряд кустарных камнеобрабатывающих цехов на сувенирные цели. Линии электропередач и транспортная инфраструктура отсутствуют, единственная неасфальтированная дорога идет от Умбы до Варзуги. В отдаленные населенные пункты муниципалитета иногда можно добраться на теплоходе.

Принимая во внимание территориальные особенности рассматриваемых территориальных образований, была проведена оценка рисков арктического берегового природопользования и получены следующие основные результаты.

Для территории городского поселения Кола и прилегающей акватории внутренних вод произошло незначительное сокращение исходных матриц риск-фактор – риск-источник (до размерности 18*10) и риск-объект – риск-фактор (до размерности 10*18), за счет сокращения риск-источников и риск-объектов, отсутствующих на рассматриваемой территории. При этом число риск-факторов сократилось только на три позиции: землетрясения, абразия берегов и радиационное заражение.

Расчеты оценок риск-факторов с учетом указанных коэффициентов оценки рисков арктического берегового природопользования, отражающих территориальные классификационные признаки и видовые формы составляющих рисков, показали, что наиболее значительными являются такие риск-факторы, как:

- пожар, оценка риск-фактора 32,6 ед.;
- техногенная авария, оценка риск-фактора 31,2 ед.;
- климатические воздействия потепления, включая таяние вечной мерзлоты и повышение уровня моря, оценка риск-фактора 26,3 ед.

Иными значимыми риск-факторами, с оценкой более 20, являются факторы ветровой нагрузки, обледенения, подтопления территорий вследствие половодья, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу и инфекционного/эпидемиологического заражения. Интегральная оценка риска для территориального образования составила 339,7 ед.

Для территории сельского поселения Варзуга и прилегающей акватории внутренних вод произошло существенное сокращение исходных матриц риск-фактор – риск-источник (до размерности 14*7) и риск-объект – риск-фактор (до размерности 6*14), за счет сокращения риск-источников и риск-объектов, отсутствующих на рассматриваемой территории. При этом как риск-объекты были рассмотрены урез берега, сухопутная и морская экосистемы, человек и социальные объекты инфраструктуры, а также суда вне портовых комплексов (трафик судов во внутренних водах).

Расчеты оценок риск-факторов с учетом указанных коэффициентов оценки рисков арктического берегового природопользования, отражающих территориальные классификационные признаки и видовые формы составляющих рисков, показали, что наиболее значительными являются такие риск-факторы, как:

- пожар, оценка риск-фактора 22,8 ед.;
- подтопление территорий, в т.ч. вследствие половодий, оценка

риск-фактора 20,6 ед.;

- инфекционные/эпидемиологические заболевания, оценка риск-фактора 19,8 ед.

Интегральная оценка риска для территориального образования составила 196,9 ед.

Заключение

Разработка методологии оценки рисков берегового природопользования в АЗРФ является одной из важнейших задач в вопросах обеспечения устойчивого развития этой стратегической территории Российской Федерации. Проведение таких оценок даст возможность осуществления системного анализа составляющих рисков арктического природопользования в береговых эко-социо-экономических системах, изучения взаимосвязей и воздействий природных и техногенных рисков.

Методология матричного подхода в оценке рисков основывается на их классификационных и структурных признаках, рассмотрении риска как процесса, неизбежного в арктическом береговом природопользовании, но возможного к уменьшению вероятности реализации риск-событий. Сама оценка учитывает взаимодействие составляющих риска и воздействия риск-факторов на элементы арктической береговой системы, как риск-объекты, с использованием экспертных критериальных оценок для элементов матриц составляющих риска.

Результаты оценок рисков арктического берегового природопользования получены для двух районов Мурманской области с различной территориальной организацией по большинству физико-географических и социально-экономических параметров. Так, интегральная оценка риска для городского поселения Кола оказалась в полтора раза выше, чем для сельского поселения Варзуга, с существенными различиями по структуре и взаимосвязям в последовательности риск-источник – риск-фактор – риск-объект риск. Это позволило выделить наиболее значимые риск-факторы для каждой территории, управленческое воздействие на которые с целью снижения вероятности их проявления, даст возможность снижения риска берегового природопользования.

В целом, предлагаемый матричный подход позволяет получить пространственное распределение оценок рисков, а также выявлять наиболее важные риск-факторы и оценивать возможные комбинации отдельных показателей, например, воздействие природных риск-факторов, антропогенных риск-факторов, риск-факторов морской деятельности и т.п. Благодаря этому возможно картирование арктических береговых эко-социо-экономических систем различного пространственного уровня по степени риска природопользования на территориях, в целях разработки рекомендации по принятию управленческих решений по территориальному планированию и ресурсопользованию [8, 9].

Кроме того, представляет интерес проведение ситуационных и сценарных оценок по изменению интегрального показателя риска вследствие размещения какого-либо объекта – т.е. составление прогноза изменения интегральной оценки риска и его составляющих от размещения нового объекта. При этом отметим, что в случае планирования к размещению нового уникального для данной территории объекта, это приводит к расширению матриц составляющих риска.

Список литературы:

1. Баландин Д.А., Баландин Е.Д., Пыткин А.Н. Приоритеты пространственного развития арктических территорий // Экономические отношения. 2019. Т. 9. № 3. С. 1735-1746. doi: 10.18334/eo.9.3.40926.
2. Болсуновская Ю.А., Боярко Г.Ю. Особые экологические риски в системе обеспечения экологической безопасности арктического региона РФ // Фундаментальные исследования. 2014. № 9-12. С. 2725-2728.
3. Гогоберидзе Г.Г., Румянцева Е.А., Шилин М.Б. Природные и техногенные риски природопользования в береговых эколо-социо-экономических системах Арктической зоны Российской Федерации // Региональная экономика: теория и практика. 2021. Т. 19. № 2 (485). С. 360-383. doi: 10.24891/re.19.2.360.
4. Ершова А.А., Вицентий А.В., Гогоберидзе Г.Г., Шишаев М.Г., Ломов П.А. Морское пространственное планирование: возможности для приморских территорий и прилегающих акваторий Мурманской области // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2018. Т. 14. Вып. 2. С. 269-287. doi: 10.24891/ni.14.2.269.
5. Картвелишвили В.М., Свиридова О.А. Риск-менеджмент. Методы оценки риска. М.: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2017. 120 с.
6. Кочуров Б.И., Слипичук М.В., Лобковский В.А., Костровская С.К. Стратегия социально-экономического развития Арктики в контексте глобальных ресурсных и технологических изменений и вызовов // Проблемы региональной экологии. 2015. № 1. С. 122-127.
7. Кузьмин С.Б. Оценка риска природопользования для субъектов Российской Федерации // Геориск. 2016. № 2. С. 30-37.
8. Кузьмин С.Б., Лопаткин Д.А. Картографирование риска природопользования в субъектах Российской Федерации // Геодезия и картография. 2020. Т. 81. № 9. С. 14-29. doi: 10.22389/0016-7126-2020-963-9-14-29.
9. Кулыгин В.В. Разработка геоинформационного ресурса рисков опасных природных явлений для морехозяйственной деятельности // Интеркарто. Интергис. 2018. Т. 24. № 1. С. 158-166. doi: 10.24057/2414-9179-2018-1-24-158-166.
10. Лаженцев В.Н. Социально-экономическое пространство и территориальное развитие севера и Арктики России // Экономика региона. 2018. Т. 14. № 2. С. 353-365. doi: 10.17059/2018-2-2.
11. Моргунов Б.А., Терентьев А.А., Козельцев М.Л. Оценка трансграничных рисков и глобальных последствий изменений климата и экономической деятельности в бассейнах арктических морей // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2019. № 2. С. 100-108. doi: 10.31857/S2587-556620192100-108.
12. Порфирьев Б.Н., Лексин В.Н. Роль технологической модернизации в формировании социально ориентированной экономики и обеспечении устойчивого развития российской Арктики // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2017. Т. 8. № S4 (32). С. 629-639. doi: 10.18184/2079-4665.2017.8.4.629-639.
13. Управление рисками техногенных катастроф и стихийных бедствий / Под общей редакцией Фалеева М.И. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. 270 с.
14. Фруммин Г.Т. Техногенные системы и экологический риск. СПб.: Спецлит, 2016. 136 с.
15. Хвостова М.С. Влияние опасных природных процессов и явлений на безопасность хозяйственной деятельности в Арктической зоне РФ // Российская Арктика. 2020. № 12. С. 5-22. doi: 10.24412/2658-4255-2021-1-05-22.

References:

1. Balandin D.A., Balandin E.D., Pytkin A.N. Prioritety prostranstvennogo razvitiya arkticheskikh territorij [Priorities of spatial development of the Arctic territories]. Ekonomicheskie otnosheniya [Economic relations], 2019, vol. 9, no. 3, pp. 1735-1746. doi: 10.18334/eo.9.3.40926. (In Russian).
2. Bolsunovskaya Yu.A., Boyarko G.Yu. Osobyie ekologicheskie riski v sisteme obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti arkticheskogo regiona RF [Special environmental risks in the system of ensuring environmental safety of the Arctic region of the Russian Federation]. Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental research], 2014, no. 9-12, pp. 2725-2728. (In Russian).
3. Gogoberidze G.G., Rumyantseva E.A., Shilin M.B. Prirodnye i tekhnogennye riski prirodnopol'zovaniya v beregovykh eko-socio-ekonomicheskikh sistemah Arkticheskoy zony

- Rossijskoj Federacii [Natural and technogenic risks of nature management in coastal socio-economic systems of the Russian Arctic]. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika* [Regional economy: theory and practice], 2021, vol. 19, no. 2 (485), pp. 360-383. doi:10.24891/re.19.2.360. (In Russian).
4. Ershova A.A., Vicentij A.V., Gogoberidze G.G., Shishaev M.G., Lomov P.A. Morskoe prostranstvennoe planirovanie: vozmozhnosti dlya primorskih territorij i prilegayushchih akvatorij Murmanskoy oblasti [Marine spatial planning: opportunities for the coastal territories and adjacent water areas of the Murmansk Oblast]. *Nacional'nye interesy: priority i bezopasnost'* [National interests: priorities and security], 2018, vol. 14, no. 2. pp. 269-287. doi: 10.24891/ni.14.2.269. (In Russian).
 5. Kartvelishvili V.M., Sviridova O.A. Risk-menedzhment. Metody ocenki riska [Risk management. Risk assessment methods]. Moscow, G.V. Plekhanov's REU Publ., 2017, 120 p. (In Russian).
 6. Kochurov B.I., Slipenchuk M.V., Lobkovskij V.A., Kostrovska S.K. Strategiya social'no-ekonomicheskogo razvitiya Arktiki v kontekste global'nyh resursnyh i tekhnologicheskikh izmenenij i vyzovov [Strategy of socio-economic development of the Arctic in the context of global resource and technological changes and challenges]. *Problemy regional'noj ekologii* [Problems of regional ecology], 2015, no. 1, pp. 122-127. (In Russian).
 7. Kuz'min S.B. Ocenka riska prirodopol'zovaniya dlya sub'ektov Rossijskoj Federacii [Nature management risk assessment for the subjects of the Russian Federation]. *Georisk* [Georisk], 2016, no. 2, pp. 30-37. (In Russian).
 8. Kuz'min S.B., Lopatkin D.A. Kartografirovaniye riska prirodopol'zovaniya v sub'ektah Rossijskoj Federacii [Mapping the risk of nature management in the Subjects of the Russian Federation]. *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and cartography], 2020, vol. 81, no. 9, pp. 14-29. doi: 10.22389/0016-7126-2020-963-9-14-29. (In Russian).
 9. Kulygin V.V. Razrabotka geoinformacionnogo resursa riskov opasnyh prirodnyh yavlenij dlya morekhozaystvennoj deyatel'nosti [Development of a geoinformation resource of risks of dangerous natural phenomena for maritime economic activity]. *Interkarto. Intergis* [Intercarto. Intergis], 2018, vol. 24, no. 1, pp. 158-166. doi: 10.24057/2414-9179-2018-1-24-158-166. (In Russian).
 10. Lazhencev V.N. Social'no-ekonomicheskoe prostranstvo i territorial'noe razvitiye severa i Arktiki Rossii [Socio-economic space and territorial development of the North and the Arctic of Russia]. *Ekonomika regiona* [Economy of the region], 2018, vol. 14, no. 2, pp. 353-365. doi: 10.17059/2018-2-2. (In Russian).
 11. Morgunov B.A., Terent'ev A.A., Kozel'cev M.L. Ocenka transgranichnyh riskov i global'nyh posledstvij izmenenij klimata i ekonomicheskoy deyatel'nosti v bassejnah arkticheskikh morej [Assessment of transboundary risks and global consequences of climate change and economic activity in the Arctic seas]. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical series], 2019, no. 2, pp. 100-108. doi: 10.31857/S2587-556620192100-108. (In Russian).
 12. Porfir'ev B.N., Leksin V.N. Rol' tekhnologicheskoy modernizacii v formirovanii social'no orientirovannoy ekonomiki i obespechenii ustojchivogo razvitiya rossijskoj Arktiki [The role of technological modernization in the formation of a socially oriented economy and ensuring the sustainable development of the Russian Arctic]. *MIR (Modernizaciya. Innovacii. Razvitiye)* [MID (Modernization. Innovations. Development)], 2017, vol. 8, no. S4 (32), pp. 629-639. doi: 10.18184/2079-4665.2017.8.4.629-639. (In Russian).
 13. Upravlenie riskami tekhnogennyh katastrof i stihijnyh bedstvij [Risk management of technogenic and natural disasters]. Ed. M.I. Faleev. Moscow, GOCS Publ., 2016, 270 p. (In Russian).
 14. Frumin G.T. Tekhnogennyye sistemy i ekologicheskij risk [Technogenic systems and environmental risk]. St. Petersburg, Speclit Publ., 2016, 136 p. (In Russian).
 15. Hvastova M.S. Vliyanie opasnyh prirodnyh processov i yavlenij na bezopasnost' hozyajstvennoj deyatel'nosti v Arkticheskoy zone RF [Influence of dangerous natural processes and phenomena on the safety of economic activity in the Russian Arctic]. *Rossiyskaya Arktika* [Russian Arctic], 2020, no. 12, pp. 5-22. doi: 10.24412/2658-4255-2021-1-05-22. (In Russian).

УДК 550.46

DOI: 10.24412/2658-4255-2021-4-17-27

Для цитирования:

Е.И. Котова, И.И. Василевич,
К.В. Ромашова,
А.С. Красавина Состав
снежного покрова островов
Баренцева и Карского морей
// Российская Арктика. 2021.
№ 15. С. 17–27

Получена: 09.07.2021




Принята: 23.10.2021

Опубликована: 09.11.2021



Статья распространяется
в полнотекстовом формате на
условиях лицензии Creative
Commons Attribution 4.0

СОСТАВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ОСТРОВОВ БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ

Е.И. Котова¹ , И.И. Василевич² , К.В. Ромашова³ ,
А.С. Красавина⁴

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва;
esopp@yandex.ru

² Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт,
г. Санкт-Петербург; ii.vasilevich@gmail.com

³ Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт,
г. Санкт-Петербург; romashova.kv@hotmail.com

⁴ Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу
загрязнения окружающей среды, г. Архангельск; oisps801@arh.ru

Аннотация: В работе проведено обобщение и статистический анализ материалов исследования состава снежного покрова островов Баренцева (о. Западный Шпицберген, о. Хейса, о. Колгуев) и Карского (о. Визе, о. Голомянный, о. Тройной) морей за 2005–2019 гг. Выявлена значительная межгодовая изменчивость содержания веществ в снежном покрове. Определено, что морской аэрозоль оказывает основное влияние на состав снежного покрова удаленных островных территорий. Концентрации хлоридов и ионов натрия увеличиваются в снежном покрове островов северной части Баренцева и Карского морей с запада на восток. Результаты расчета коэффициентов обогащения снежного покрова сульфатами показали, что сульфаты преимущественно поступают на данную территорию в составе морских аэрозолей. Отмечены случаи закисления талой фазы снежного покрова на о. Западный Шпицберген. Проведенный анализ показал отсутствие в снежном покрове о. Западный Шпицберген фосфатов, а среднее содержание фторидов соответствует уровню фоновых концентраций этого элемента в атмосферных осадках прибрежных морских районов. На о. Хейса отмечено присутствие в снежном покрове ионов предположительно терригенного происхождения. В снежном покрове прибрежных островов Баренцева моря (о. Колгуев) наблюдается увеличение содержания форм азота и сульфатов вследствие переноса загрязнения от антропогенных источников, расположенных на Европейской части России.

Ключевые слова: снежный покров, арктические острова, Баренцево море, Карское море, остров Шпицберген, остров Колгуев, остров Хейса

CHEMICAL COMPOSITION OF SNOW COVER OF THE BARENTS AND KARA SEAS ISLANDS

E.Kotova¹, I. Vasilevich², K. Romashova³, A. Krasavina⁴

¹ P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Moscow

^{2,3} Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg

⁴ Northern Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Arkhangelsk

Abstract: The paper presents the results of generalization and statistical analysis of data on the snow cover composition of Barents (West Svalbard Island, Hayes Island, Kolguev Island) and Kara (Vize Island, Golomyanny Island, Troynoy Island) seas for 2005–2019.

A significant interannual variability in the snow cover chemical composition was revealed. Sea aerosols have the main effect on the mineralization of the snow cover. The content of chlorides and sodium ions in the snow cover of the islands increases from west to east. According to the results of calculating the enrichment coefficients of the snow cover, sulfates enter this territory as part of sea aerosols. Acidification cases of the thawed snow are noted on the West Spitsbergen Island. The analyses show the absence of phosphates in the snow cover of West Spitsbergen. The average content of fluorides corresponds to the level of background concentrations of this element in atmospheric precipitation in coastal sea areas. Ions of presumably terrigenous origin are noted in the snow cover of Hayes Island. Increased nitrogen forms, sulfates observed in the snow cover of the coastal islands of the Barents Sea (Kolguev Island) due to the transfer of pollution from anthropogenic sources located in the European part of Russia.

Keywords: snow cover, arctic islands, Barents Sea, Kara Sea, Svalbard, Kolguev Island, Hayes Island

Введение

Проблема загрязнения окружающей среды арктических территорий привлекает внимание ученых уже не одно десятилетие [1-5]. На данный момент эта проблема все еще недостаточно изучена. Арктические территории, особенно труднодоступные арктические острова, долгое время считались «эталоном чистоты». Детальное изучение объектов природной среды Арктики показало наличие в них веществ антропогенного происхождения, несмотря на удаленность от промышленных источников. Связано это с тем, что на территории Арктики происходит разгрузка воздушных потоков от тех загрязнений, которые они накопили в среднеширотных районах [1, 3]. Размещение в Арктике антропогенных источников в результате ее социально-экономического развития (например, свинцово-цинкового минерально-сырьевого центра на архипелаге Новая Земля) [6] может увеличить антропогенную нагрузку на арктические экосистемы. В связи с развитием Северного морского пути, значительное влияние на загрязнение атмосферного воздуха в арктическом регионе оказывают морские суда. Так, например, исследования [2] показали, что присутствие судов способствует увеличению концентрации в атмосферном аэрозоле не только микроэлементов, но и ионов кальция, калия, сульфатов.

Условия протекания биохимических процессов в Арктике очень специфичны. Островная суша находится под сильным воздействием океана. В районе встречи Трансарктического и Северо-Атлантического течений зарождаются циклоны, которые перемещаются на восток от Исландии вдоль границы полярных льдов, постепенно отдавая тепло и влагу [7]. Вследствие этого на западном побережье острова Шпицберген количество атмосферных осадков составляет 400 мм/год, восточнее на Земле Франца-Иосифа – уже 200-300 мм/год, еще далее к востоку на Северной Земле – 100-200 мм/год. Влияние морских вод не ограничивается переносом тепла и влаги. С воздушными массами переносятся морские аэрозоли, в большей степени состоящие из растворимых солей, которые активно вымываются осадками и накапливаются в снежной толще. Согласно результатам наблюдений Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (АНИИ) [8] на водосборе залива Грен-фьорд

о. Западный Шпицберген в ионном составе снежного покрова преобладают в основном хлорид-ионы, ионы натрия и сульфаты. От большинства арктических островных территорий о. Западный Шпицберген отличается наличием значимого антропогенного источника – предприятий угледобывающей промышленности. На территории поселка Баренцбург и в его окрестностях Северо-Западным филиалом НПО «Тайфун» в снежном покрове обнаружены нефтяные углеводороды, пестициды, полихлорбифенилы, а также некоторые тяжелые металлы (свинец и кадмий) [9].

Снежный покров в качестве объекта исследования выбран в первую очередь потому, что его состав может рассматриваться в качестве интегрированной характеристики загрязнения атмосферы за период снегозалегаания. Снежный покров, как естественный планшет, накапливает в своей толще атмосферные выпадения (сухие и влажные) за весь зимний период. В результате, концентрации загрязняющих веществ в снежном покрове выше, чем в атмосферном воздухе. Это позволяет проводить наблюдения и анализ проб достаточно простыми методами и с высокой степенью надежности. По материалам [4] в приземной атмосфере западной части Российской Арктики в период полярной ночи наблюдаются максимальные суммарные концентрации ионов в атмосферном воздухе. Поэтому использование данных о составе снежного покрова в качестве источника информации о загрязнении атмосферы рассматриваемой территории вполне обосновано.

Цель исследования: проследить особенности формирования снежного покрова арктических островов с учетом их физико-географических особенностей.

Объект и методы исследования

Объектом изучения является снежный покров арктических островов, расположенных в Баренцевом и Карском морях. Проведено обобщение и сравнение данных состава снежного покрова, полученных в результате исследований ФГБУ Арктический и Антарктический научно-

исследовательский институт (ААНИИ, г. Санкт-Петербург) на водосборе залива Грен-фьорд (о. Западный Шпицберген) и ФГБУ «Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (Северное УГМС, Архангельск) на о. Хейса архипелага Земля Франца-Иосифа (обсерватория имени Эрнста Кренкеля), о. Визе, о. Голомянный архипелага Седова, о. Тройной архипелага Острова Известий ЦИК, о. Колгуев (станции Северный Колгуев и Бугрино) (рис. 1) за период 2005–2019 гг.

Отбор и анализ проб снежного покрова осуществлялся в соответствии с [10–15] один раз в год в период максимального накопления влагозапаса в снеге (май – июнь). Проба снежного покрова состояла

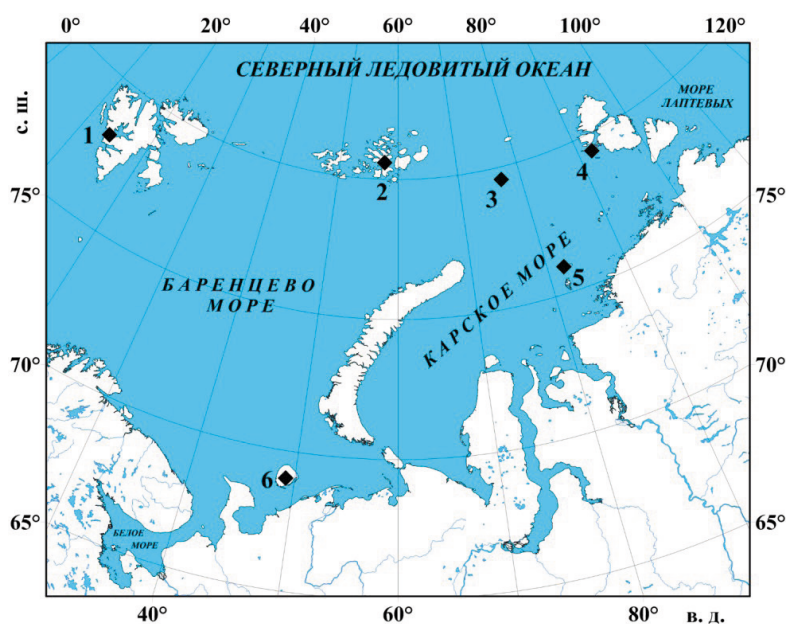


Рисунок 1 – Районы отбора проб: 1 – о. Западный Шпицберген, 2 – о. Хейса арх. Земля Франца-Иосифа, 3 – о. Визе, 4 – о. Голомянный арх. Седова, 5 – о. Тройной арх. Острова Известий ЦИК, 6 – о. Колгуев (метеостанции Северный Колгуев и Бугрино).

из отдельных кернов снега, отобранных на выбранном участке. Керны снега отбирались весовым снегомером. Количество кернов снега в пробе определялось на месте исходя из условий получения общего объема воды в одной пробе не менее 2.5 дм³. Каждый керна снега вырезался на полную глубину снежного покрова, но так, чтобы не происходил захват частиц грунта. Отбор проб снежного покрова на о. Западный Шпицберген проводился на расстоянии 7-17 км от поселка Баренцбург. Растапливание снега осуществлялось при комнатной температуре с фильтрованием в момент растапливания снега. Для фильтрования использовались фильтры «синяя лента» и «белая лента» (о. Западный Шпицберген). Далее фильтрат отправлялся в лабораторию для анализа. В пробах, отобранных на о. Западный Шпицберген, в лаборатории Российского научного центра на арх. Шпицберген АНИИ методом ионной хроматографии определяли нитраты, хлориды, сульфаты, нитриты, фосфаты, фториды, бромид, ионы аммония, калия, магния, кальция. Содержание гидрокарбонат-ионов рассчитывали из концентраций неорганического углерода, измеренного на анализаторе ТОС (Shimadzu, Япония). В пробах, собранных на других островах, в Центре по мониторингу загрязнения окружающей среды ФГБУ «Северное УГМС» определялись значения водородного показателя, удельной электропроводимости (УЭП), методом ионной хроматографии на хроматографе Dionex ICS-900 (США) измерялись концентрации нитрат-ионов, хлорид-ионов, сульфат-ионов, ионов аммония, калия, магния, кальция.

Проведен расчет основных статистических показателей и корреляционный анализ данных, который включал построение матриц коэффициентов парной корреляции (КК) между концентрациями веществ в пробах снежного покрова в пределах одной станции.

Для определения вклада различных источников в загрязнение снежного покрова отдельных станций рассчитаны коэффициенты обогащения [7, 16]. Расчет коэффициента обогащения талой фазы снежного покрова элементами по отношению к атмосферным осадкам над океаном для анионов проводился по отношению к хлоридам, для катионов – к иону натрия по формуле:

$$КО = \frac{C_{эл} / C_{Cl-(Na^+)}}{M_{эл} / M_{Cl-(Na^+)}} \quad (1)$$

где КО – коэффициент обогащения,

$C_{эл}$, $C_{Cl-(Na^+)}$ – концентрация рассматриваемого иона и хлорид-иона (иона натрия) в талой фазе снежного покрова на станции,

$M_{эл}$, $M_{Cl-(Na^+)}$ – концентрация рассматриваемого иона и хлорид-иона (иона натрия) в атмосферных осадках над океаном [7].

Принято считать, что коэффициент обогащения от 1 до 10 свидетельствует о морском происхождении элемента, больше 10 – о наличии дополнительного источника поступления элемента в воздушную среду [17].

Результаты и их обсуждение

Статистический анализ данных показал, что состав снежного покрова островных территорий имеет значительную межгодовую изменчивость, о чем свидетельствуют высокие значения среднеквадратичного отклонения (табл. 1). Это может говорить о многофакторности процессов формирования ионного состава снега, при этом влияние факторов непостоянно.

Данная особенность была определена ранее для снежного покрова прибрежных территорий западного сектора Арктики [18].

Таблица 1

Характеристики снежного покрова

Показатель	о. Западный Шпицберген	о. Хейса	о. Визе	о. Голомянный	о. Тройной	Станция Северный Колгуев	Станция Бугрино
pH, ед.рН	$\frac{4.09 - 7.30}{5.85 \pm 0.47}$	$\frac{5.45 - 6.91}{6.33 + 0.46}$	$\frac{5.02 - 6.47}{6.04 + 0.40}$	$\frac{5.87 - 7.19}{6.59 + 0.39}$	$\frac{5.09 - 6.46}{6.05 + 0.46}$	$\frac{5.83 - 6.78}{6.38 \pm 0.33}$	$\frac{5.14 - 7.00}{6.06 \pm 0.52}$
УЭП, мксм/см	$\frac{2.68 - 174.20}{23.2 \pm 5.15}$	$\frac{8.33 - 98.8}{40.3 + 28.8}$	$\frac{10.1 - 307}{76.6 + 105.1}$	$\frac{20.2 - 480}{91.1 + 119}$	$\frac{21.8 - 226}{64.2 + 53.0}$	$\frac{14.2 - 78.7}{42.7 \pm 22.6}$	$\frac{6.65 - 106}{52.1 \pm 28.0}$
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	$\frac{\text{н.о.} - 13.8}{1.69 \pm 1.41}$	$\frac{\text{н.о.} - 5.54}{1.73 + 1.64}$	$\frac{\text{н.о.} - 7.85}{2.15 + 2.46}$	$\frac{\text{н.о.} - 14.4}{2.95 + 3.62}$	$\frac{\text{н.о.} - 6.58}{2.19 + 2.04}$	$\frac{0.56 - 5.62}{2.77 \pm 1.50}$	$\frac{\text{н.о.} - 15.04}{3.71 \pm 4.30}$
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	$\frac{\text{н.о.} - 0.74}{0.17 \pm 0.05}$	$\frac{\text{н.о.} - 13.5}{1.68 + 4.44}$	$\frac{\text{н.о.} - 8.11}{1.18 + 2.26}$	$\frac{\text{н.о.} - 9.3}{0.96 + 2.53}$	$\frac{\text{н.о.} - 7.48}{1.14 + 2.08}$	$\frac{0.1 - 9.05}{2.75 \pm 3.91}$	$\frac{\text{н.о.} - 14.6}{2.17 \pm 4.17}$
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	$\frac{0.11 - 1.19}{0.35 \pm 0.21}$	$\frac{\text{н.о.} - 0.59}{0.13 + 0.18}$	$\frac{\text{н.о.} - 0.19}{0.05 + 0.07}$	$\frac{\text{н.о.} - 2.73}{0.25 + 0.75}$	$\frac{\text{н.о.} - 0.23}{0.06 + 0.07}$	$\frac{0.1 - 3.21}{0.94 \pm 1.10}$	$\frac{\text{н.о.} - 1.50}{0.24 \pm 0.42}$
Cl ⁻ , мг/дм ³	$\frac{0.98 - 15.4}{4.54 \pm 0.80}$	$\frac{0.80 - 24.0}{6.89 + 8.25}$	$\frac{0.22 - 82.7}{18.3 + 28.8}$	$\frac{2.65 - 120.4}{19.9 + 31.1}$	$\frac{4.06 - 63.2}{15.1 + 15.4}$	$\frac{0.97 - 16.8}{7.11 \pm 4.95}$	$\frac{\text{н.о.} - 19.2}{6.93 \pm 6.225}$
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	$\frac{0.87 - 3.84}{1.88 \pm 0.16}$	$\frac{\text{н.о.} - 8.71}{3.70 + 2.78}$	$\frac{\text{н.о.} - 6.10}{2.28 + 1.94}$	$\frac{\text{н.о.} - 19.2}{5.03 + 4.92}$	$\frac{\text{н.о.} - 4.88}{2.30 + 1.52}$	$\frac{\text{н.о.} - 5.38}{3.50 \pm 1.99}$	$\frac{\text{н.о.} - 21.36}{4.04 \pm 6.12}$
Na ⁺ , мг/дм ³	$\frac{\text{н.о.} - 10.72}{3.31 \pm 0.87}$	$\frac{0.29 - 13.0}{4.07 + 4.34}$	$\frac{0.16 - 48.0}{10.1 + 16.0}$	$\frac{0.09 - 64.5}{10.7 + 16.6}$	$\frac{3.00 - 38.00}{8.10 + 9.28}$	$\frac{1.10 - 10.5}{5.03 \pm 2.66}$	$\frac{0.20 - 11.0}{5.08 \pm 3.92}$
K ⁺ , мг/дм ³	$\frac{\text{н.о.} - 13.37}{0.37 \pm 0.26}$	$\frac{0.18 - 6.0}{1.17 + 1.97}$	$\frac{\text{н.о.} - 2.0}{0.61 + 0.67}$	$\frac{0.11 - 2.54}{0.74 + 0.72}$	$\frac{0.14 - 2.10}{0.73 + 0.67}$	$\frac{0.15 - 4.0}{1.11 \pm 1.23}$	$\frac{0.14 - 1.50}{0.49 \pm 0.34}$
Ca ²⁺ , мг/дм ³	$\frac{\text{н.о.} - 12.75}{0.51 \pm 0.17}$	$\frac{\text{н.о.} - 2.61}{1.28 + 0.86}$	$\frac{0.18 - 3.54}{1.37 + 1.19}$	$\frac{\text{н.о.} - 7.55}{2.17 + 2.04}$	$\frac{0.18 - 6.04}{1.51 + 1.57}$	$\frac{0.86 - 2.16}{1.14 \pm 0.43}$	$\frac{0.14 - 6.83}{1.75 \pm 2.25}$
Mg ²⁺ , мг/дм ³	$\frac{\text{н.о.} - 5.15}{0.50 \pm 0.16}$	$\frac{0.25 - 1.95}{0.78 + 0.55}$	$\frac{0.30 - 5.01}{1.33 + 1.54}$	$\frac{0.23 - 3.13}{1.35 + 0.76}$	$\frac{\text{н.о.} - 3.93}{1.31 + 1.02}$	$\frac{0.41 - 1.23}{0.86 \pm 0.30}$	$\frac{0.18 - 1.70}{0.82 \pm 0.45}$

Примечание. В числителе: минимальное – максимальные значения, в знаменателе: среднее арифметическое значение \pm стандартное отклонение.

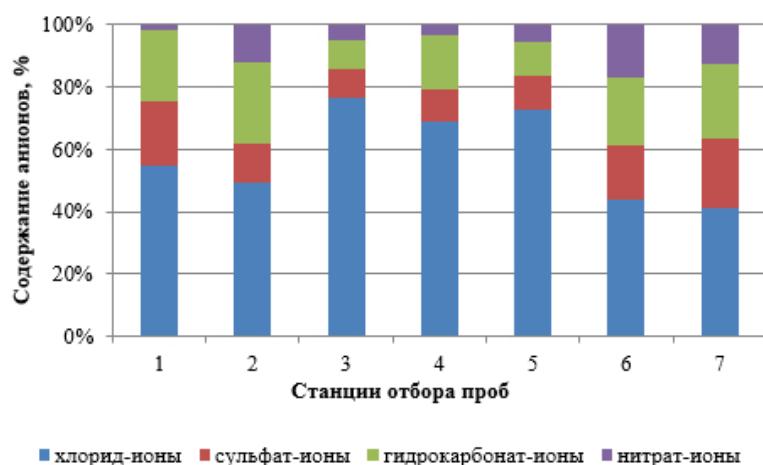


Рисунок 2 – Долевой вклад анионов в состав снежного покрова: 1 – о. Западный Шпицберген, 2 – о. Хейса арх. Земля Франца-Иосифа, 3 – о. Визе, 4 – о. Голомянный арх. Седова, 5 – о. Тройной арх. Острова Известий ЦИК, 6 – станция Северный Колгуев (о. Колгуев), 7 – станция Бугрино (о. Колгуев)

В порядке возрастания абсолютные концентрации ионов в составе снежного покрова исследуемых островов можно расположить следующим образом: Cl⁻ > HCO₃⁻ > SO₄²⁻ > NO₃⁻; Na⁺ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > K⁺. В долевом соотношении (%) концентраций ионов порядок расположения катионов сохраняется, однако долевой вклад анионов отличается (рис. 2). Очевидно, что в составе снежного покрова преобладают хлориды и ионы натрия, что характерно для приморских и островных территорий [7, 16, 19, 20].

Одним из важных показателей исследования атмосферных выпадений в Арктическом регионе является их кислотность. Считается, что незагрязненным атмосферным осадкам соответствует значение 5.6 ед. рН [16]. Средняя величина талой фазы снежного покрова рассматриваемой территории изменялась в диапазоне 5.85-6.59 ед. рН, что несколько выше данного значения.

Случаи закисления снежного покрова исследуемых нами островов наблюдались только на о. Западный Шпицберген, где определен наименьший из средних значений уровень рН – 5.85 ед. рН. В отдельные годы (2012, 2015, 2016 гг.) этот показатель снижался до 4.09-4.79 ед. рН. Максимальное определенное значение уровня рН снежного покрова (7.30 ед. рН) также зафиксировано в пробе, отобранной на о. Западный Шпицберген. Это может свидетельствовать о разнообразии факторов, влияющих на формирование химического состава снежного покрова острова.

В качестве интегральной характеристики химического состава снежного покрова можно рассматривать удельную электропроводимость. Значения УЭП дают первичное представление о загрязнении снега. Снежный покров о. Западный Шпицберген характеризуется низкими значениями УЭП: 23.2 мкСм/см в среднем за рассматриваемый период (2005-2019 гг.). Средние значения содержания ионов (за исключением иона аммония) в снеге Западного Шпицбергена также ниже, чем на остальных островах (см. табл. 1).

Исследование нитрит-ионов, фосфат-ионов, фторид-ионов, бромид-ионов в снежном покрове на о. Западный Шпицберген выявило отсутствие во всех пробах фосфат-ионов. В единичных пробах обнаружено содержание нитрит-ионов (2019 г.) на уровне 0.10 мг/дм³ и бромидов (2007 и 2018 гг.) на уровне 0.17 мг/дм³. Среднее содержание фторидов в снежном покрове о. Западный Шпицберген составило 0.09 мг/дм³. Данное значение соответствует уровню фоновых концентраций этого элемента в атмосферных осадках прибрежных морских районов (0.089 мг/дм³) [21], а значит, содержание фтора на данной территории обусловлено активным переносом аэрозольных форм фтора в составе морского аэрозоля.

Рассчитанные коэффициенты обогащения, позволяющие выявить дополнительный вклад ионов от разных источников в формировании химического состава снежного покрова показали, что в большинстве случаев обогащение снежного покрова сульфатами, ионами магния и калия менее 10 и говорит об их поступлении преимущественно в составе морских аэрозолей. В 2007 г. и 2018 г. значения коэффициента обогащения снежного покрова о. Западный Шпицберген сульфатами были более 10, что свидетельствует о поступлении сульфатов в эти годы не только в составе морских аэрозолей, но и от других источников, в том числе антропогенных.

УЭП снежного покрова на о. Хейса в среднем выше почти в 2 раза, чем на о. Западный Шпицберген: среднее значение составило 40.3 мкСм/см. Уровень рН талой фазы снежного покрова о. Хейса (6.33 ед. рН) выше в сравнении со значениями на других островах севера Баренцева и Карского морей (о. Западный Шпицберген и о. Визе). Наличие на острове птичьих базаров и колоний может быть причиной повышенных концентраций нитратов (1.68 мг/дм³) в снеге данной территории, долевого вклад которых в ионном составе тоже повышен (рис. 2). На о. Хейса отмечено повышенное содержание в снежном покрове гидрокарбонат-ионов (3.70 мг/дм³) и ионов калия (1.17 мг/дм³). Средние значения коэффициента

обогащения снежного покрова ионами кальция здесь выше 10. Скорее всего, происхождение гидрокарбонат-ионов, ионов кальция и калия терригенное и связано с особенностями геологического строения территории. Ландшафт о. Хейса – это холмистая песчаная арктическая пустыня с эрозионным расчленением рыхлых осадочных пород в условиях поднимающейся суши [22]. Вблизи маршрута отбора проходит гряда из базальтовых пород высотой до 10 м. В период формирования снежного покрова в условиях сильных ветров и метелей часть терригенного вещества фиксируется в снежной толще.

На значения УЭП снежного покрова островов Карского моря (о. Визе, о. Голомянный, о. Тройной) помимо хлоридов и ионов натрия оказывают влияние сульфаты (КК – 0.94-0.99). Доля хлоридов в ионном составе снежного покрова этих островов велика (более 60%).

УЭП снежного покрова о. Визе изменяется в широком диапазоне. В 2015 г. значение УЭП равнялось 10.1 мкСм/см. при низких концентрациях в снеге хлоридов (0.22 мг/дм³), сульфатов (0.64 мг/дм³), ионов натрия (0.16 мг/дм³) и калия (0.1 мг/дм³). В 2012 г. значение УЭП составило 307 мкСм/см. В составе снежного покрова были зафиксированы высокие концентрации хлоридов (82.7 мг/дм³), ионов натрия (48.0 мг/дм³), кальция (3.54 мг/дм³), магния (5.01 мг/дм³). Для ионного состава снежного покрова о. Визе характерно низкое содержание аммоний-иона, концентрации которого не превышали 0.19 мг/дм³, и пониженное содержание гидрокарбонат-иона: 2.28 мг/дм³ в среднем за период. Значение коэффициента обогащения снежного покрова о. Визе сульфатами лишь в 2015 году было выше 10 и равнялось 21.

Наибольшее среднее значение УЭП (91.1 мкСм/см) и уровня pH (6.59 ед. pH) получено в пробе снежного покрова на о. Голомянный. Увеличению уровня pH снежного покрова в данной точке (по данным корреляционного анализа) способствуют высокие концентрации гидрокарбонат-ионов (КК – 0.59) и ионов магния (КК – 0.39). В снежном покрове о. Голомянный определено наибольшее содержание хлоридов-ионов (19.9 мг/дм³), гидрокарбонат-ионов (5.03 мг/дм³), сульфат-ионов (2.95 мг/дм³), ионов натрия (10.7 мг/дм³), кальция (2.17 мг/дм³), магния (1.35 мг/дм³). Значения коэффициента обогащения снежного покрова сульфатами не превышали 10.

В снежном покрове о. Тройной архипелага Острова Известий ЦИК определены наименьшие для островов Карского моря средние значения УЭП (64.2 мкСм/см). Средние концентрации хлорид-ионов и ионов натрия составили 15.1 мг/дм³ и 8.10 мг/дм³, соответственно. Наименьшие значения коэффициента обогащения снежного покрова сульфатами также были получены на о. Тройной (не более 3 для каждого года исследований), что свидетельствует об их преимущественно морском происхождении.

Остров Колгуев расположен ближе других рассматриваемых островных территорий к материку с размещенными на нем мощными антропогенными источниками загрязнения атмосферного воздуха. Значения УЭП снежного покрова острова Колгуев, а также содержание хлорид-ионов, ионов натрия и магния в снеге выше, чем на других островах Баренцева моря (о. Западный Шпицберген и о. Хейса), но ниже чем на островах Карского моря (о. Визе, о. Голомянный, о. Тройной). Вместе с тем в снежном покрове острова отмечено повышенное содержание сульфатов (2.77-3.71 мг/дм³), нитратов (2.17-2.75 мг/дм³), ионов аммония (0.24-0.94 мг/дм³). Увеличение доли сульфатов в ионном составе снежного покрова, вероятнее

всего, с переносом загрязняющих веществ с континентальной части России.

Выводы

В ионном составе снежного покрова островов Баренцева и Карского моря преобладающим анионом являются хлориды, катионом – ионы натрия. На рассматриваемой территории значения удельной электропроводимости талой фазы снежного покрова изменяются в широком диапазоне как во времени, так и в пространстве: от 2.68 мкСм/см в 2017 г. на о. Западный Шпицберген до 480 мкСм/см в 2017 г. на о. Голомянный. По данным авторов отмечается рост средних значений УЭП в северной части Баренцева и Карского морей с запада на восток от о. Западный Шпицберген до о. Голомянный. Связано это с увеличением содержания хлоридов и ионов натрия в снежном покрове вследствие переноса морских аэрозолей с незамерзающей части Баренцева моря. Наличие антропогенного источника поступления веществ в атмосферный воздух непосредственно на о. Западный Шпицберген не оказывает явного воздействия на состав снежного покрова территорий острова, удаленных от источника на 7-17 км. Ближе к материку (о. Колгуев) отмечено увеличение содержания в снежном покрове форм азота и сульфатов вследствие влияния континентальных источников. При этом значения УЭП снежного покрова данной территории ниже, чем на островах севера Баренцева и Карского моря.

Таким образом, можно выделить две основные особенности формирования ионного состава снежного покрова островов Баренцева и Карского моря. С одной стороны, прослеживается рост содержания морских ионов в снежном покрове на удаленных островах в зональном направлении. С другой стороны, на состав снежного покрова прибрежных островов оказывает влияние перенос веществ от континентальных источников.

Список литературы:

1. Shevchenko V. The influence of aerosols on the oceanic sedimentation and environmental conditions in the Arctic. *Berichte zur Polar- und Meeresforschung*. 2003. № 464. 149 p.
2. Zhan J., Gao Y., Li W., Chen L., Lin H., Lin Q. Effects of ship emissions on summertime aerosols at Ny-Alesund in the Arctic // *Atmospheric Pollution Research*. 2014. V. 5. P. 500–510.
3. Виноградова А.А. Антропогенный аэрозоль над морями Северного Ледовитого океана: дис. ... д-ра геогр. наук: 25.00.28 / Анна Александровна Виноградова. М., 2004. 218 с.
4. Голобокова Л.П., Ходжер Т.В., Чернов Д.Г., Сидорова О.Р., Хуриганова О.И., Онищук Н.А., Жученко Н.А., Маринайте И.И. Химический состав приземного атмосферного аэрозоля в Баренцбурге (архипелаг Шпицберген) по результатам многолетних исследований // *Лёд и Снег*. 2020. Т. 60. № 1. С. 85-97.
5. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Радионов В.Ф., Чернов Д.Г., Турчинович Ю.С., Лубо-Лесниченко К.Е., Прахов А.Н. Обобщение результатов измерений аэрозольной оптической толщины атмосферы на арх. Шпицберген в 2011–2016 гг. // *Оптика атмосферы и океана*. 2017. Т. 30. № 11. С. 948–955.
6. О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года: указ Президента Российской Федерации № 645 от 26.10.2020 // www.pravo.gov.ru.
7. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: ИЦ «Академия», 2003. 400 с.
8. Третьяков М.В., Голованов О.Ф., Григорьева В.А., Ромашова К.В. Максимальные снегозапасы на водосборе залива Грэн-фьорд // *Современное состояние природной среды архипелага Шпицберген: Коллективная монография [под общей ред. Л.М. Саватюгина]*. СПб: ААНИИ, 2020. С. 183-190.
9. Дёмин Б.Н., Демешкин А.С., Власов С.В., Бажуков К.А. Оценка загрязнения природной среды Архипелага Шпицберген в районе посёлка Баренцбург и сопредельных

- территорий // Современное состояние природной среды архипелага Шпицберген: Коллективная монография [под общей ред. Л.М. Саватюгина]. СПб: ААНИИ, 2020. С. 246-281.
10. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. СПб.: Гидрометеоиздат, 1991. 696 с.
 11. ОСТ 171.5.05–85. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков. М.: Стандартинформ, 2007. 15 с.
 12. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве / Министерство здравоохранения СССР; Главное санитарно-профилактическое управление. М.: ИМГРЭ, 1990. 17 с.
 13. М-02-1805-09. Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов в пробах природной, питьевой и сточной воды методом ионной хроматографии. СПб.: ООО «Аналит», 2009. 18 с.
 14. М-02-2405-13. Методика измерений массовой концентрации общего углерода, общего неорганического, нелетучего (не удаляемого продувкой), органического углерода и общего азота в питьевых, природных (в том числе подземных), сточных и технологических водах с помощью анализатора ТОС (Shimadzu). СПб.: ООО «Аналит», 2013. 15 с.
 15. ФР.1.31.2005.01738 Методика выполнения измерений массовой концентрации катионов аммония, калия, натрия, магния, кальция и стронция в пробах питьевой, столовой, лечебно-столовой, природной и сточной воды методом ионной хроматографии. М.: ЗАО «Аквилон», 2008. 30 с.
 16. Василенко Н.В., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 182 с.
 17. Weller R., Wöltjen Ja., Piel C. et al. Seasonal variability of crustal and marine trace elements in the aerosol at Neumayer station, Antarctica, Tellus B // Chemical and Physical Meteorology. 2008. Vol. 60:5. P 742-752.
 18. Котова Е.И., Шевченко В.П. Влияние дальнего атмосферного переноса на формирование ионного состава атмосферных осадков и снежного покрова прибрежной зоны западного сектора Российской Арктики // Фундаментальные исследования. 2014. № 12-11. С. 2378-2382.
 19. Хайруллина Д. Н. Об изменчивости концентрации хлоридов в атмосферных осадках на Севере русской равнины за 1958-2007 гг. // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2012. Т. 154. № 1. С. 232-240.
 20. Семенец Е. С., Свистов П. Ф., Талаш А. С. Химический состав атмосферных осадков российского Заполярья // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 3. С. 27-36.
 21. Янин Е.П. Фтор в окружающей среде (распространенность, поведение, техногенное загрязнение) // Экологическая экспертиза. 2007. № 4. С. 2-98.
 22. Говоруха Л.С. Ландшафтно-географическая характеристика Земли Франца-Иосифа // Труды ААНИИ. Ленинград, 1968. Т.285: Проблемы полярной географии: сб. ст., посвященный памяти профессора Я.Я.Гаккеля. С. 7-9.

References:

1. Shevchenko V. The influence of aerosols on the oceanic sedimentation and environmental conditions in the Arctic. Berichte zur Polar- und Meeresforschung. 2003. № 464. 149 p.
2. Zhan J., Gao Y., Li W., Chen L., Lin H., Lin Q. Effects of ship emissions on summertime aerosols at Ny-Alesund in the Arctic. Atmospheric Pollution Research, 2014, vol. 5, pp. 500–510.
3. Vinogradova A.A. Antropogennyj aerazol' nad moryami Severnogo Ledovitogo okeana. Diss. dokt. geogr. Nauk [Anthropogenic aerosols over the seas of the Arctic ocean]. М., 2004, 218 p. (In Russian).
4. Golobokova L.P., Khodzher T.V., Chernov D.G., Sidorova O.R., Khuriganova O.I., Onishchuk N.A., Zhuchenko N.A., Marinajte I.I. Himicheskij sostav prizemnogo atmosfernogo aerolya v Barenburge (arhipelag Spitsbergen) po rezul'tatam mnogoletnih issledovanij [Chemical composition of the surface of atmospheric aerosol in Barentsburg (Spitsbergen archipelago) the results of many years research] // Lyod i Sneg – Ice and Snow, 2020, vol. 60, no 1. pp. 85-97. (In Russian).
5. Sakerin S.M., Kabanov D.M., Radionov V.F., Chernov D.G., Turchinovich Yu.S., Lubo-Lesnichenko K.E., Prahov A.N. Obobshchenie rezul'tatov izmerenij aerazol'noj opticheskoy

- tolshchiny atmosfery na arh. Spitsbergen v 2011–2016 gg. [Generalization of the results of measurements of the aerosol optical thickness of the atmosphere on the arch. Svalbard in 2011-2016] Optika atmosfery i okeana – Optics of the atmosphere and ocean, 2017, vol. 30, no 11, pp. 948–955. (In Russian).
6. Russian Federation. Decree of the President of the Russian Federation No. 645 of October 26, 2020, O Strategii razvitiya Arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii i obespecheniya natsional'noy bezopasnosti na period do 2035 goda [On the Strategy for the Development of the Arctic Zone of the Russian Federation and Ensuring National Security for the Period up to 2035]. www.pravo.gov.ru (In Russian).
 7. Dobrovolskiy V.V. Osnovy biogeohimii [Fundamentals of biogeochemistry]. Moscow, IC «Academy», 2003, 400 p. (In Russian).
 8. Tret'yakov M.V., Golovanov O.F., Grigor'eva V.A., Romashova K.V. Maksimal'nye snegozapasy na vodosbore zaliva Gryon-ford [Maximum snow reserves in the catchment area of the Gren Fjord Bay] Sovremennoe sostoyanie prirodnoy sredy arhipelaga Spitsbergen [The current state of the natural environment of the Svalbard archipelago]. St. Petersburg, AARII, 2020, pp. 183-190. (In Russian).
 9. Dyomin B.N., Demeshkin A.S., Vlasov S.V., Bazhukov K.A. Ocenka zagryazneniya prirodnoy sredy Arhipelaga Spitsbergen v rajone posyolka Barenburg i sopredel'nyh territorij [Assessment of pollution of the natural environment of the Svalbard Archipelago in the area of the village of Barentsburg and adjacent territories] Sovremennoe sostoyanie prirodnoy sredy arhipelaga SHpicbergen [The current state of the natural environment of the Svalbard archipelago]. St. Petersburg, AARII, 2020, pp. 246-281. (In Russian).
 10. RD 52.04.186-89. Rukovodstvo po kontrolyu zagryazneniya atmosfery [Guidance document 52.04.186-89. Guidelines for the control of atmospheric pollution]. St. Petersburg, Hydrometeoizdat, 1991. 696 p. (In Russian).
 11. GOST 17.1.5.05–85. Obshchie trebovaniya k otboru prob poverhnostnyh i morskikh vod, l'da i atmosferynyh osadkov [State Standard 17.1.5.05-85. General requirements for sampling of surface and sea waters, ice and atmospheric precipitation]. Moscow, Standartinform Publ., 2007, 15 p. (In Russian).
 12. Metodicheskie rekomendacii po ocenke stepeni zagryazneniya atmosfernogo vozduha naselennykh punktov metallami po ih sodержaniyu v snezhnom pokrove i pochve [Methodological recommendations for assessing the degree of atmospheric air pollution of settlements with metals based on their content in snow cover and soil]. Moscow, IMGREM, 1990. 17 p. (In Russian).
 13. M-02-1805-09. Metodika vypolneniya izmerenij massovoj koncentracii ionov v probah prirodnoy, pit'evoy i stochnoy vody metodom ionnoj hromatografii [M-02-1805-09 Method of measuring the mass concentration of ions in samples of natural, drinking and waste water by ion chromatography]. Saint-Petersburg, "Analit" LLC. Publ., 2009, 18 p. (In Russian).
 14. M-02-2405-13. Metodika izmerenij massovoj koncentracii obshchego ugleroda, obshchego neorganicheskogo, neletuchego (ne udalyaemogo produvkoj), organicheskogo ugleroda i obshchego azota v pit'evykh, prirodnykh (v tom chisle podzemnykh), stochnykh i tekhnologicheskikh vodakh s pomoshch'yu analizatora TOS (Shimadzu) [M-02-2405-13. Method of measuring the mass concentration of total carbon, total inorganic, non-volatile (not removed by purging), organic carbon and total nitrogen in drinking, natural (including underground), waste and process waters using a CBT analyzer (Shimadzu)]. Saint-Petersburg, "Analit" LLC. Publ., 2013, 19 p. (In Russian).
 15. FR.1.31.2005.01738 Metodika vypolneniya izmerenij massovoj koncentracii kationov ammoniya, kaliya, natriya, magniya, kal'ciya i stronciya v probah pit'evoy, stolovoy, lechebno-stolovoy, prirodnoy i stochnoy vody metodom ionnoj hromatografii [Method of measuring the mass concentration of ammonium, potassium, sodium, magnesium, calcium and strontium cations in samples of drinking, canteen, medical-canteen, natural and waste water by ion chromatography]. Moscow, CJSC "Aquilon", 2008. 30 p. (In Russian).
 16. Vasilenko N.V., Nazarov I.M., Fridman Sh.D. Monitoring zagryazneniya snezhnogo pokrova [Monitoring of snow cover pollution]. L.: Gidrometeoizdat, 1985, 182 p. (In Russian).
 17. Weller R., Wöltjen Ja., Piel C. et al. Seasonal variability of crustal and marine trace elements in the aerosol at Neumayer station, Antarctica, Tellus B. Chemical and Physical Meteorology, 2008, vol. 60:5, pp. 742-752.
 18. Kotova E.I., Shevchenko V.P. Vliyanie dal'nego atmosfernogo perenosa na formirovanie ionnogo sostava atmosferynykh osadkov i snezhnogo pokrova pribrezhnoy zony zapadnogo sektora Rossijskoj Arktiki [The influence of long-range atmospheric transport on the formation of the ionic composition of atmospheric precipitation and snow cover in the coastal zone of the western sector of the Russian Arctic] Fundamental'nye issledovaniya

- Fundamental Research, 2014, no 12-11, pp. 2378-2382. (In Russian).
19. Khairullina D.N. Ob izmenchivosti kontsentratsii khloridov v atmosferynykh osadkakh na Severe russkoy ravniny za 1958-2007 gg. [Variability of the concentration of chlorides in atmospheric precipitation in the North of the Russian plain for 1958-2007] Uchenyye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye nauki – Scientific notes of Kazan University. Series: Natural Sciences, 2012, vol. 154, no. 1, pp. 232-240. (In Russian).
 20. Semenets E. S., Svistov P. F., Talash A. S. Khimicheskiy sostav atmosferynykh osadkov rossiyskogo Zapolyar'ya [Chemical composition of atmospheric precipitation in Russian Subarctic] Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering, 2017, vol. 328, no. 3, pp. 27-36. (In Russian).
 21. Yanin E.P. Ftor v okruzhayushchej srede (rasprostranennost', povedenie, tekhnogennoe zagryaznenie) [Fluorine in the environment (prevalence, behavior, technogenic pollution)] Ekologicheskaya ekspertiza – Environmental expertise, 2007, no 4, pp. 2-98.
 22. Govoruha L.S. Landshaftno-geograficheskaya karakteristika Zemli Franca-Iosifa [Landscape and geographical characteristics of the Franz Josef Land Archipelago] Trudy AANII – The works of AARI, 1968, vol. 285, pp. 7-9. (In Russian).

УДК 63, 574

DOI: 10.24412/2658-4255-2021-4-28-39

Для цитирования:

Р.Р. Калитин Современное состояние, проблемы северного домашнего оленеводства и пути их решения // Российская Арктика. 2021. № 15. С. 28–39

Получена: 27.07.2021

Принята: 10.12.2021

Опубликована: 15.12.2021



Статья распространяется в полнотекстовом формате на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ СЕВЕРНОГО ДОМАШНЕГО ОЛЕНЕВОДСТВА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Р.Р. Калитин¹ 

¹ член экспертной комиссии постоянного комитета Государственного Собрания (Ил Тумэн) Республики Саха (Якутия) по вопросам коренных малочисленных народов Севера и делам Арктики, помощник сенатора Российской Федерации от Республики Коми; kalitinr@mail.ru

Аннотация: Северное домашнее оленеводство – вид традиционной хозяйственной деятельности коренных народов Севера. Коренные жители обладают уникальными знаниями, которые дают им возможность вести такую деятельность в суровых условиях Крайнего Севера и сосуществовать с природой в гармонии, сохраняя ее богатства. Сегодня северное оленеводство переживает не лучшие времена. Поэтому сейчас очень важно обеспечить поддержку отрасли, технологически развивать принципы традиционного хозяйствования, которое при гуманном подходе к природе позволит улучшить качество жизни коренного населения. В данной статье рассмотрены вопросы развития северного оленеводства и пути решения проблем.

Ключевые слова: малочисленные народы, коренные народы, оленеводство, Арктика, КМНС

CURRENT STATE, PROBLEMS OF NORTHERN DOMESTIC REINDEER HUSBANDRY AND WAYS TO SOLVE THEM

R.R. Kalitin¹

¹ Member of the expert commission of the committee of the State Assembly (Il Tumen) The Republic of Sakha (Yakutia) on the issues of indigenous peoples and Arctic affairs, assistant to the senator of The Russian Federation from The Komi Republic

Abstract: Northern domestic reindeer husbandry is a type of traditional economic activity of the indigenous peoples of the North. Indigenous people have unique knowledge that gives them the opportunity to conduct such activities in the harsh conditions of the Far North and coexist with nature in harmony, preserving its riches. Today, reindeer husbandry is going through hard times. Therefore, it is now very important to provide support to the industry, technologically develop the principles of traditional management, which, with a humane approach to nature, will improve the quality of life of the indigenous population. This article discusses the development of reindeer husbandry and ways to solve problems.

Keywords: indigenous peoples, arctic, reindeer husbandry

Современная арктическая повестка обеспечивает высокую актуальность темы защиты интересов Российской Федерации в Арктической зоне и выводит задачу развития арктических территорий на передний план, позиционируя ее как самостоятельную проблему, требующую критического анализа и научной проработки.

В этих условиях особое место занимает традиционная экономика коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока. Ее развитие и поддержка позволит сохранить уникальный этнокультурный код коренных малочисленных народов Арктики, их язык, культуру, что является необходимым элементом существования любого этноса. Более того, при должной поддержке со стороны государства традиционная экономика коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока может выступить в качестве эффективного элемента арктической экономической повестки, в первую очередь в части обеспечения локальной продовольственной безопасности, а также в контексте создания новых рабочих мест и кадровой потребности Арктической зоны Российской Федерации.

Создание механизмов развития социально-экономического потенциала коренных малочисленных народов Арктики является одним из приоритетов национальной политики Российской Федерации, что отражено в ряде официальных государственных документов: концепциях и стратегиях, утвержденных Президентом Российской Федерации и Правительством Российской Федерации.

Россия обладает одним из самых больших в мире поголовий северного оленя.

По информации Минсельхоза России (учтенное поголовье): в 2018 г. — 1 019,94 тыс. голов, в 2019 г. — 932,69 тыс. голов, в 2020 г. — 769,05 тыс. голов, в 2021 г. — 837,88 тыс. голов (Таблица 1).

Таблица 1

Учтенное поголовье северного домашнего оленя
(по данным Минсельхоза России)

№	Наименование Субъекта РФ	2021 г. Поголовье северных оленей в СХО, КФХ (ИП) (тыс. голов)
1.	Республика Коми	67,50
2.	Архангельская область	1,32
3.	Ненецкий Автономный округ	150,90
4.	Мурманская область	52,60
5.	Ханты-Мансийский автономный округ	22,80
6.	Ямало-Ненецкий автономный округ	90,00
7.	Республика Бурятия	-
8.	Республика Тыва	1,02
9.	Забайкальский край	3,90
10.	Красноярский край	120,04
11.	Иркутская область	-
12.	Республика Саха (Якутия)	155,36
13.	Камчатский край	43,20
14.	Хабаровский край	-
15.	Амурская область	5,20
16.	Магаданская область	-
17.	Сахалинская область	-
18.	Чукотский автономный округ	124,04
ИТОГО		837,88

По информации органов государственной власти субъектов РФ: в 2018 г. — 1 594,86 тыс. голов, в 2019 г. — 1 496,80 тыс. голов, в 2020 г. — 1 448,99 тыс. голов, в 2021 г. — 1 428,33 тыс. голов (Таблица 2).

Таблица 2

Поголовье северного оленя
(по данным органов государственной власти субъектов РФ)

№	Муниципальное образование	2018 год	2019 год	2020 год	2021 год
Амурская область					
1.	Зейский район	835	855	877	897
2.	Селемджинский	976	1005	1088	912
3.	Тындинский	3736	3899	4154	4274
Всего по региону		5547	5759	6119	6083
Республика Бурятия					
1.	Баунтовский Эвенкийский	306	332	417	421
2.	Окинский	50	50	63	69
3.	Северо-Байкальский	420	428	490	500
Всего по региону		776	810	970	990
Иркутская область					
1.	МО «Катангский район»	38	118	32	34
2.	МО «Нижнеудинский район»	360	381	386	390
Всего по региону		398	403	418	424
Камчатский край					
1.	Быстринский муниципальный район	9837	8194	7971	8476
2.	Карагинский муниципальный район	5212	878	660	3348
3.	Олюторский муниципальный район	13359	14427	14528	15493
4.	Пенжинский муниципальный район	8101	8056	8329	8137
5.	Тигильский муниципальный район	9353	9647	11699	12357
Всего по региону		45862	41202	43187	47811
Республика Коми					
1.	МО ГО «Воркута»	25965	26032	25293	23695
2.	МО ГО «Усинск»	26334	26330	25465	23469
3.	МО ГО «Инта»	31490	32437	31422	36628
4.	МО МР «Ижма»	9128	10352	10114	8223
5.	МО МР «Усть-Цилемский»	726	726	726	696
6.	МО МР «Княжпогостский»	3	0	0	0

№	Муниципальное образование	2018 год	2019 год	2020 год	2021 год
7.	МО МР «Печора»	6	0	2	2
Всего по региону		93652	95877	93022	92713
Красноярский край					
1.	Таймырской Долгано-Ненецкий муниципальный район	105 594	127 507	120 248	119 163
2.	Эвенкийский муниципальный район	2 531	2 065	1 560	1 276
3.	Туруханский район	807	807	700	700
Всего по региону		108 932	130 379	122 508	121 139
Магаданская область					
1.	Северо-Эвенский городской округ	9709	6237	6777	6931
Мурманская область					
1.	Ловозерский район	54199	54274	54534	54774
2.	Кольский район	1062	1062	1062	1071
3.	Печенгский район	675	675	439	439
4.	Ковдорский район	39	41	57	59
5.	Терский район	2138	2180	2239	2368
6.	Оленегорский район	0	0	6	1
Всего по региону		58113	58232	58337	58712
Ненецкий автономный округ					
1.	Муниципальное образование "Канинский сельсовет"	16491	15205	16068	12371
2.	Муниципальное образование "Омский сельсовет"	7349	5443	6113	5724
3.	Муниципальное образование "Пешский сельсовет"	2738	2243	2364	1586
4.	Муниципальное образование "Коткинский сельсовет"	3523	3598	3672	3606
5.	Муниципальное образование "Тиманский сельсовет"	8088	8631	7252	7338
6.	Муниципальное образование "Пустозерский сельсовет"	3271	3138	2844	2907
7.	Муниципальное образование "Малоземельский сельсовет"	9392	10522	9602	9515
8.	Муниципальное образование "Приморско-Куйский сельсовет"	27486	28068	27985	27354
9.	Муниципальное образование "Хорей-Верский сельсовет"	22773	22948	21945	21049
10.	Муниципальное образование "Юшарский сельсовет"	24060	24476	26025	26373
11.	Муниципальное образование "Карский сельсовет"	8207	8789	9030	7994

№	Муниципальное образование	2018 год	2019 год	2020 год	2021 год
12.	Муниципальное образование "Рабочий поселок "Искателей"	27785	26053	24278	24038
13.	Муниципальное образование "Хоседа-Хардский сельсовет"	15972	20091	18521	18332
Всего по региону		177135	179205	175699	168187
Хабаровский край					
1.	Аяно-Майский	496	179	188	229
2.	Охотский	3995	4186	4186	4013
3.	Тугуро-Чумиканский	283	318	300	300
Всего по региону		4774	4683	4674	4542
Сахалинская область					
1.	МО «Городской округ Ногликский»	131	96	95	95
Республика Тыва					
1.	Тоджинский район	3310	1265	1621	2021
2.	Кызылский район	98	142	147	148
Всего по региону		3408	1407	1768	2169
Ханты-Мансийский автономный округ					
1.	Березовский МР всего в том числе:	13229	13230	13745	13764
2.	ГП Игрим	6	0	0	0
3.	СП Саранпауль	13223	13230	13745	13764
4.	Нижневартовский МР всего в том числе:	1490	1503	1531	1462
5.	СП Ларьяк (с. Корлики)	545	530	440	371
6.	ГП Новоаганск (с. Варьеган)	900	900	980	980
7.	СП Аган (пос. Аган)	45	73	111	111
8.	Ханты-Мансийский МР всего в том числе:	80	69	69	67
9.	СП Кышик (с. Кышик)	80	69	69	52
10.	СП Шапша (д. Шапша)	0	0	0	15
11.	Белоярский МР всего в том числе:	13118	12958	16632	12625
12.	СП Казым (с. Казым, д. Нумто, д. Юильск)	13118	12958	16632	12625
13.	Сургутский МР всего в том числе:	6222	5465	5491	5478
14.	СП Русскинская (д. Русскинская)	4504	3833	3849	3850
15.	СП Нижнесортымский	754	750	745	743
16.	СП Сытомино (с. Сытомино)	230	225	225	220

№	Муниципальное образование	2018 год	2019 год	2020 год	2021 год
17.	СП Ульт-Ягун (пос. Тром-Аган)	609	530	543	530
18.	ГП Федоровский	0	12	12	0
19.	ГП Лянтор (г. Лянтор)	125	115	117	135
20.	ГО Покачи (г. Покачи)	5	0	0	0
21.	ГО Когалым (г. Когалым)	526	510	495	495
22.	Кондинский М.Р. всегов том числе:	0	8	0	0
23.	СП Мулымья (с. Шаим)	0	8	0	0
24.	ГО Урай (г. Урай)	0	0	0	2
Всего по региону		34670	33743	37963	33893
Чукотский автономный округ					
1.	Анадырский муниципальный район	46126	39562	36052	33497
2.	Билибинский муниципальный район	20143	16935	17110	18874
3.	Городской округ Эгвекинот	48678	48942	45346	41052
4.	Провиденский городского округа	2510	2200	2347	2161
5.	Городской округ Певек	27630	27867	24490	22306
6.	Чукотский муниципальный район	9829	7312	6982	7262
Всего по региону		154916	142818	132327	125152
Республика Саха (Якутия)					
1.	Абыйский улус	20	59	79	51
2.	Алданский улус	7 878	7 366	7 410	7 459
3.	Аллаиховский улус	-	-	47	27
4.	Анабарский улус	16 964	17 682	18 050	20 862
5.	Булунский улус	13 351	14 148	14 405	14 564
6.	Верхнеколымский улус	1 386	1 171	1 089	1 007
7.	Верхоянский улус	2 358	2 469	2 983	3 073
8.	Горный улус	253	57	-	-
9.	Жиганский улус	2 779	2 931	2 688	2 690
10.	Кобяйский улус	7 168	6 371	6 427	6 694
11.	Момский улус	10 872	10 997	11 614	11 794
12.	Нерюнгринский улус	6 047	6 204	6 393	6 488
13.	Нижнеколымский улус	18 317	13 094	15 167	15 700
14.	Оймяконский улус	10 270	7 677	8 303	8 227
15.	Олекминский улус	5 940	5 911	5 131	5 123
16.	Оленекский улус	4 591	5 016	5 287	5 264
17.	Среднеколымский улус	1 379	1 371	1 431	1 473

№	Муниципальное образование	2018 год	2019 год	2020 год	2021 год
18.	Томпонский улус	7 543	6 060	6 434	6 753
19.	Усть-Майский улус	571	649	332	400
20.	Усть-Янский улус	22 456	24 203	25 679	26 934
21.	Хангаласский улус	10	12	5	12
22.	Эвено-Бытантайский улус	14 477	13 137	13 114	12 882
Всего по региону		154 630	146 585	152 068	157 477
Ямало-Ненецкий автономный округ					
1.	Ямальский район	290 851	235 579	225 457	225 254
2.	Тазовский район	260 418	230 398	254 396	253 033
3.	Приуральский	136 631	140 788	95 062	90 286
4.	Надымский	29 591	27 107	24 991	27 108
5.	Пуровский	35 834	29 087	31 665	30 611
6.	Шурышкарский	22 724	23 319	21 234	21 259
7.	Красноселькупский	2 507	1 645	1 665	1 380
8.	г. Салехард	8 784	1 917	1 780	900
9.	г. Губкинский	730	730	0	0
Всего по региону		788 070	690 570	656 250	649 831
ВСЕГО		1 594 861	1 496 804	1 448 995	1 428 338

Различие данных Минсельхоза России и регионов обусловлено следующими причинами: отсутствием скоординированной работы органов власти, несовершенством системы учета поголовья оленей, отсутствием мотивации частных хозяйств к легализации поголовья северного оленя, а также бытовые причины — образ жизни и обычаи коренных малочисленных народов, не этично спрашивать у оленевода сколько у него оленей.

Таким образом, по информации Минсельхоза России, начиная с 2018 г. поголовье северного оленя снизилось на 182,06 тыс. голов. Кроме того, информация Минсельхоза России не включает численность поголовья частных хозяйств — «оленевопроводов-частников».

Размер федеральной поддержки рассчитывается исходя из заявленного (учтенного) поголовья северного оленя. Так в рамках госпрограммы Минсельхоза России по развитию северного оленеводства, мараловодства и мясного табунного коневодства в федеральном бюджете на эти цели были предусмотрены: в 2018 г. — 507 909,4 тыс. руб., в 2019 г. — 496 152,2 тыс. руб., в 2020 г. — 372 342,5 тыс. руб.

С 2021 года государственная поддержка "северного оленеводства" осуществляется отдельным направлением в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 26 ноября 2020 г. № 1932 «О внесении изменений в приложения № 7 и 8 к Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» на 2021 г. на эти цели предусмотрено 303 431,1 тыс. руб. Таким образом, «оленеководы-частники» в сложившейся системе сельскохозяйственной отрасли, не могут претен-

довать на получение федеральной поддержки.

Российская Федерация имеет огромный потенциал по экспорту продукции оленеводства. В России регионами-экспортёрами оленины (мясо, шкуры) являются Мурманская обл., Ямало-Ненецкий АО, Ненецкий АО. Для сравнения, на сегодняшний день основным экспортёром продукции из оленя в мире является Новая Зеландия (по данным за 2018 г. объем экспорта составил 16 598 тонн, включая 4 466 тонн побочных продуктов оленеводства, на общую сумму 322 млн дол. США. (23,8 млрд руб.) (основные рынки Китай, Германия и США)[2].

Оленеводство – один из основных видов традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов. Оно играет огромную роль для сохранения их культуры и самобытности.

Общая площадь оленьих пастбищ в России составляет 326,9 млн га. [3] Деградация оленьих пастбищ – одна из основных проблем для Ямало-Ненецкого автономного округа и левобережья Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района. Данная проблема вызвана превышением оленеемкости пастбищ.

Опыт Ямала нуждается в отдельном внимании, так в регионе созданы современные убойные комплексы, тундровикам установлена закупочная цена в размере 450 рублей за килограмм мяса высокого качества, на путях кочевий размещены фактории, которые обеспечивают жизнедеятельность кочевого населения, которые также выполняют роль экстренного пункта, магазина, хлебопекарни и как места временного пребывания кочевников.

Для восточной Арктики и регионов Дальнего Востока в вопросе сбыта продукции из оленя характерна проблема сложной логистики, влекущей за собой увеличение конечной цены продукции. В восточной части России деятельность ориентирована, в первую очередь, на наращивание численности поголовья северных оленей, так как в Камчатском крае совсем не ведется племенная работа, в Республике Саха (Якутия), Чукотском автономном округе – весьма ограничено. В связи с этим в некоторых хозяйствах введен мораторий, и не осуществляется убой северных оленей в промышленных целях. Кроме того, хозяйства несут огромную социальную нагрузку, обеспечивая занятость и доходность местного коренного трудоспособного населения.

Несколько лет подряд сохраняется отрицательная тенденция в численности домашних северных оленей. По информации, предоставленной предприятиями-заготовщиками, значительное снижение поголовья домашнего северного оленя связано с причинами разного рода, основная из которых – отсутствие кадров, деградация пастбищ, болезни различной этиологии и травеж хищником (нападение волков и т.п.).

Для примера, на рисунке 1 представлена динамика численности поголовья северного оленя в Эвенкийском муниципальном районе начиная с 2009 г.

По информации МП ЭМР ОПХ «Суриндинский» основная причина такой динамики в Эвенкии – отсутствие кадров и травеж хищником. В соответствии с приказом министерства экологии и рационального природопользования Красноярского края от 31.12.2019 № 77-2185-од на территории Эвенкии в 2020 году проводились мероприятия по регулированию численности волка в количестве 2 377, в том числе в охотничьих угодьях, закрепленных за МП ЭМР ОПХ «Суриндинский» в количестве 400 особей, за 2020 год добыто 14 волков.

Падеж составили олени, подверженные сезонным заболеваниям; а также раненные хищником и не подлежащие лечению. Учтен человеческий фактор, который связан с несвоевременным принятием мер при травеже, падеже и потере поголовья.

В настоящее время основным видом продукции, производимым и реализуемым в оленеводстве, является мясо. Однако перечень видов продукции и сырья, которые можно заготавливать, собирать и успешно реализовывать, достаточно велик. Это непищевые субпродукты, рог, панты, эндокринно-ферментное сырьё, шкуры, кровь. Сегодня используется не более 5% производимого объёма этих товаров, остальное уничтожается или утилизируется, как биологические отходы. При этом, эта небольшая доля реализуемой продукции продаётся, как правило, на экспорт в виде необработанного сырья по крайне низкой цене. Но согласно расчетам экономистов, именно эта продукция, являющаяся сегодня побочной и отправляемая в отходы, может приносить оленеводческим предприятиям значительную часть объёма выручки.

Сегодня профессия «Оленевод» не является престижной, дети кочевников и потенциальные молодые кадры – оленеводы, пройдя обучение на «материке», зачастую уже не стремятся вернуться в родные края и продолжать традиционное хозяйствование. На подобный выбор также влияет отсутствие личных перспектив и суровые условия ведения такой деятельности.

Немаловажное значение для закрепления молодежи в тундре имеет признание труда оленевода. Молодой человек должен быть уверен: оленеводство – почетный и славный труд. И, конечно, за этот тяжелый труд оленеводу полагается достойное материальное обеспечение, жизнь в тепле и уюте хороших квартир и домов со своими семьями.[7]

Оленеводство, являясь подотраслью животноводства, входит в перечень видов традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов, так 15 апреля 2021 г. председатель кабмина Михаил Мишустин утвердил программу государственной поддержки традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов

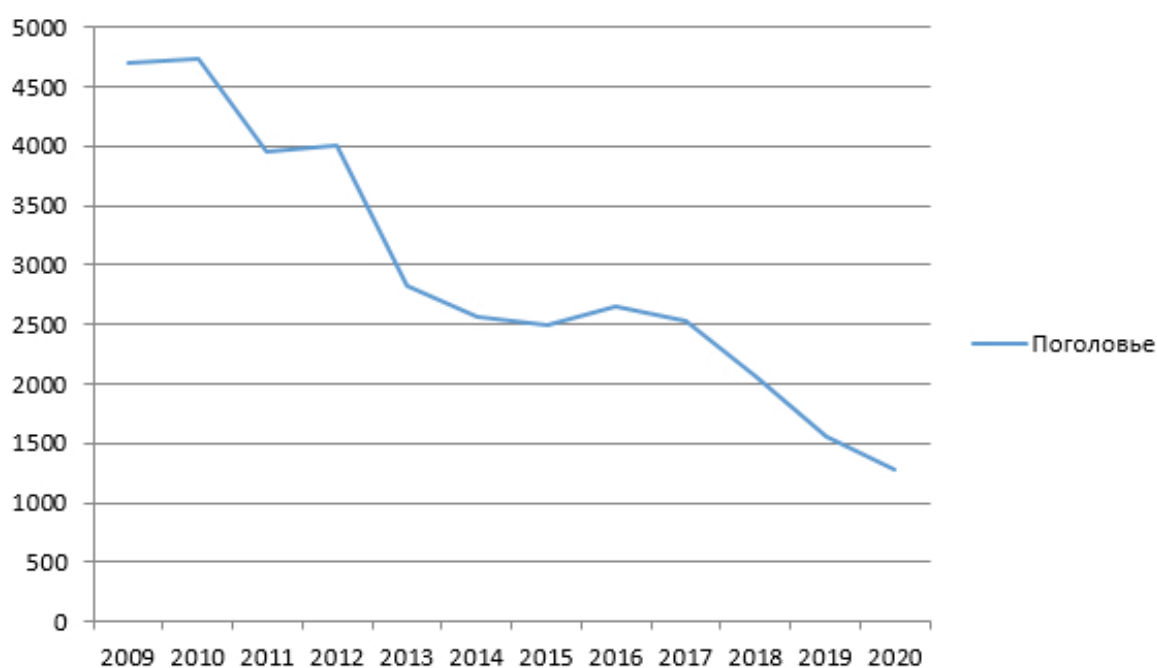


Рисунок 1 – Динамика численности поголовья северного оленя в Эвенкийском муниципальном районе

в Арктике[8]. Минвостокразвития России определен администратором и основным исполнителем программы.

Сегодня существуют хозяйственные субъекты, занимающиеся заготовкой оленьего мяса: АО «Мясопродукты», КФХ «Нельмин-нос, СПК «Ерв» в Ненецком-автономном округе, ПСК «Оленевод» в Воркуте, ООО «Интинское» в г. Инте и многие другие, где также занято местное население, не относящееся к коренным малочисленным народам. Также хочется отметить, что традиционно занимаются кочеванием и выпасом оленя «Коми-ижемцы», но в перечень малочисленных народов такие граждане не входят. Также оленеводство осуществляется не только в Арктической зоне РФ. Исходя из данных фактов, необходимо рассматривать северное домашнее оленеводство отдельно, в качестве отдельной отрасли животноводства.

Несмотря на меры государственной поддержки, оказываемые органами власти субъектов РФ (Таблица 3), проблемой северного оленеводства является отсутствие целенаправленных, скоординированных усилий со стороны всех субъектов хозяйствования, включая власти регионов и соответствующих государственных институтов (Минсельхоза России Минвостокразвития России, Минпромторга России, Минздрава России, Минприроды России и т.п.). То есть отсутствует система управления отраслью «северное оленеводство» (как подотрасли животноводства), что приводит к неравномерному развитию отрасли в регионах, проблемой закрепления земель (пастбищ), невозможности решить проблемы на межрегиональном уровне, отсутствию целенаправленных инвестиций (прежде всего в повышении уровней переработки сырья в продукты более высокого передела), сложностям организации сбыта на внутренний рынок и экспорта продукции за рубеж, развитию «серого» рынка продукции, демпингу со стороны зарубежных покупателей.

В целях сохранения северного оленеводства как отрасли на территории, обеспечения занятости местного населения, сохранения отрасли как важной составляющей жизни коренных народов необходимо:

1. разработать на федеральном уровне отдельную межотраслевую программу по поддержке северного оленеводства, предусмотрев при этом:

Таблица 3

Лидеры – регионы
по поддержке северного домашнего оленеводства
(по данным органов власти субъектов РФ) (тыс.руб.)

№	Субъект РФ	2018 год	2019 год	2020 год	2021 год (утв. бюджет)
1.	Чукотский автономный округ	991 830,1	1 253 935,3	1 189 172,3	1 248 663,0
2.	Ямало-Ненецкий автономный округ	769 383,0	740 085,0	904 078,0	960 442,0
3.	Республика Саха (Якутия)	822 831,23	876 347,76	875 970,95	841 868,10
4.	Камчатский край	238 959,83	246 181,30	315 678,76	300 000,0
5.	Ненецкий автономный округ	247 892,0	276 257,3	225 827,2	286 570,5
6.	Красноярский край	201 003,8	217 836,0	207 804,0	247 868,7

обеспечение адресности государственной поддержки, направленной непосредственно на граждан, ведущих традиционную хозяйственную деятельность, а также на развитие малых форм хозяйствования.

повышение престижа профессии «Оленевода» путем обеспечения дополнительного стимулирования кадров (предоставления жилья, специализированной техники, субсидии на выплату заработной платы), ввод новых видов направлений профессиональной подготовки, направленных на внедрение современных методов, способов ведения хозяйства и переработки продукции,

создание стабильной производственно-хозяйственной деятельности предприятий оленеводства, в том числе по сбыту продукции на внутреннем и внешних рынках, ветеринарному сопровождению,

обеспечение модернизации убойных, перерабатывающих предприятий и логистических центров, в том числе по глубокой переработке продукции оленеводства,

мероприятия, направленные на борьбу с хищниками,

создание современных промежуточных баз на путях калаша, обеспечивающих жизнедеятельность населения, ведущих традиционную хозяйственную деятельность,

разработку мер государственной поддержки и совершенствование законодательства в целях стимулирования легитимации оленеводческих хозяйств («оленеводов-частников»),

проведение исследований в области использования продукции оленеводства для создания здоровьесберегающих, лекарственных, косметических средств, биологически активных добавок, пищевых продуктов общего, лечебно-профилактического назначения и специальной ориентации,

решение вопроса закрепления земель (пастбищ) за хозяйствующими субъектами, а также проведение геоботанических исследований этих земель.

расширение на законодательном уровне возможностей по получению мер государственной поддержки по линии сельского хозяйства и МСП для общин коренных малочисленных народов;

2. предусмотреть дифференцированный подход к поддержке хозяйствующих субъектов, учитывая специфику ведения северного домашнего оленеводства (таежная, горно-таежная, лесотундровая и тундровая).

Список литературы:

1. Федеральный закон от 13 июля 2020 г. № 193-ФЗ «О государственной поддержке предпринимательской деятельности в Арктической зоне Российской Федерации» (Собрание законодательства Российской Федерации, 2020, №9, ст. 4503).
2. At a glance industry statistic [Электронный ресурс] // URL: <https://www.deernz.org/about-deer-industry/nz-deer-industry/deer-industry-statistics/glance-industry-statistics#.YC6SS-gzZPY> (дата обращения 18.02.2020).
3. Структура земельного фонда Российской Федерации и качественное состояние земель [Электронный ресурс] // https://vuzlit.ru/1433937/struktura_zemelnogo_fonda_rossiyskoy_federatsii_kachestvennoe_sostoyanie_zemel (дата обращения 18.02.2020).
4. Минсельхоз РФ запретил травить волков [Электронный ресурс] // <https://www.pravda.ru/news/society/301546-wolves/> (дата обращения 18.02.2020).
5. Минприроды России запретило травить волков ядом [Электронный ресурс] // <https://vtinform.com/news/138/56889/> (дата обращения 18.02.2020).
6. Глубокая переработка продуктов оленеводства: возможности и направления развития [Электронный ресурс] // <https://cyberleninka.ru/article/n/glubokaya-pererabotka->

- produktov-olenevodstva-vozmozhnosti-i-napravleniya-razvitiya (дата обращения 18.02.2020).
7. Почему Камчатская молодежь не хочет работать в оленеводстве? [Электронный ресурс] // <https://kam-kray.ru/news/15161-pochemu-kamchatskaja-molodyozh-ne-hochet-rabotat-v-olenevodstve.html> (дата обращения 18.02.2020).
 8. Распоряжение Правительства РФ от 15 апреля 2021 г. № 978-р «Об утверждении программы государственной поддержки традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов РФ, осуществляемой в Арктической зоне РФ» (Собрание законодательства Российской Федерации 2021, №17, ст.3007)

References:

1. Federal Law No. 193-FZ of July 13, 2020 "On State Support for Entrepreneurial Activity in the Arctic Zone of the Russian Federation" (Collection of Legislation of the Russian Federation, 2020, No. 9, Article 4503).
2. At a glance industry statistical [Electronic resource] // URL: <https://www.deernz.org/about-deer-industry/nz-deer-industry/deer-industry-statistics/glance-industry-statistics#.YC6SS-gzZPY> (accessed 18.02.2020).
3. The structure of the land fund of the Russian Federation and the qualitative state of the land [Electronic resource] // https://vuzlit.ru/1433937/struktura_zemelnogo_fonda_rossiyskoy_federatsii_kachestvennoe_sostoyanie_zemel (accessed 18.02.2020).
4. The Ministry of Agriculture of the Russian Federation banned the poisoning of wolves [Electronic resource] // <https://www.pravda.ru/news/society/301546-wolves/> (accessed 18.02.2020).
5. The Ministry of Natural Resources of Russia banned the poisoning of wolves with poison [Electronic resource] // <https://vtinform.com/news/138/56889/> (accessed 18.02.2020).
6. Deep processing of reindeer products: opportunities and directions of development [Electronic resource] // <https://cyberleninka.ru/article/n/glubokaya-pererabotka-produktov-olenevodstva-vozmozhnosti-i-napravleniya-razvitiya> (accessed 18.02.2020).
7. Why Kamchatka youth do not want to work in reindeer husbandry? [Electronic resource] // <https://kam-kray.ru/news/15161-pochemu-kamchatskaja-molodyozh-ne-hochet-rabotat-v-olenevodstve.html> (accessed 18.02.2020).
8. Decree of the Government of the Russian Federation of April 15, 2021 No. 978-r "On approval of the program of state support for the traditional economic activities of indigenous small peoples of the Russian Federation carried out in the Arctic zone of the Russian Federation" (Legislative Assembly of the Russian Federation 2021, No. 17, Article 3007)

УДК 551.467

DOI: 10.24412/2658-4255-2021-4-40-53

Для цитирования:

Е.У. Миронов, С.В. Клячкин, Е.И. Макаров, А.В. Юлин, Е.В. Афанасьева Особенности ледовых процессов в осенний период 2021 г. в морях Российской Арктики и оценка оправдываемости ледовых прогнозов // Российская Арктика. 2021. № 15. С. 40–53

Получена: 14.12.2021

Принята: 22.12.2021

Опубликована: 24.12.2021



Статья распространяется в полнотекстовом формате на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0

ОСОБЕННОСТИ ЛЕДОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД 2021 Г. В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ И ОЦЕНКА ОПРАВДЫВАЕМОСТИ ЛЕДОВЫХ ПРОГНОЗОВ

Е.У. Миронов¹, С.В. Клячкин¹, Е.И. Макаров¹, А.В. Юлин¹, Е.В. Афанасьева¹

¹ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия
mir@aari.ru; svkl@aari.ru; john143_143@mail.ru; icefor@aari.ru; afanasieva@aari.ru

Аннотация: Выполнен анализ ледовых процессов в осенний период 2021 г., показано, что ледообразование началось во всех российских арктических морях на 5-15 суток позже нормы. Оценка успешности долгосрочных прогнозов сроков ледообразования и достижения толщины льда значений 20-25 см показала, что оправдываемость прогнозов в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском была успешной (100%), неудачными оказались прогнозы только в Чукотском море. Общая оправдываемость ледовых прогнозов в осенний период составила 75%. Выполнена оценка оправдываемости краткосрочных прогнозов типов ледовых условий для 28 районов в акватории СМП. Обобщенные оценки оправдываемости прогнозов ключевых критериев определения типа варьируются в пределах 85-95%, оправдываемости прогнозов типа - 90-95%. В заключении отмечено, что при плавании во льдах кроме общей фоновой информации об ожидаемых тенденциях развития ледовых процессов целесообразно заказывать специализированное ледовое и гидрометеорологическое обеспечение.

Ключевые слова: ледовые процессы, сроки ледообразования, тип ледовых условий, арктические моря, Северный морской путь

SEA ICE PROCESSES IN THE RUSSIAN ARCTIC SEAS IN AUTUMN OF 2021 AND ESTIMATION OF ICE FORECASTS ACCURACY

Ye.U. Mironov¹, S.V. Klyachkin¹, Ye.I. Makarov¹, A.V. Yulin¹, E.V. Afanasyeva¹

¹ Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg, Russia

Abstract: Sea ice processes in the autumn season of 2021 have been analyzed. It is shown that formation of new ice began 5-15 days later than normal in all the Russian Arctic seas. Estimation of long-term forecast accuracy has revealed that dates of freeze-up and reaching ice thickness values of 20-25 cm were predicted successfully in the Laptev and East Siberian seas (100%); prediction was not successful in the Chukchi Sea. The overall accuracy of ice forecasts in autumn season was 75%. The accuracy of short-term forecast of ice conditions type within 28 NSR regions has been estimated. It is shown that the accuracy of forecast of all the key criteria determining sea ice conditions type varied between 85 and 95%; the accuracy of forecast of ice conditions type varied between 90 and 95%. In conclusion, it is noted that, when navigating in ice, it is important to use background information on the expected sea ice tendencies as additional to specialized sea ice and hydrometeorological support.

Keywords: sea ice processes, freeze-up dates, sea ice conditions type, Arctic seas, Northern Sea Route

Введение

Характерной чертой развития ледяного покрова Северного Ледовитого океана (СЛО) в XXI веке является устойчивая тенденция к сокращению площади льдов в океане как в зимний, так и в летний сезон года. Такие глобальные изменения в площади и составе льдов в СЛО не могли не отразиться на ледовых условиях российских арктических морей. Отдельные исследования ледового режима российских арктических морей показывают, что изменения, произошедшие за 15–20 лет, действительно очень значимы [1–4].

Тем не менее безопасность и эффективность судоходства в акватории Северного морского пути (СМП) зависит не только от общего количества льда и продолжительности ледового периода. Существенное влияние на безопасность судоходства оказывают опасные ледовые явления и образования – аномально раннее ледообразование, наличие сплочённых и мощных льдов на трассах, сжатия и повышенная торосистость, концентрация айсбергов и стамух [5].

Ледовые условия являются обобщённой характеристикой в определённом локальном или крупном районе акватории моря. Условия ледового плавания характеризуют ледовую обстановку по маршруту движения судна. Поэтому возможно возникновение сложных условий ледового плавания на фоне лёгких ледовых условий в акватории моря и наоборот.

Это наглядно проявилось в осенний период в середине ноября 2021 г., когда в целом при лёгких ледовых условиях, в акватории СМП попало в ледовый плен около 20 судов различных ледовых классов (Рис. 1). Целью статьи является анализ развития ледовых процессов в осенний период 2021 г. и оценка оправдываемости долгосрочных и краткосрочных ледовых прогнозов.

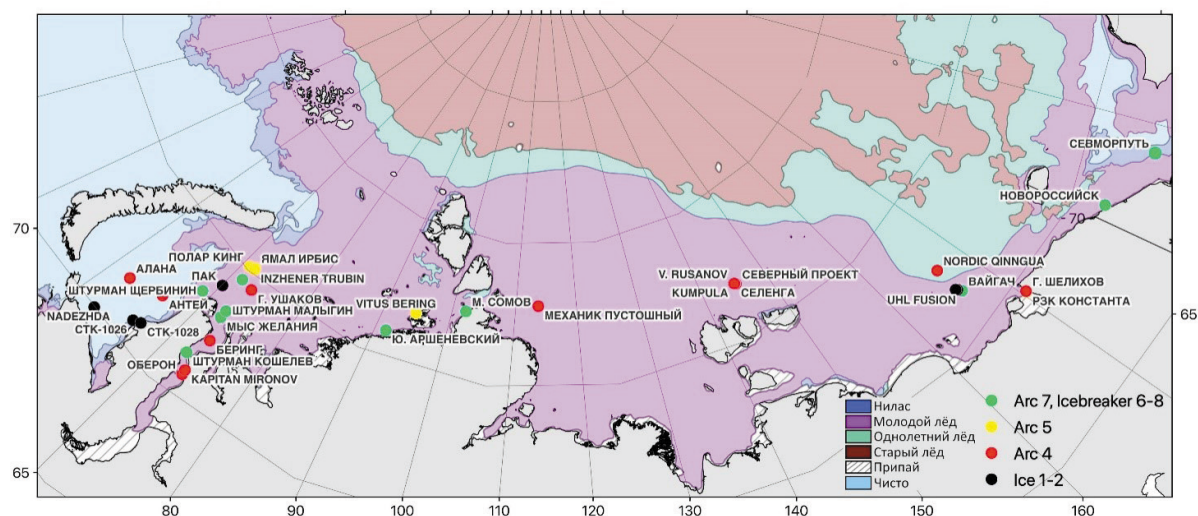


Рис. 1. Положение судов различных ледовых классов в акватории СМП на 16.11.2021 г.

Особенности ледовых процессов в осенний период 2021 г.

В течение года в Арктике отмечалась преобладающая повторяемость воздушных потоков с южной составляющей и формирование во всех месяцах положительных аномалий температуры воздуха. Наиболее высокие среднемесячные значения аномалии температуры отмечались в холодные месяцы года (октябрь-май), а низкие аномалии отмечались в тёплые месяцы (июнь-ноябрь). Западный сектор Арктики внёс наибольший вклад в формирование температурного фона. В нём преобладали наиболее крупные среднегодовые положительные аномалии температуры воздуха. Более низкие значения аномалий сформировались в 2021 г. в восточном секторе.

В акватории СМП в 2021 г. во всех морях преобладал положительный фон температуры воздуха. Наиболее высокие средние годовые значения с положительными аномалиями температуры воздуха до 2-4 °С отмечались в районе морей Карского и Лаптевых, а наиболее низкие в Чукотском море 1-2 °С. По сравнению с 2020 г., понижение температурного фона произошло во всех морях российской Арктики, наибольшее понижение отмечено в Чукотском и Карском морях. Особенно ярко понижение аномалии температуры воздуха произошло в октябре-ноябре 2021 г. (Рис. 2).

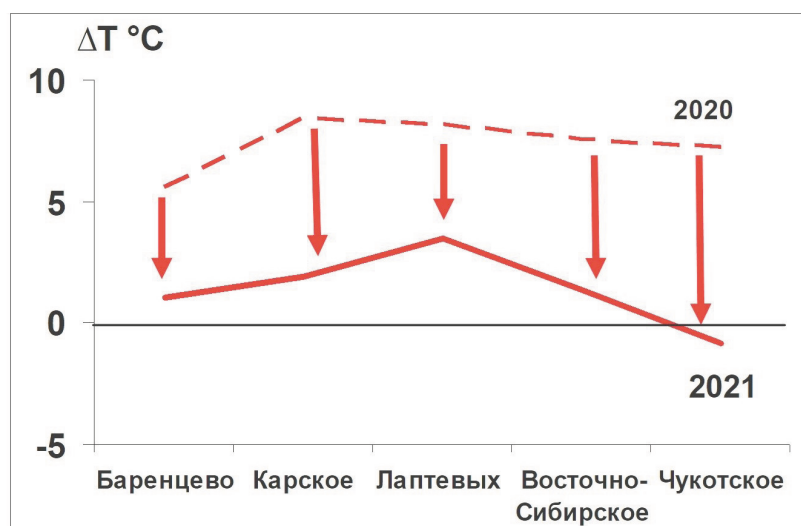


Рис. 2. Средние значения аномалии температуры воздуха (°С) за период октябрь-ноябрь в акватории Северного морского пути в 2021 и 2020 гг.

В соответствии с развитием атмосферных процессов в летний период 2021 г. наблюдалось быстрое и полное очищение акваторий большинства арктических морей – юго-западной части Карского, Лаптевых, западной части Восточно-Сибирского. В некоторых районах морей сохранились остаточные льды, это явилось основной особенностью осеннего сезона 2021 г. В середине сентября остаточные льды сохранялись в трёх районах СМП – в северо-восточной части Карского (23%), восточной части Восточно-Сибирского (23%) и юго-западной части Чукотского моря (6%).

Наличие остаточных льдов способствовало быстрому расходу теплозапаса в этих частях моря, что, в свою очередь, привело к более раннему началу ледообразования. Таким образом, в тех районах морей, в которых наблюдался остаточный лёд в первой декаде октября в сроки, близкие к норме или несколько позже (на 5-10 суток), началось устойчивое ледообразование (Рис. 3 - 4). В остальных районах устойчивое ледообразование началось на 15-20 суток позже нормы.

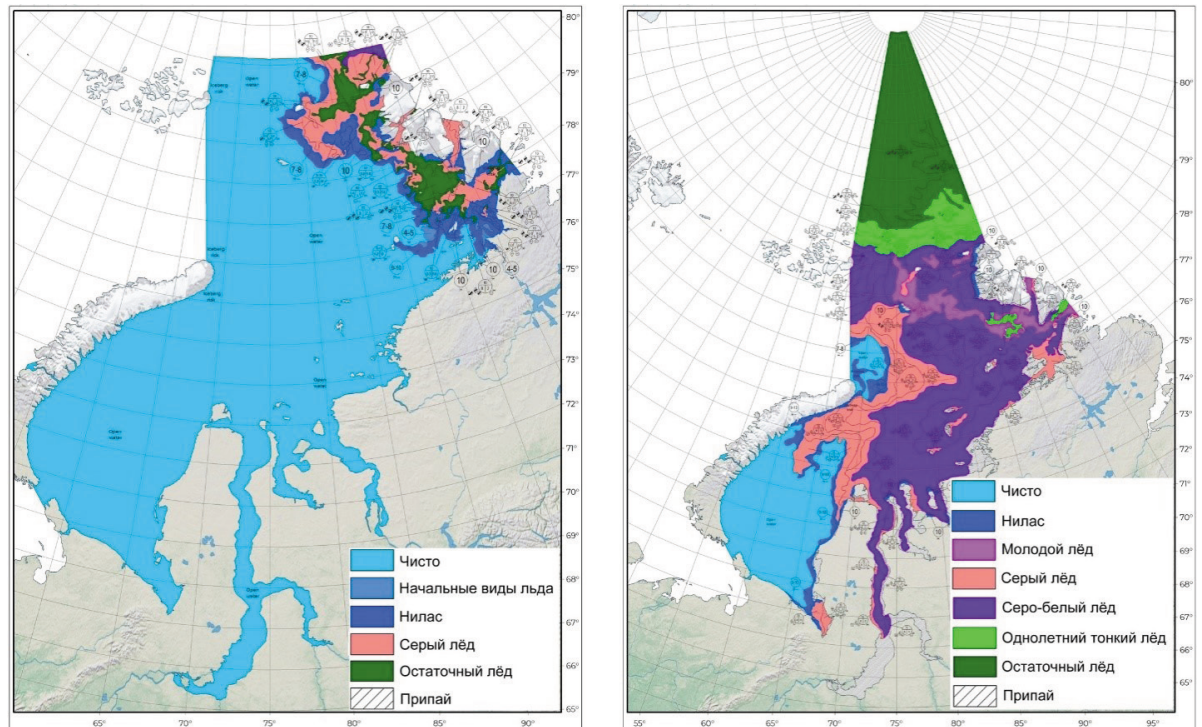


Рис. 3. Процесс нарастания льдов в Карском море 6-8 октября и 14-16 ноября 2021 г.

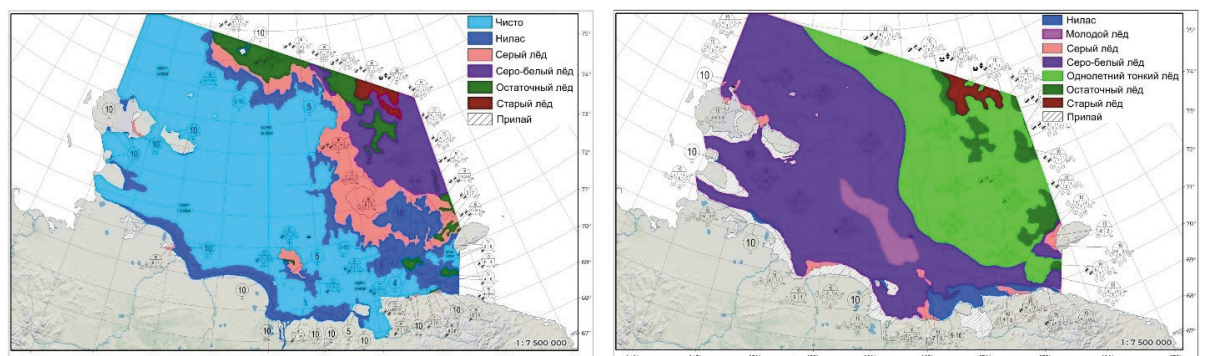


Рис. 4. Процесс нарастания льдов в Восточно-Сибирском море 6-8 октября и 17-19 ноября 2021 г.

В целом в Карском море процесс ледообразования развивался медленно, позже среднемноголетних сроков на 15-20 суток. В октябре льды отмечались только в районе архипелага Северная Земля, где присутствовали остаточные льды (в среднем северо-восточная часть моря полностью замёрзла к 10-15 октября).

В море Лаптевых ледообразование началось в первую декаду октября, что оказалось позже среднемноголетних сроков на 20-25 суток. В октябре льды отмечались только в районе архипелага Северная Земля, где присутствовали остаточные льды. В первой декаде ноября море Лаптевых полностью покрылось льдом.

На северной границе Восточно-Сибирского моря и среди массива остаточных льдов ледообразование началось в конце третьей декады сентября, что на 20 суток позже нормы. В первой декаде октября ледообразование началось вдоль материкового берега, а в третьей декаде октября море полностью покрылось льдом.

В Чукотском море ледообразование началось в первой декаде октября вдоль узкой прибрежной полосы и на северной границе моря, что на 7-10 дней позже среднемноголетних значений. В третьей декаде ноября море полностью покрылось льдом.

Таким образом, по сравнению со среднемноголетними значениями ледообразование во всех морях произошло позже нормы:

- на 7-14 суток в Карском море,
- на 10-15 суток в море Лаптевых,
- на 5-10 суток в Восточно-Сибирском море,
- в Чукотском море вдоль побережья на 1-5 суток, в мористой части (от пролива Лонга до Берингова пролива) – на 15 суток.

Тем не менее сложности возникли у двух десятков судов во второй половине ноября. Это было обусловлено, во-первых, наличием судов низких ледовых классов на трассе (в соответствии с Правилами плавания, суда до класса Arc4 должны быть выведены из акватории СМП до 15 ноября). Во-вторых, при наличии остаточных льдов (это наблюдалось впервые за последние пять лет) и возникновении сжатий во льдах суда испытывают значительные трудности даже при преобладании молодых льдов.

Особенности ледового плавания в осенний период

Ледовый режим – понятие, используемое для информирования судоводителей, и помещается в лоциях. Оно определяет среднемноголетние значения толщины льда естественного термического нарастания и мощности льда – характеристики толщины, формируемой в результате динамических процессов (наслоения и торошения) во льду. Описанная ситуация характерна для районов со сложными навигационно-гидрографическими условиями, именуемых «сложные навигационно-гидрографические районы» (СНГР). Обычно СНГР имеют сложную морфологию береговой черты, морфологию и батиметрию дна. В навигационно-гидрографическом плане СНГР должны быть обеспечены увеличенным объёмом промеров глубин и информацией о судоходной и гидрометеорологической обстановке.

В географическом плане это районы архипелагов Норденшельда, проливы Матиссена, Вилькицкого, Санникова, Дмитрия Лаптева и Лонга. В информационном плане в любой лоции по СНГР имеется утверждение – «... район имеет сложный ледовый режим...». Сложность ледового режима определяется многообразием типов рельефа дна, градиентов глубин, изменчивостью полей атмосферного давления, течений, приливо-отливных проявлений, наличием узких фарватеров (узкостей).

Скорость перемещения льда в узкостях может достигать 1,5-2,5 узлов, это может вызывать формирование «ледяной реки» [5]. Высокие скорости дрейфа льда, его неравномерность и изменчивость приводят к интенсивному торошению льдов и нарастанию их мощности. На Рис. 5 показан дрейф судна к востоку от пролива Вилькицкого, который соответствует приведённым значениям скоростей дрейфа льда.

Лёгкие ледовые условия в конце летнего периода навигации предполагают более поздние сроки ледообразования по сравнению с нормой. Этот сдвиг определяет прохождение самого процесса ледообразования в более динамичных условиях. Известно, что переход от «тёплого» к «холодному» периоду арктической навигации сопровождается усилением температурных контрастов, барических градиентов и, как следствие, усилением динамических процессов в ледяном покрове. Начальные и молодые виды льдов в этот период подвержены большему динамическому воздействию (наслоению), чем обычно, быстрее наращивают свою мощность. В СНГР эти процессы усиливаются в проливах, в районах

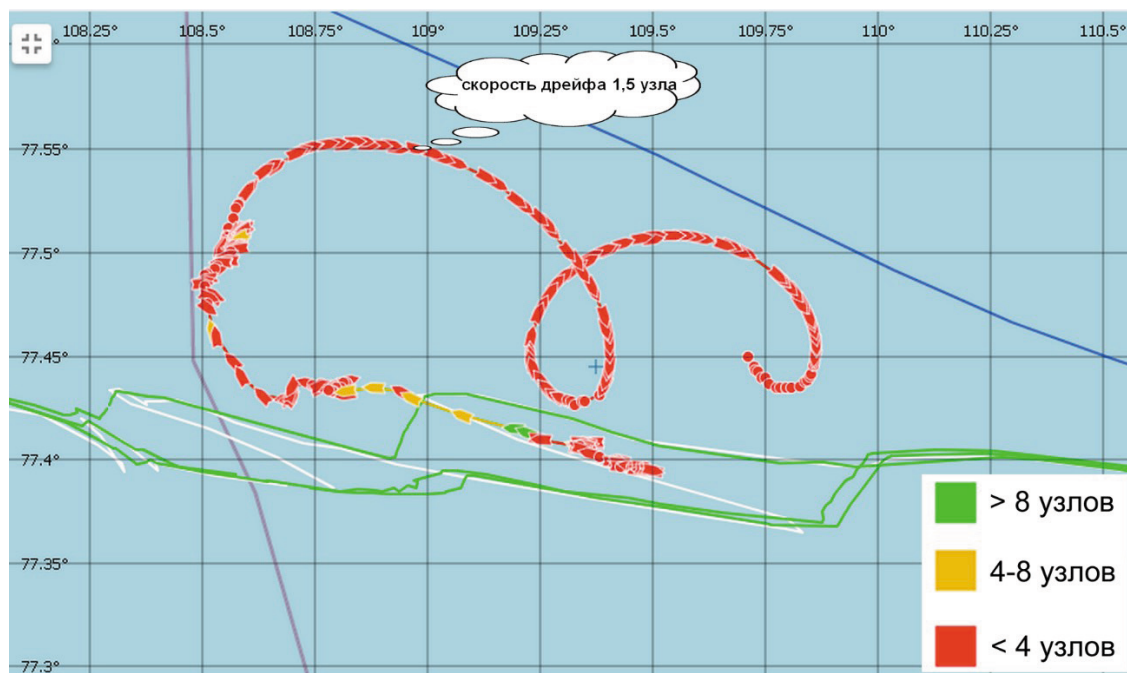


Рис. 5. Траектория дрейфа судна «УНК Flash» к востоку от пролива Вилькицкого 3-5 ноября 2021 г. Цветом показаны скорости дрейфа. Данные были взяты с геопортала «ScanexMaritime», разработанного компанией «СКАНЭКС».

многочисленных островов и подводных препятствий. Появляются стамухи – севшие на грунт ледяные нагромождения. Это, в свою очередь, усиливает неравномерность распределения льда, действие динамических факторов на деформацию ледяного покрова. Результатом описанных процессов является усложнение условий ледового плавания в СНГР при лёгком типе ледовых условий даже в сравнении со средним фоном ледовых условий на начальном этапе устойчивого ледообразования.

Отличительной особенностью ледовых условий плавания в позднесенний период навигации 2021 г. явилось наличие остаточных льдов. Это вызвало повышенное распреснение поверхностных вод указанных районов. Более поздние сроки начала ледообразования пришлись на период интенсивной циклонической деятельности, что, в свою очередь, привело к ускоренному нарастанию мощности молодых льдов за счёт динамических процессов.

Ярким отличием условий ледового плавания от предшествующих навигаций десятилетнего периода явилось наличие устойчивого сохранения прибрежного оптимального варианта плавания в течение всей навигации. Остальные северные СНГР, за исключением районов в море Лаптевых, были блокированы мощными льдами в течение всей навигации. Стандартный прибрежный вариант плавания предполагает необходимость использования судами ледовых классов Arc4 и ниже ледокольной поддержки на начальном и завершающем этапе периода арктической навигации.

Осенний период навигации 2021 г. начался во второй половине октября, при устойчивом ледообразовании в большинстве СНГР. Суда ледовых классов Arc4 и ниже, которые следовали без ледокольного обеспечения, начали испытывать ледовые затруднения. На Рис. 6 и 7 показаны треки судов различных ледовых классов в разных СНГР. Красные и жёлтые отрезки на треках свидетельствуют о низкой скорости движения и соответствуют участкам, на которых суда испытывали затруднения. В первой половине ноября эти суда оказались в ледовом плену.

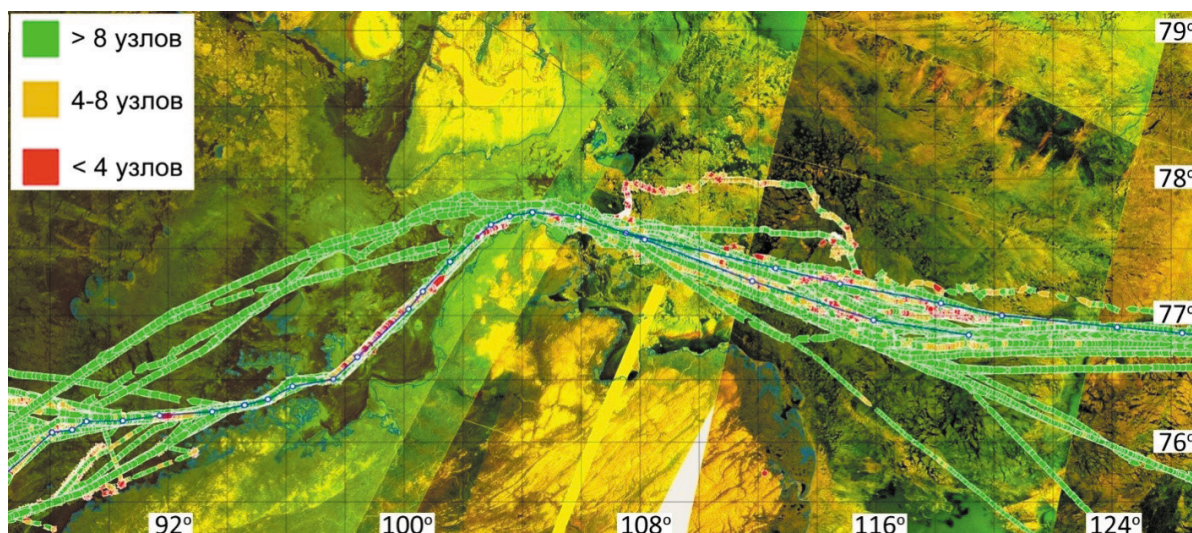


Рис. 6. Условия ледового плавания 28 - 30 октября в проливе Вилькицкого и на подходах к нему. Данные были взяты с геопортала «ScanexMaritime», разработанного компанией «СКАНЭКС».

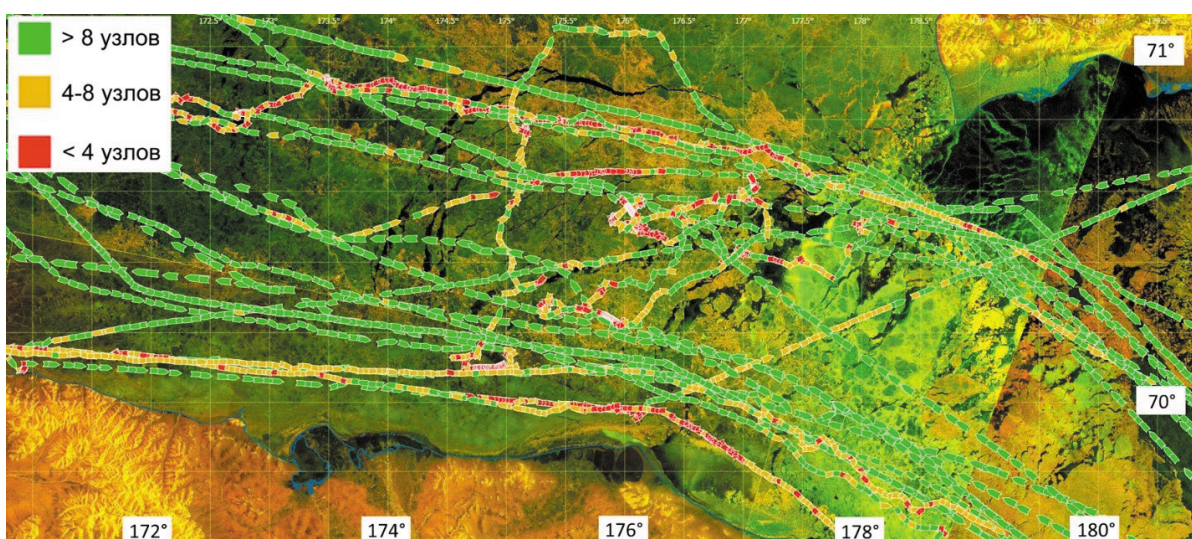


Рис. 7. Условия ледового плавания 28 - 30 октября в проливе Лонга и на подходах к нему. Данные были взяты с геопортала «ScanexMaritime», разработанного компанией «СКАНЭКС».

Долгосрочные ледовые прогнозы и их оправдываемость

В ААНИИ был разработан долгосрочный ледовый прогноз на вторую половину навигации (вторая половина августа – октябрь) в арктических морях 20 августа. Основные прогнозируемые элементы: ледовитость, сроки ледообразования и сроки достижения льдом толщины 20-25 см. Заблаговременность прогнозов – 1,5-3,0 месяца.

Оценка качества прогнозов регламентируется Наставлением [6], в соответствии с которым долгосрочный ледовый прогноз считается оправдавшимся, если прогнозируемая дата наступления ледового явления не отклоняется от фактически наблюдаемой даты на величину более $\pm 0,8\sigma$ (где σ – значение среднеквадратического отклонения ряда наблюдений за явлением). Оценка сроков фактического начала ледообразования проводится на сети станций Росгидромета. В тех случаях, когда по тем или иным причинам наблюдений отсутствуют, оценка явления проводится по снимкам ИСЗ или детализированным ледовым картам. Точность оценки начала ледового явления по снимкам ИСЗ составляет ± 1 сутки, по детализированным ледовым картам ± 2 суток. Использование обзорных карт

для оценки сроков наступления ледовых явлений недопустимо, так как в этом случае ошибка составляет ± 7 суток. В Табл. 1 приводятся фактические даты наступления ледообразования, их прогноз в 2021 г., нормы и оценки оправдываемости прогнозов.

Таблица 1

Прогнозируемые и фактические сроки начала устойчивого ледообразования в осенний период 2021 г. и оценка успешности ледовых прогнозов

Море, полярная станция	Норма	Прогноз ААНИИ	Фактическая дата	Ошибка прогноза	Допустимая ошибка	Оправдываемость прогнозов
Карское						
о. Диксон	6.10	11.10	20.10	-9 суток	7 суток	0
о. Русский	27.09	7.10	3-5.10	+2...4 суток	10 суток	100%
мыс Челюскина	22.09	2.10	3-5.10	-1...-3 суток	8 суток	100%
Средняя оправдываемость по морю						67%
Лаптевых						
о. Андрея	25.09	10.10	10-12.10	0...-2 суток	10 суток	100%
бухта Тикси	4.10	12.10	10-12.10	0...-2 суток	5 суток	100%
мыс Кигилях	1.10	17.10	17-19.10	0...-2 суток	7 суток	100%
пр. Дм. Лаптева	1.10	13.10	10-12.10	+1...3 суток	5 суток	100%
пр. Санникова	4.10	17.10	17-19.10	0...-2 суток	6 суток	100%
Средняя оправдываемость по морю						100%
Восточно-Сибирское						
мыс Шалаурова	30.09	12.10	6-8.10	+4...6 суток	8 суток	100%
о. Четырехстолбовой	4.10	15.10	13-15.10	0...-2 суток	9 суток	100%
мыс Шелагский	6.10	11.10	10-12.10	-1...+1 сутки	8 суток	100%
мыс Биллингса	3.10	13.10	3-5.10	+8...10 суток	10 суток	100%
Средняя оправдываемость по морю						100%
Чукотское						
мыс Шмидта	1.10	26.10	3-5.10	+21...23 суток	7 суток	0
о. Врангеля	7.10	30.10	10-12.10	+18...20 суток	6 суток	0
мыс Ванкарем	6.10	29.10	3-5.10	+24...26 суток	8 суток	0
пр. Лонга	10.10	30.10	24-26.10	+4...6 суток	8 суток	100%
Средняя оправдываемость по морю						25%
Общая оправдываемость прогнозов по всем морям				оправдалось	12 прогнозов	75%
				не оправдалось	4 прогноза	

Как следует из приведённых данных, оправдываемость прогнозов по морям Лаптевых и Восточно-Сибирскому составляет 100%. Прогнозы правильно ориентировали на начало ледообразования в конце первой – начале второй декады октября.

В Карском море оправдываемость прогнозов составила 67%. Прогнозы по восточной части моря и подходы к проливу Вилькицкого (о. Русский, мыс Челюскина) полностью оправдались и правильно ориентировали на начало ледообразования в середине первой декады октября (фактически ледообразование наступило 3-5 октября). Не оправдался прогноз по Диксону, где ожидалось ледообразование 11 октября, а фактически оно произошло 20 октября.

В Чукотском море из четырёх разработанных прогнозов оправдался один, и не оправдались три прогноза. Средняя оправдываемость прогнозов составила 25%. Однако, ошибки прогнозов пришлись на ледообразование вдоль чукотского побережья. Прогноз в мористой части пролива Лонга (в судоходной части) оправдался. Прогнозировалось, что ледообразование вдоль чукотского побережья наступит в третьей декаде октября или на 20-25 суток позже нормы. Ледообразование здесь фактически наступило в первой декаде октября.

Такие значительные ошибки прогноза связаны с локальной перестройкой атмосферных процессов над Врангелевским районом в третьей декаде сентября и к выносу остаточных льдов из Восточно-Сибирского моря в Чукотское море, что привело к более раннему ледообразованию. Такая быстрая перестройка атмосферных процессов не могла быть учтена. При этом за узкой полосой ледообразования шириной 20-30 миль, в центральной части пролива Лонга, как и ожидалось, до конца октября сохранялась чистая вода.

Средняя оценка оправдываемости долгосрочных ледовых прогнозов ледообразования в 2021 г. по всем морям составила 75% (12 оправдавшихся прогнозов и 4 не оправдавшихся).

Кроме прогнозов начала ледообразования, были разработаны прогнозы сроков достижения молодым льдом толщины 20-25 см. Это важный показатель, который существенно ограничивает возможность операций во льдах судов низких ледовых классов (Ice1, Ice2 и Ice3). В Карском море достижение этих сроков ожидалось в период 23-31 октября, в море Лаптевых – в период 24-30 октября, в Восточно-Сибирском море – в период 18-22 октября, в Чукотском море – в период 10-14 ноября.

Как следует из приведённых выше сроков, окончание всех морских операций судов низких ледовых классов необходимо было планировать в морях Карском и Лаптевых в третьей декаде октября, в Восточно-Сибирском море в конце второй декады октября, а в юго-западной части Чукотского моря в начале второй декады ноября.

Все долгосрочные ледовые прогнозы были размещены на официальных сайтах АНИИ и Администрации Северного морского пути (АСМП) в открытом доступе.

Краткосрочные прогнозы типов ледовых условий и их оправдываемость

В рамках обеспечения деятельности АСМП в АНИИ была разработана методика краткосрочного прогноза типов ледовых условий. Методика состоит из двух базовых элементов:

- численная модель эволюции ледяного покрова в арктических морях;

- система критериев для определения типа ледовых условий.

Прогностическая численная модель позволяет прогнозировать пространственное распределение основных параметров ледяного покрова (сплочённость, возрастной состав, толщина, дрейф, сжатия, торошение, разрушенность) арктических и замерзающих неарктических морей РФ с заблаговременностью до 5 суток и с временной детализацией от 1 часа до 1 суток. Все версии модели, адаптированные к арктическим морям, получили одобрение Центральной методической комиссии Росгидромета по гидрометеорологическим прогнозам (ЦМКП) в период 2016-2021 гг.

Система критериев для определения типа ледовых условий, будучи составной частью метода долгосрочного прогноза ледовых условий морей СМП, также получила одобрение ЦМКП Росгидромета в период 2016-2019 гг. Эта система логически вытекает из принципов регламентации плавания судов различных ледовых классов. Регламентация определяется следующими документами:

- «Правила классификации и постройки морских судов» [7];
- «Правила плавания в акватории СМП» [8];
- Международный Полярный Кодекс [9].

В этих документах перечислены все требования к судам, осуществляющим ледовое плавание. В РФ ледовые классы судов регламентируются Российским морским регистром судоходства на основе первого документа из вышеприведённого списка. В частности, в нём указаны предельные ледовые условия, в которых могут осуществлять морские операции суда низких ледовых классов (от Ice1 до Arc4). При самостоятельном плавании эти ледовые условия варьируются от мелкобитых разреженных льдов неарктических морей до разреженных однолетних арктических льдов толщиной не более 0,6-0,8 м. Плавание в канале за ледаколом допустимо при толщинах льда от 0,4 до 0,7-1,0 м.

В соответствии с действующими «Правилами плавания в акватории СМП» [8], все суда низких ледовых классов не имеют права находиться на акватории СМП после 15 ноября. Также, согласно Полярному Кодексу [9], наличие гидрометеорологической и ледовой информации на судах, осуществляющих ледовое плавание, обязательно. Таким образом, принята следующая формулировка критериев оценки типа ледовых условий.

Зимний период:

- тип «Чистая вода»: полное отсутствие льда на оцениваемой акватории;
- тип «Лёгкий»: сумма относительных площадей, занимаемых однолетним средним льдом, однолетним толстым льдом и старым (двухлетним и многолетним) льдом, не превышает 30%;
- тип «Средний»: сумма относительных площадей, занимаемых однолетним средним, однолетним толстым и старым (двухлетним и многолетним) льдом, превышает 30%, при этом на долю 1-летних толстых и старых льдов приходится менее 30%;
- тип «Тяжёлый»: сумма относительных площадей однолетних толстых и старых льдов превышает 30%.

Летний период:

- тип «Чистая вода»: полное отсутствие льда на оцениваемой акватории;
- тип «Лёгкий»: относительная площадь, занимаемая льдом сплочённостью 7 баллов и выше, не превышает 30%;
- тип «Средний»: относительная площадь, занимаемая льдом сплочённостью 7 баллов и выше, составляет более 30%, но менее 60%;

- тип «Тяжёлый»: относительная площадь, занимаемая льдом сплошностью 7 баллов и выше, составляет более 60%.

Технологически прогноз типа ледовых условий осуществляется путем применения приведенных критериев к результату прогностического модельного расчёта.

До октября 2020 г., когда действовала прежняя редакция «Правил плавания по СМП», типы ледовых условий определялись по 7 крупным районам, где каждый район охватывал половину арктического моря. Такая грубая пространственная детализация нередко приводила к парадоксальным ситуациям. Например, летом 2017 г. в районе «юго-западная часть Карского моря» почти половина акватории (сотни тысяч квадратных километров) была свободна ото льда, что фактически давало возможность работать судам низких ледовых классов, однако по району в целом ледовые условия оценивались как «средние», что означало запрет на появление судов низких ледовых классов в данном районе.

В сентябре 2020 г. вступила в силу новая редакция руководящего документа «Правила плавания по Северному морскому пути», и с октября 2020 г. прогнозирование типов ледовых условий осуществляется в соответствии с этим документом. В нём утверждена новая, более детальная «нарезка» регионов, по которым даётся прогноз типов ледовых условий. Вместо прежних 7 крупных районов, установлено 28 районов существенно меньшего размера, что позволило заметно повысить степень пространственной детализации при оценке типов ледовых условий (Рис. 8).

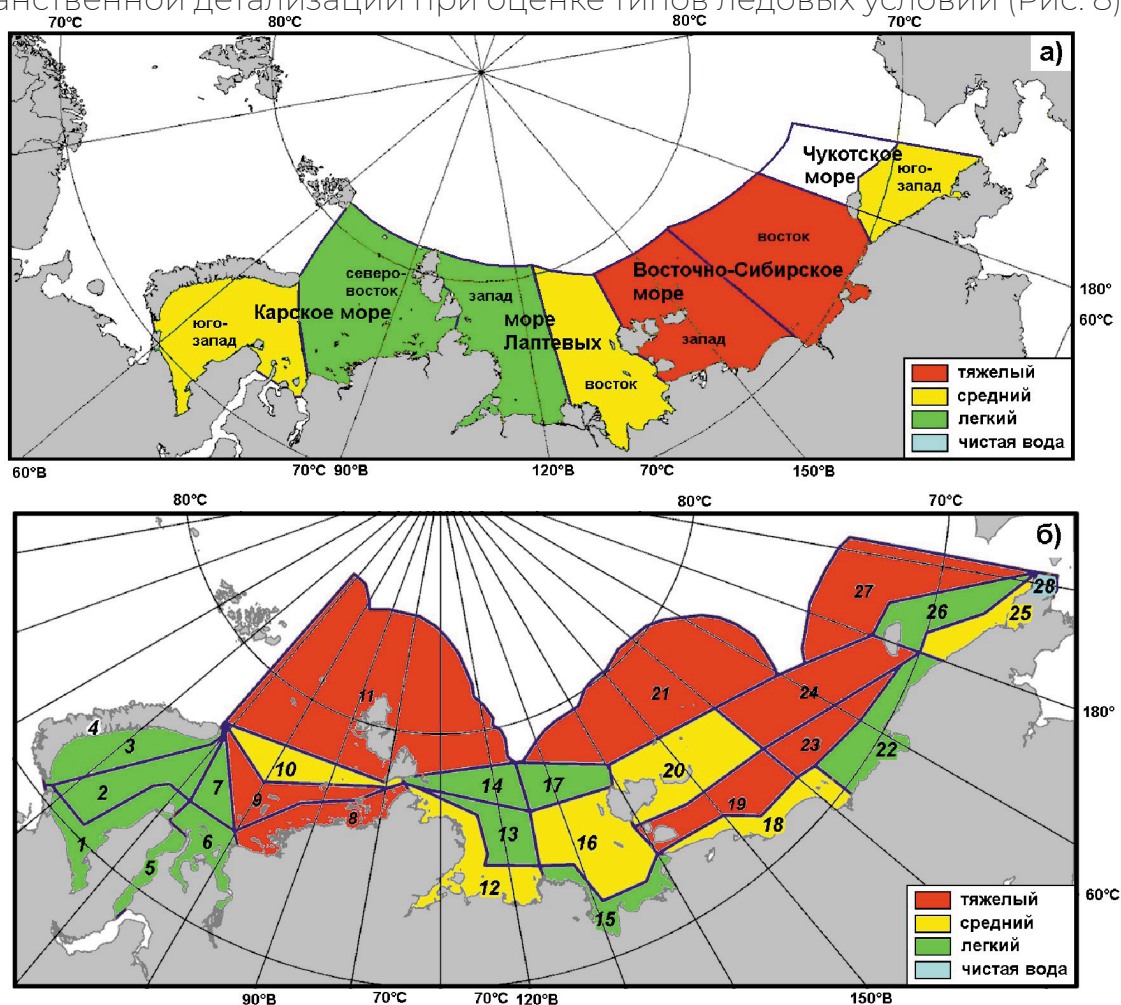


Рис. 8. (а) – Прогноз типов ледовых условий в акватории СМП от 20.07.2020 г. на период до 24.07.2020 (7 «крупных» районов по «старой» версии «Правил плавания...»); (б) – Прогноз типов ледовых условий в акватории СМП от 06.07.2021 на период до 09.07.2021 (28 «малых» районов по «новой» версии «Правил плавания...»).

Необходимо учитывать, что тип ледовых условий в районе с фиксированными границами – это осреднённая характеристика, отражающая преобладающий фон ледовых условий в районе в целом. Очевидно, что в отдельных локальных областях и маршрутах плавления ледовые условия могут заметно отличаться от средних по району.

За период с начала октября 2020 по конец октября 2021 г. в общей сложности составлено 99 прогнозов по Карскому морю, 61 прогноз по морю Лаптевых, 72 прогноза по Восточно-Сибирскому морю и 49 прогнозов по Чукотскому морю. Обобщённые результаты этих прогнозов представлены в Табл. 2 и 3.

Анализ оценки достоверности прогнозов типов ледовых условий позволяет сделать следующие выводы:

1. В целом прогностическая модель эволюции ледяного покрова даёт вполне удовлетворительные результаты. Средние арифметические ошибки прогнозов ключевых критериев определения типа ледовых условий в основном исчисляются долями процента (в худших случаях - до 3-4%), средние абсолютные ошибки – в основном в пределах 2-5%.

Таблица 2

Обобщенные оценки достоверности прогнозов типов ледовых условий и ключевых критериев определения типа в зимний период.

Море	Прогноз площади однолетних средних льдов			Прогноз площади однолетних толстых льдов			Прогноз типа
	Ср. арифм. ошибка, %	Ср. абсолют. ошибка, %	Оправд., %	Ср. арифм. ошибка, %	Ср. абсолют. ошибка, %	Оправд., %	Оправд., %
Карское	-0.3	2.4	84.4	-0.2	0.7	97.4	98.2
Лаптевых	-1.6	2.2	91.2	0.0*	0.1*	100.0*	98.2
В.-Сибирское	-1.6	2.2	94.3	0.0*	0.2*	99.6*	97.1
Чукотское	-0.5	0.8	96.3	0.0*	0.2*	100.0*	97.8

* Примечание: оценки достоверности прогнозов площади однолетнего толстого льда в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском получены на незначительном объеме данных и имеют предварительный характер.

Таблица 3

Обобщенные оценки достоверности прогнозов типов ледовых условий и ключевых критериев определения типа в летний период.

Море	Прогноз общей ледовитости			Прогноз площади сплоченных льдов			Прогноз типа
	Ср. арифм. ошибка, %	Ср. абсолют. ошибка, %	Оправд., %	Ср. арифм. ошибка, %	Ср. абсолют. ошибка, %	Оправд., %	Оправд., %
Карское	3.3	4.4	84.8	0.5	2.6	92.1	96.6
Лаптевых	3.2	5.2	84.3	0.4	2.8	90.3	92.3
В.-Сибирское	4.2	5.7	83.4	-0.6	4.2	87.2	95.5
Чукотское	3.9	4.9	85.4	0.1	3.1	94.7	86.4

Обобщённые оценки оправдываемости прогнозов ключевых критериев определения типа в основном варьируются в пределах 85-95%, оправдываемости прогнозов типа - 90-95%. Прогнозы смены типа в большинстве случаев адекватны. Но даже в тех случаях, когда прогноз смены типа неудачный, ошибки прогноза ключевых критериев в среднем либо находятся в пределах допуска, либо превышают предельно допустимые значения не более, чем на 2-4%. Вместе с тем, в прогностической модели эволюции ледяного покрова присутствует незначительная систематическая ошибка: в летний сезон модель завышает ледовитость в среднем на 3-4%, в зимний сезон – занижает площадь однолетних средних льдов в среднем на 0,5-1,5%. По этой причине ошибки прогноза смены типа ледовых условий, когда «по прогнозу – смена, по факту – сохранение» встречаются примерно в 2 раза реже, чем ошибки «по прогнозу – сохранение, по факту – смена».

2. Используемые в настоящее время критерии определения типов ледовых условий в целом адекватно отражают диапазон изменчивости ключевых параметров ледяного покрова, оказывающих наибольшее воздействие на судоходство. Однако следует отметить, что эти критерии не учитывают ряд параметров ледяного покрова, также имеющих большое значение для судоходства: дрейф и сжатия льдов, нарушения сплошности, торосистость, разрушенность. Включение этих параметров ледяного покрова в систему критериев определения типа ледовых условий является весьма актуальной задачей.
3. Переход от определения типов по 7 крупным районам к 28 районам меньшего размера позволил представлять ледовые условия с гораздо более высокой степенью пространственной детализации. Однако, как представляется, определение типов ледовых условий по районам с фиксированными границами не является единственным возможным вариантом. Было бы целесообразно рассмотреть и другие подходы: определение типов ледовых условий на стандартных вариантах плавания, в ячейках расчётной сетки модели, и другие варианты.

Заключение

В летний и осенний период 2021 г. отмечались лёгкие ледовые условия по сравнению со среднемноголетними значениями. Однако интенсивное нарастание льдов во второй половине ноября и возникновение сжатий среди остаточных льдов привело к значительным сложностям безледокольного плавания, особенно для судов низких ледовых классов.

В целом долгосрочные ледовые прогнозы заблаговременностью 1-3 месяца правильно ориентировали потребителей на более поздние сроки ледообразования, меньшие аномалии ожидалось в северо-восточной части Карского моря и в восточной части Восточно-Сибирского моря, где наблюдались остаточные льды. Средняя оценка оправдываемости долгосрочных прогнозов ледообразования в 2021 г. по всем морям составила 75%.

Необходимо отметить, что при плавании во льдах (особенно в позднеосенний период), кроме общей фоновой информации об ожидаемых тенденциях развития ледовых процессов и ожидаемом типе ледовых условий в целом по одному из 28 районов, целесообразно заказывать у

АНИИ (головной организации Росгидромета по Арктике) специализированное ледовое и гидрометеорологическое обеспечение. Это позволит получать судоводителям комплекс детализированной информации – аннотированный спутниковый снимок, фактическое и прогностическое распределение ледяного покрова, прогноз дрейфа и сжатия льдов, рекомендации по оптимальным вариантам плавания. Такая рекомендация зафиксирована и в международном документе Полярном Кодексе [9].

Список литературы:

1. Думанская И.О. Ледовые условия морей азиатской части России. М.: Изд-во ИГ-СОЦИН, 2017. 640с.
2. 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. 2019. Т. 65. № 3. с. 328–340.
3. 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. 2019. № 220. С 44–60.
4. Егоров А.Г. Летняя кромка льдов и осенние сроки устойчивого ледообразования в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском в период 1981-2018 гг. Снег и лед, том 61, №1, 2021, с. 117-127.
5. Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике. / Под ред. Е.У. Миронова – СПб. Изд. АНИИ. 2010, 320 с.
6. РД 52.27.759-2011 «Наставление по службе прогнозов, раздел 3, часть III, Служба морских гидрологических прогнозов». М. 2011.
7. Правила классификации и постройки морских судов. Часть 1. Классификация, Российский морской регистр судоходства. Санкт-Петербург, 2016, 32 С. ISBN 978-5-89331-302-4
8. Правила плавания в акватории Северного морского пути. Постановление Правительства Российской Федерации №1487 от 18.09.2020 г., 11 С.
9. Международный кодекс для судов, эксплуатирующихся в полярных водах (Полярный кодекс). Резолюции Комитета по защите морской среды Международной морской организации № МЕРС.385(94) от 21 ноября 2014 и № МЕРС.264(68) от 15 мая 2015. Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 26.12.2017, № 0001201712260021.

References:

1. Dumanskaya I.O. Ledovye usloviya morej aziatskoj chasti Rossii. M.: Izd-vo IG-SOCIN, 2017. 640 p.
2. Tret'yakov V.YU., Frolov S.V., Sarafanov M.I. Izmenchivost' ledovyh uslovij plavaniya po trassam Severnogo morskogo puti za period 1997–2018 gg. // Problemy Arktiki I Antarktiki. 2019. V.65. № 3. p. 328–340.
3. Yulin A.V, Timofeeva A.B., Pavlova E.A., SHaratunova M.V., Hotchenkov S.V. Mezhhodovaya I sezonnaya izmenchivost' ledovitosti rossijskih arkticheskikh morej v sovremennom klimaticheskom periode // Trudy GOIN. 2019. № 220. p. 44–60.
4. Egorov A.G. Letnyaya kromka l'dov i osennie sroki ustojchivogo ledoobrazovaniya v moryah Laptevyh, Vostochno-Sibirskom I Chukotskom v period 1981-2018 gg. // Snegi led, v. 61, №1, 2021, p. 117-127.
5. Opasnye ledovye yavleniya dly asudohodstva v Arktike. / Ed. E.U. Mironov – SPb. Izd. AANII. 2010, 320 p.
6. RD 52.27.759-2011 «Nastavlenie posluzhbe prognozov, razdel 3, chast' III, Sluzhba morskikh gidrologicheskikh prognozov». M. 2011.
7. Pravila klassifikaciii postrojki morskikh sudov. Chast' 1. Klassifikaciya, Rossijskij morskoy registr sudohodstva. Sankt-Peterburg, 2016, 32 S. ISBN 978-5-89331-302-4.
8. Pravila plavaniya v akvatorii Severnogo morskogo puti. Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii №1487 ot 18.09.2020 g., 11 p.
9. Mezhdunarodnyj kodeks dlya sudov, ekspluatiruyushchihsvya v polyarnyh vodah (Polyarnyjkodeks). RezolyuciiKomitetapozashchitemorskogsredyMezhdunarodnojmo rskojorganizacii № МЕРС.385(94) ot 21 noyabrya 2014 i № МЕРС.264(68) ot 15 maya 2015. Oficial'nyj internet-portal pravovojinformacii www.pravo.gov.ru, 26.12.2017, № 0001201712260021.

УДК 551.326.1

DOI: 10.24412/2658-4255-2021-4-54-67

Для цитирования:

А.Б. Тимофеева Ледовые условия плавания в экспедиции NABOS-2021 в сентябре-октябре 2021 года // Российская Арктика. 2021. № 15. С. 54–67

Получена: 15.12.2021

Принята: 23.12.2021

Опубликована: 24.12.2021



Статья распространяется в полнотекстовом формате на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0

ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ ПЛАВАНИЯ В ЭКСПЕДИЦИИ NABOS-2021 В СЕНТЯБРЕ-ОКТАБРЕ 2021 ГОДА

А.Б. Тимофеева¹ 

¹ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия
tianna@aari.ru

Аннотация: В данном кратком сообщении приводятся первичные результаты обработки специальных судовых наблюдений за ледяным покровом в ходе экспедиции NABOS-2021 в сентябре-октябре 2021г. Особенностью ледовых условий данной экспедиции стала более тяжёлая ледовая обстановка, чем ожидалось при планировании работ, что внесло коррективы в первоначальные экспедиционные планы. Маршрут экспедиции проходил в северной части морей Лаптевых и Восточно-Сибирского по океанологическим разрезам в пределах 79-82° с. ш. вплоть до 170° з. д. Были выполнены обобщение и анализ ледовой обстановки по протяжённости океанологических разрезов, объединяя или разделяя сегменты в соответствии с однородностью ледовых условий. В целом, 66% пути во льдах в ходе экспедиции NABOS-2021 были пройдены во льду сплочённостью 10 баллов. На долю остаточных льдов по пути плавания пришлось 26%, молодых льдов наблюдалось 38%, ниласа и начальных льдов — 36% протяжённости пути. Толщина остаточного льда варьировала от 30-50 см до 160 см и выше, в отдельных случаях (для торосистых образований) свыше 300 см. На толщины остаточного льда 30-50 см и 50-70 см приходится по 9% протяжённости пути, на толщины свыше 70 см приходится 8% всего маршрута судна во льдах.

Ключевые слова: судовые наблюдения, ледовые условия плавания, толщина льда, сплоченность, возраст льда

ICE CONDITIONS OF NAVIGATION DURING THE NABOS-2021 EXPEDITION IN SEPTEMBER-OCTOBER 2021

А.В. Timofeeva¹

¹ Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg, Russia

Abstract: The short message presents the primary processing data results of special shipborne ice observations during the NABOS-2021 expedition in September-October 2021. A feature of this expedition was unforeseen during the planning period hard ice conditions, which made adjustments to the initial expedition plans. The overall research area for the cruise included northern parts of the Laptev and the East Siberian seas within 79-82°N up to 170°W. Generalization and analysis of the sea ice conditions along the oceanographic sections were performed, combining or dividing segments in accordance with the ice conditions homogeneousness. In general, 66% of the ship track within the ice during the NABOS-2021 expedition had the ice concentration of 10 tenths, the residual ice by the route accounted for 26%; young ice, 38%; the nilas and the new ice, 36%. The residual ice thickness varied from 30-50 cm to 160 cm and above, in some cases (hummock formations) over 300 cm. Residual ice thickness of 30-50 and 50-70 cm accounts for 9% each of the route length, thickness over

70 cm account for 8% of the entire route of the vessel in the ice.

Keywords: shipborne observations, ice conditions of navigation, ice thickness, ice concentration, stage of development of ice

Введение

В сентябре-октябре 2021 года была проведена экспедиция NABOS-2021 на борту НЭС "Академик Трешников". Этот рейс стал 12-м по счёту в многодисциплинарной программе NABOS начиная с 2002 г., направленной, в первую очередь, на проведение океанографических наблюдений, включая физические и химические исследования, а также на использование притопленных автономных буйковых станций (ПАБС). Значительное количество научных работ было опубликовано по результатам предыдущих океанографических исследований экспедиций программы NABOS [1-6].

Программа ледовых наблюдений включала проведение детальных круглосуточных визуальных наблюдений за распределением характеристик ледяного покрова на пути движения судна [7], в том числе существенно влияющих на безопасность и надёжность плавания [8, 9]. Результаты этих наблюдений вошли в постоянно пополняющуюся базу данных ледовых условий плавания в Арктическом бассейне [10].

Поскольку основным источником информации о ледовой обстановке в Арктике являются данные искусственных спутников Земли (ИСЗ), получение натуральных данных о характеристиках ледяного покрова является важной задачей, в том числе для верификации информации, получаемой с помощью спутников [11-13]. Так, например, для оценки толщины льда применяются различные методы, как контактные, так и разнообразные дистанционные [14, 15]. Визуальные судовые наблюдения за толщиной льда выполняются ледовым наблюдателем и являются важным источником информации. Данный вид работ осуществлялся в ходе экспедиции NABOS-2021. В дополнение к визуальным наблюдениям для получения достоверного массива данных по толщине ровного льда и высоте снега производились наблюдения с помощью судового телевизионного комплекса [16-18].

Ко времени выхода из порта Киркенес, 10-го сентября 2021, акватория, по которой проходила большая часть предполагаемого маршрута экспедиции, была покрыта дрейфующими льдами. Поскольку НЭС "Академик Трешников" имеет ледовый класс Arc 7, согласно правилам Российского морского регистра судоходства, НЭС может осуществлять самостоятельное плавание при любых типах ледовых условий в летне-осеннюю навигацию [19]. Уже непосредственно в ходе проведения экспедиции по причине непростой ледовой обстановки в заранее запланированных районах работ предварительная схема маршрута претерпела изменения, вследствие чего несколько северных океанологических разрезов были отменены (рис. 1).

Методы

Судовые специальные ледовые наблюдения осуществлялись в соответствии с методикой, разработанной в ААНИИ, визуально с ходового мостика [7, 20]. Особенностями методики является непрерывность

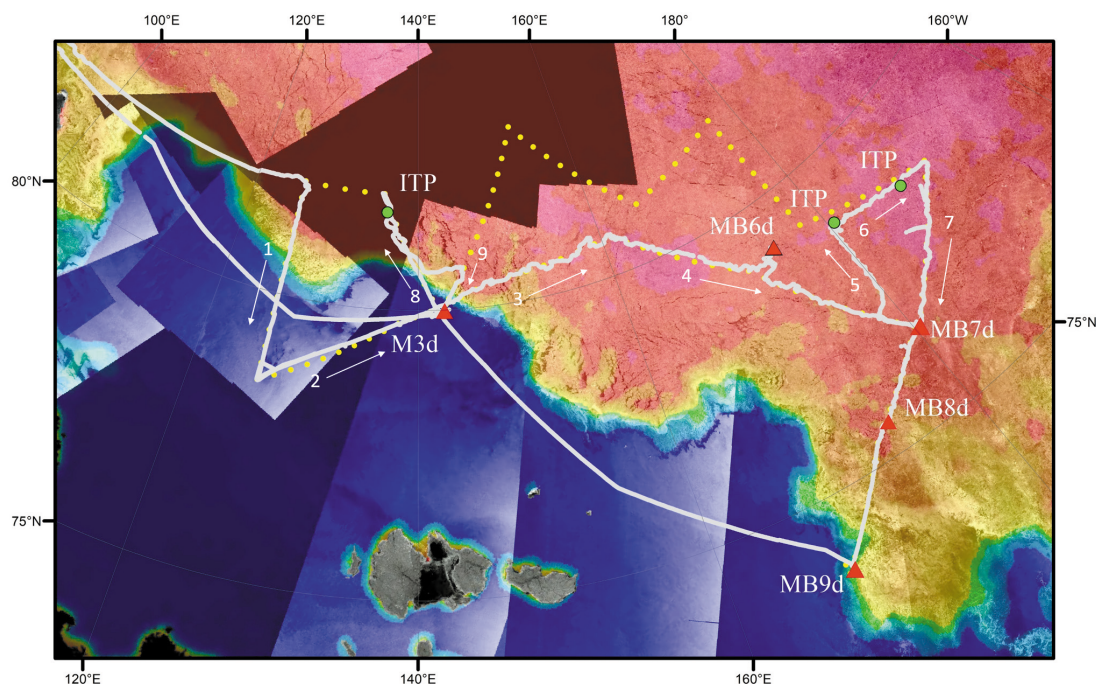


Рисунок 1 — Мозаика данных радиолокационного зондирования ИСЗ Sentinel-1АВ и AMSR2 за 04-06.10.2021 с предварительной схемой (желтые точки) и реальным треком маршрута экспедиции NABOS-2021 (белая линия).

наблюдений и фиксация параметров ледяного покрова отдельно по пути плавания, т. е. там, где непосредственно движется судно (2-3 ширины корпуса), и по району плавания, т. е. оценка производится в пределах видимости. По всему маршруту следования во льдах выделяются ледовые зоны с однородными характеристиками ледяного покрова. Оцениваются такие характеристики, как общая и частная сплочённость льда разной возрастной градации, преобладающие формы ледяных образований, толщина ровного льда и высота снежного покрова, торосистость и наслоенность, стадия разрушенности, интенсивность сжатия и др. Наблюдения проводятся с использованием штатных судовых приборов: навигационных систем; судовой автоматической метеорологической станции; выносной ледомерной рейки, установленной на борту судна; штатной панели приборов показаний работы энергетической установки судна, мощности, оборотов винта; схемы работы энергетической установки; судового локатора кругового обзора; судового ледового радара.

Визуальные судовые наблюдения за толщиной льда выполняются ледовым наблюдателем, находящимся на ходовом мостике судна путём глазомерной оценки льдин, вставших на ребро у борта судна при его движении, при помощи специальной мерной рейки с определённой шириной отсечек (рисунок 2). Дополнительно к визуальным наблюдениям для определения толщины льда и высоты снега был установлен судовой телевизионный комплекс (СТК). С его помощью осуществлялась видеофиксация выворотов льда вдоль борта судна. На момент написания этого материала данные СТК находятся в обработке.

С целью успешного использования спутниковой информации при выборе маршрута плавания и совмещения её с навигационными картами во время движения была произведена организация работы терминала на основе программного комплекса dKart Ice Navigator, в том числе конвертация спутниковых изображений под необходимый формат для дальнейшего представления в терминале.



Рисунок 2 — Фотографии ледовых выворотов под ледемерной рейкой и камерой СТК с точки обзора ледового наблюдателя.

Результаты

В данной работе приведены результаты первичного анализа и обобщения ледовых условий плавания по результатам судовых специальных ледовых наблюдений. В сообщении приведены обобщения по двум наиболее интересным отрезкам пути следования судна во льдах, а также обобщение по всему маршруту.

Минимум площади ледяного покрова в Арктике обычно фиксируется в сентябре, однако осенний период выделяется также началом интенсивных процессов ледообразования. Несмотря на то, что на момент начала экспедиции NABOS-2021 море Лаптевых было практически свободно ото льда, большая часть океанографических разрезов предполагалась в более высоких широтах, где уже начались процессы ледообразования среди значительного количества остаточных льдов, т.е. переживших сезон таяния [21].

Ледовые наблюдения начались 13.09.2021, ещё до начала морских работ в море Лаптевых, поскольку при переходе к северу от м. Арктический маршрут пересекал обширную ледовую зону. В этом же районе при движении в обратном направлении, в сторону порта Киркенес, НЭС "Академик Трешников" вновь выполнил переход спустя месяц, 14-15 октября, поэтому есть возможность сравнить, как за месяц изменилась ледовая обстановка. На рисунке 3 представлена обзорная ледовая информация по времени обоих проходов.

Большую часть пути в середине сентября судно проходило через зоны мелкобитого и тёртого остаточного льда сплочённостью 1-3 балла по району плавания. При этом непосредственно по пути плавания около 80% протяжённости пройденного расстояния пришлось на зоны с отдельно плавающими льдинами (ОПЛ), т.е. сплочённостью менее 1 балла.

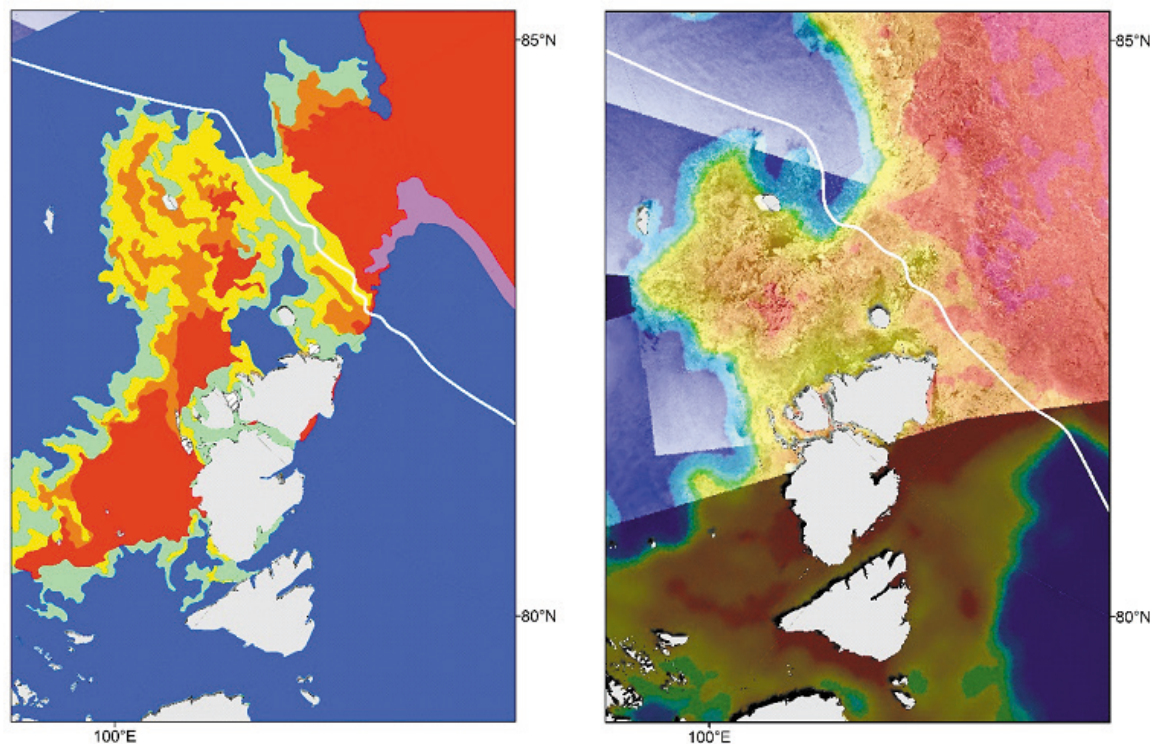


Рисунок 3 — Обзорная информация по ледовой обстановке в районе м. Арктический: карта ледовых условий (общая сплочённость) за 11-14.09.2021 (слева); мозаика данных радиолокационного зондирования ИСЗ Sentinel-1АВ и AMSR2 за 12-15.10.2021 (справа).

В непродолжительных зонах более сплочённых льдов сплочённость составляла от 7 до 10 баллов, из которых до 6-8 баллов приходилось на остаточный лёд. В районе уже началось ледообразование и поэтому по маршруту следования судна часто присутствовали начальные виды льда в виде ледяных игл и сала, а также блинчатого льда.

В октябре, как видно на гистограмме распределения сплочённости на рисунке 4, общая сплочённость уже на 70% протяжённости пути плавания составляла 10 баллов, что произошло вследствие активного ледообразования в течение прошедшего месяца. При следовании по маршруту преобладали начальные и молодые льды, 23% пути прошли в серых льдах толщиной до 15 см, 16% во льдах, достигших градации серо-белых, толщиной 15-30 см, 45% в начальных льдах, преимущественно ниласе. В среднем, ниласовых и начальных льдов наблюдалось до 5-7 баллов, серых льдов, в зависимости от зоны, от 3 до 8 баллов, серо-белого льда от 3-5 до 7-8 баллов. Остаточных льдов чаще всего наблюдалось 2-3 балла, однако в отдельных достаточно обширных зонах его сплочённость достигала 8 баллов с толщиной льда преимущественно 30-70 см, иногда свыше 100 см. Формы и размеры остаточного льда преимущественно были следующими: мелкобитый (2-20 м) и крупнобитый (20-100 м), изредка обломки ледяных полей (100-500 м).

Наиболее сложным сегментом всего пути экспедиции во льдах с наиболее трудными ледовыми условиями стала первая половина океанографического разреза № 4. Океанографический разрез № 4 был выполнен между 80° и 76° с. ш. от 160° до 180° в. д., между точками постановки ПАБС МВ5 и МВ7 (рисунок 5).

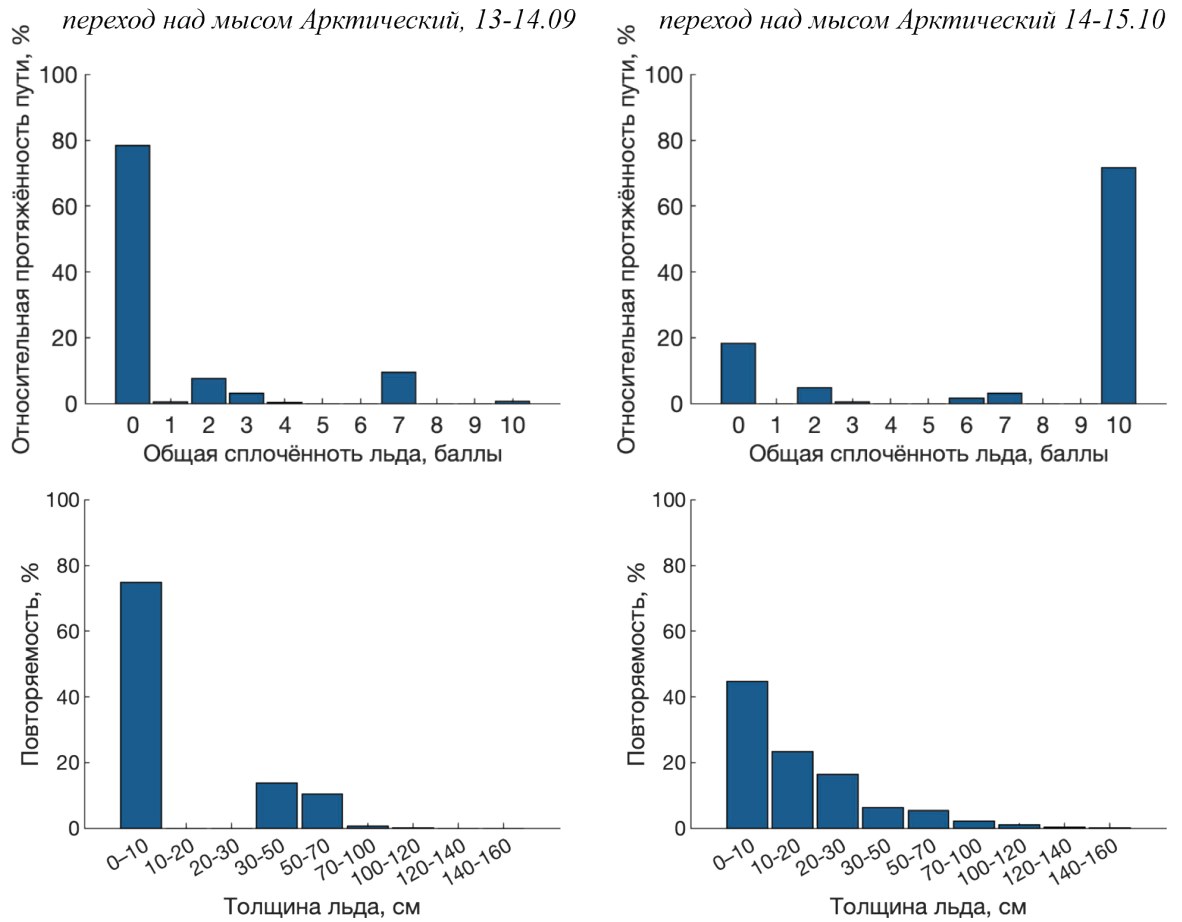


Рисунок 4 — Распределение сплоченности и толщины льда по пути следования на переходе через лед над мысом Арктический при движении к точке начала работ 13-14.09.2021 и при движении в направлении порта Киркенес 14-15.10.2021.

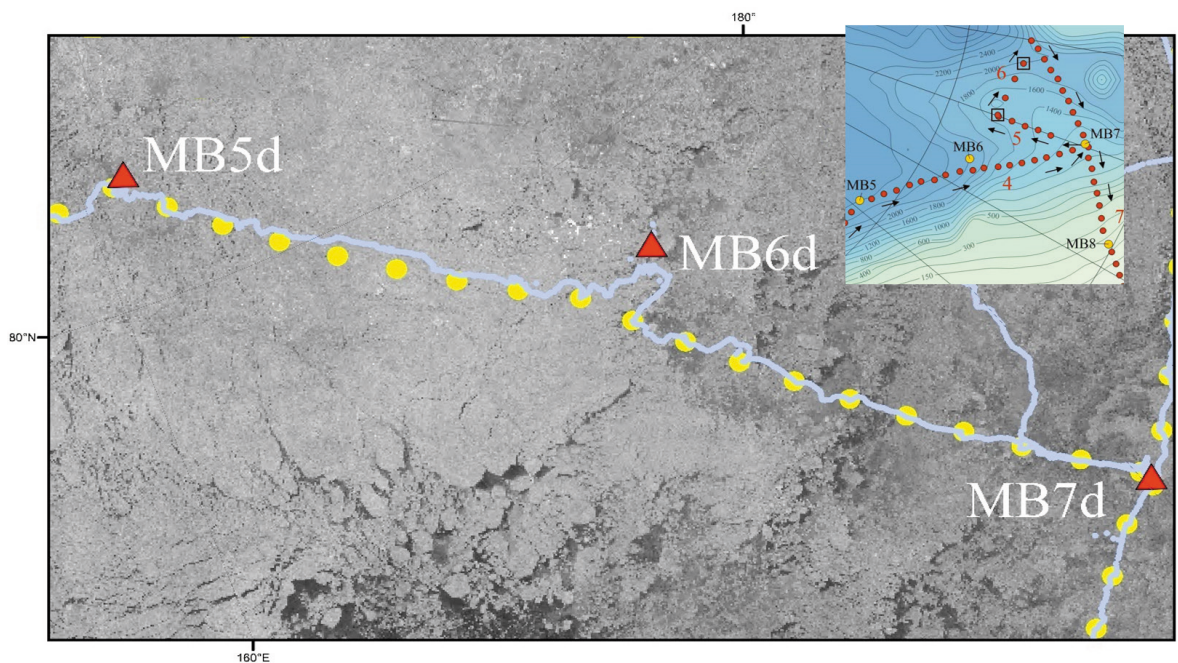


Рисунок 5 — Радиолокационное изображение Sentinel-1 АВ по району следования за 21.09.2021 со схемой выполнения станций зондирования СТД (желтые точки) и реальным треком движения судна по маршруту (голубая линия).

При движении по первой половине разреза № 4, приблизительно до района постановки ПАБС МВ6d (78°с.ш. 172°в.д.), общая сплочённость на протяжении всего пути следования составила 10 баллов (рисунок 6). При этом наблюдалось значительное количество остаточного льда (до 10 баллов в единичных зонах, преимущественно 5-7 баллов), часто в форме больших (500 м - 2 км) и обширных ледяных полей (2 км – 10 км), с сильно сглаженными массивными торосистыми образованиями, покрытыми снегом высотой 10-15 см (рисунок 7). Толщина остаточного льда, зафиксированного по пути плавания, преимущественно отмечалась как 50-70 см (17% от общего распределения по толщинам), часто свыше 100 см (6%), иногда в торосах свыше 2х метров. Поскольку ледообразование в этом районе шло уже давно и, очевидно, интенсивно, начальные виды льда (3%) и нилас (13%) по пути плавания отмечались только в достаточно свежих элементах нарушения сплошности льда (НСЛ), разрывах и трещинах. При этом в основном все НСЛ наблюдались в восточном секторе сегмента, где к моменту подхода судна, ледовые условия были в значительной степени динамичны. Акватория между полями остаточного льда была охвачена молодым льдом, серым (13%) и серо-белым (25%), толщиной около 20 см, иногда достигавшим толщины близкой к 30 см, так что в нескольких зонах в районе 80° с.ш. 164° - 169° в.д. было отмечено появление однолетнего тонкого льда в незначительном количестве до 2 баллов.

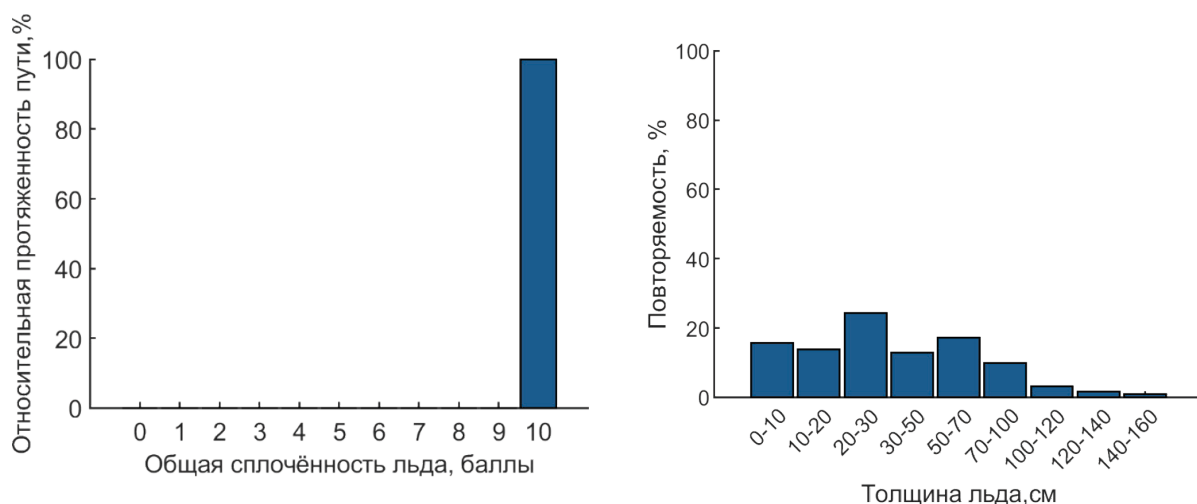


Рисунок 6 — Распределение сплоченности и толщин льда по пути следования по первой половине разреза № 4.



Рисунок 7 — Фотографии ледовой обстановки на разрезе № 4.

Такие ледовые условия вызывали трудности при навигации, особенно в условиях ночи и плохой видимости (туман, снег). Стали трудно различимы реальные условия на пути движения судна, при этом на судовом ледовом радаре из-за большого количества помех было сложно достоверно оценить ледовую поверхность. По этой причине судно неоднократно попадало в ситуацию клинения и работы набегами. Стратегией движения в этой зоне был выбор пути в обход крупных полей, между ними или по краю, чтобы была возможность пройти в более тонком молодом, хоть и часто всторошенном льду.

На отрезке маршрута по первой половине разреза № 4 характеристики ледовых условий по району и по пути плавания значительно различаются в распределении частной сплоченности возрастного состава льда, поскольку выбор непосредственного пути следования предполагал движение по более легким участкам. В соответствии с методикой судовых ледовых наблюдений [7, 20] в тёмное время суток ледовые наблюдения проводятся только с фиксацией характеристик ледяного покрова по пути плавания, наблюдения по району плавания не проводятся. По этой причине корректное сравнение условий по пути и по району затруднительно, однако результаты общей оценки по доступным данным представлены на рисунке 8. Поскольку для продвижения судна выбираются более лёгкие условия, лёд по району в большинстве случаев наблюдался более тяжёлый, чем по пути. Так по району плавания остаточных льдов наблюдалось 60%, а по пути 47%, 3% начальных видов по пути следования указывают на использование для движения зон с НСЛ.

Из-за сложной ледовой обстановки была изменена первоначально планировавшаяся локация для постановки ПАБС МВб. Поскольку в запланированном районе не было ни одного подходящего для осуществления работ разводья, находящимися на борту специалистами ледовой группы было предложено сместиться в северо-восточном направлении на расстояние предположительно около 15-20 миль. Основываясь на информации со спутниковых изображений Sentinel-1, ледовыми экспертами был выполнен расчёт приблизительного расстояния и направления дрейфа, определена предполагаемая локация обнаружения разводья, в которой также сохранялась вероятность использовать подходящие глубины склона шельфа для постановки ПАБС.

При движении в потенциальный район постановки буя выполнялся оперативный анализ и сверка очертаний ледяных полей, заметных на ле-

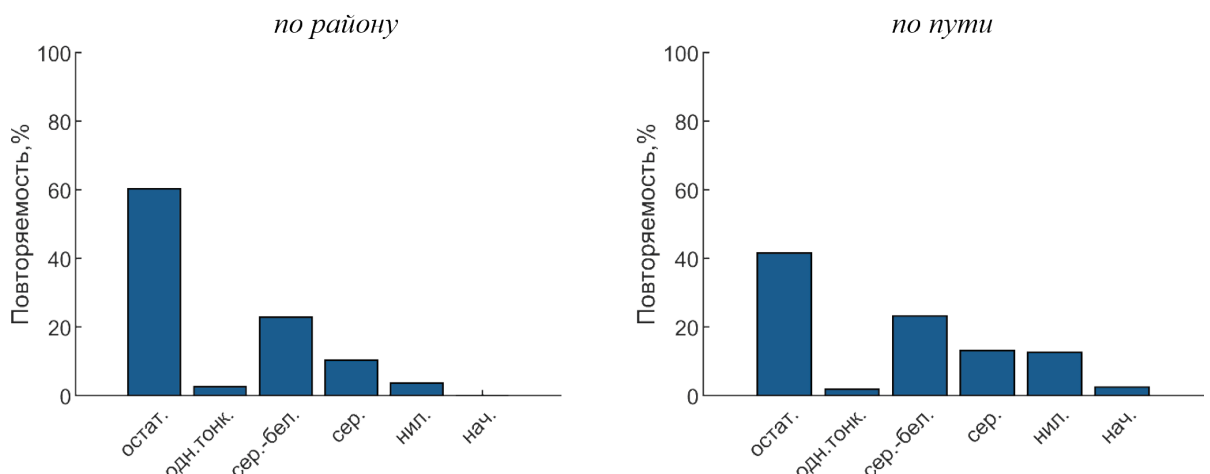


Рисунок 8 — Распределение сплоченности льда возрастного состава льдов по району и по пути следования на первой половине разреза №4.

довом радаре, с очертаниями полей на спутниковом изображении для выбора пути следования к искомому разводью. Ситуацию осложняла плохая видимость в тёмное время суток и густой туман. Разводье было покрыто серым льдом и ниласом. Постановка ПАБС состоялась в координатах 78°58' с.ш. 173°48' в.д. Для оперативного анализа ледовой обстановки были использованы спутниковые снимки PCA Sentinel-1 за 24-25.09.2021 г., dKart Ice Navigator, а также изображения, полученные с помощью судового радара (рисунок 9).

В целом ледовую обстановку в ходе экспедиции NABOS-2021 в большинстве случаев можно охарактеризовать как сложную. На рисунке 10 приведено распределение сплочённости и повторяемость толщины льда по всей протяжённости пути экспедиции во льдах. Как видно из гистограммы распределения сплочённости льда, 66% пути экспедиции во льдах были пройдены во льду сплочённостью 10 баллов. На сплочённость 0 (от 0 до 1) баллов приходится 16% относительной протяжённости пути по всему маршруту во льдах. Такое большое значение связано с наличием по пути следования довольно протяжённых зон с ОПЛ, сплочённость в которых обычно определяется как 0,1 балл. Поскольку моментов пересечения кромки, где обычно отмечаются такие зоны, было несколько, на сплочённость льда от 0 до 1 балла приходится такой значительный процент протяжённости пути.

Высокая повторяемость небольших толщин льда (до 30 см) объясняется тем, что визуально толщина льда оценивается только по пути плавания, для которого в оперативном режиме характерен выбор более лёгких условий: с наличием разводий, разрывов, зон с преобладанием молодого льда. Так, повторяемость льда с толщиной 0-10 см (37%) объясняется отношением к этой категории начальных видов льда, таких как сало или ледя-

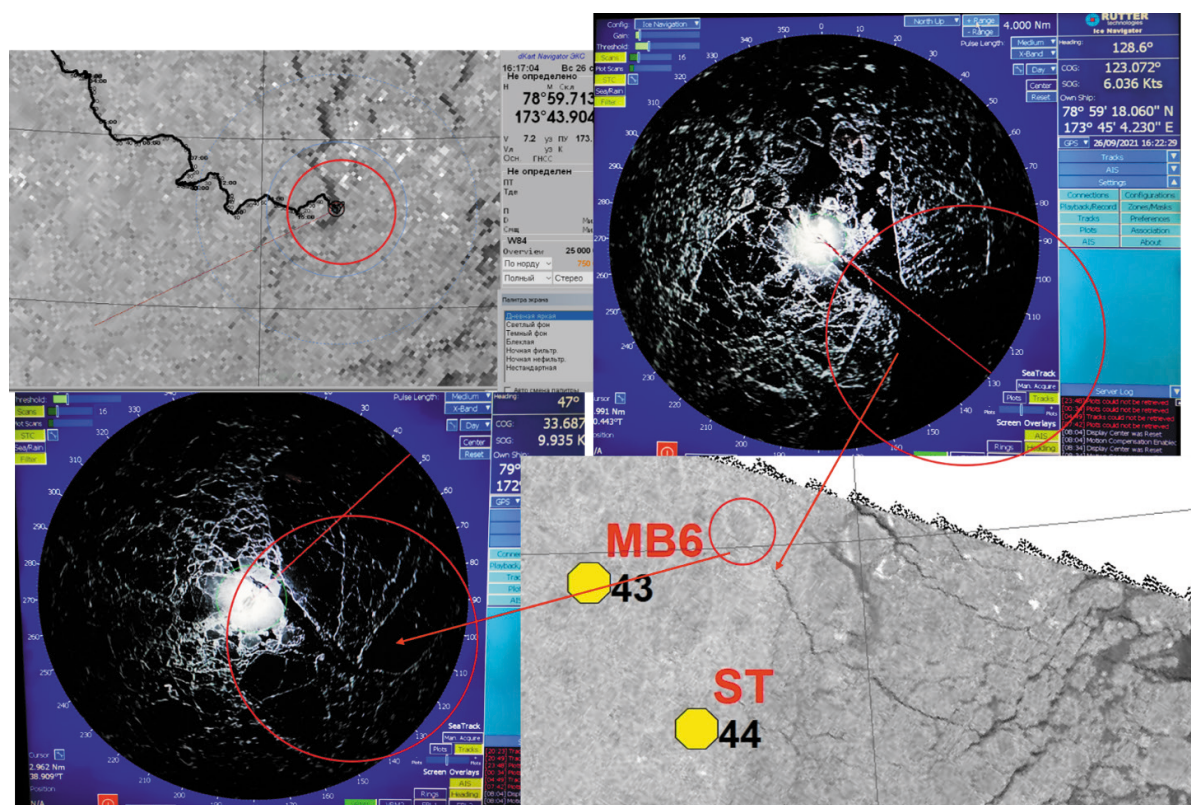


Рисунок 9 — Информация, использованная для оперативного анализа ледовой обстановки 26.09.2021 г. для поиска подходящего разводья для развертывания ПАБС MB6: спутниковые изображения Sentinel-1 за 24-25.09.2021 г., ПО dKart Ice Navigator и снимки судового радара.

ные иглы, которые могут занимать обширные акватории в прикромочных зонах, а также ниласа, который встречался довольно часто, поскольку шёл активный процесс ледообразования, в том числе в разводьях, по которым двигалось судно. Толщина остаточного льда варьировалась от 30-50 см до свыше 160 см, в отдельных случаях (напр., для торосистых образований) – свыше 300 см. В целом по 9 % приходится на толщину льда 30-50 см и 50-70 см (на каждую градацию), на толщины свыше 70 см приходится 8% протяжённости пути. Распределение возрастного состава льда, наблюдавшегося по району (по доступным данным) и по пути плавания, приведены на рисунке 11.

Заключение

В ходе подготовительного периода при планировании экспедиции не ожидалось большого количества льда в районах морских работ, поскольку в предыдущие несколько лет акватории арктических морей в значительной степени очищались ото льда, а ледообразование начиналось позже среднемноголетних сроков на 2-3 недели [22, 23]. Однако межгодовая изменчивость этих показателей является весьма выраженной, что подтверждают характеристики ледовых условий, наблюдавшиеся в ходе

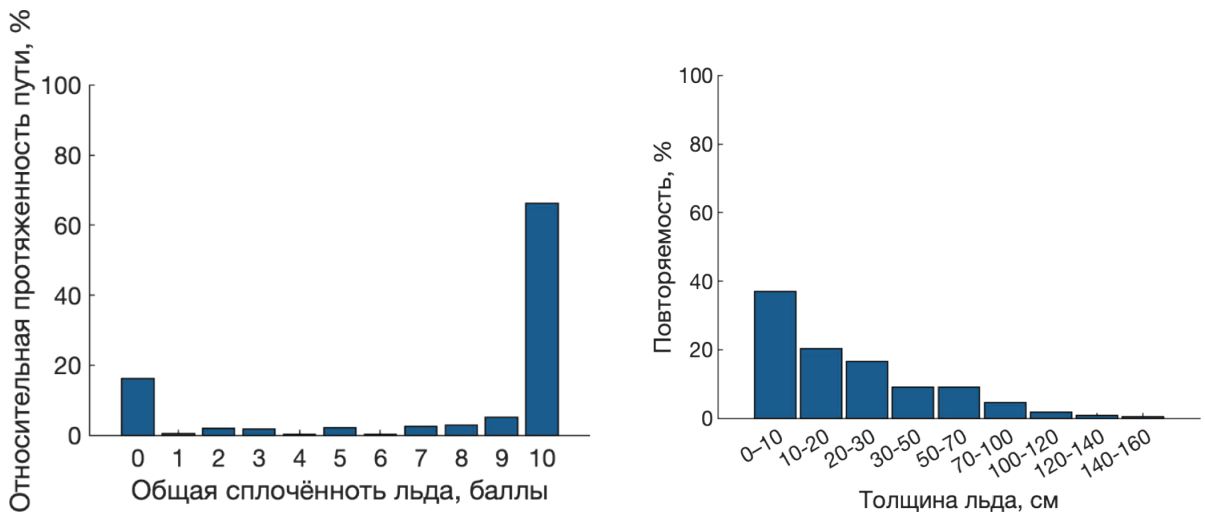


Рисунок 10 — Распределение сплоченности и толщины льда по всему пути следования экспедиции NABOS -2021 во льдах.

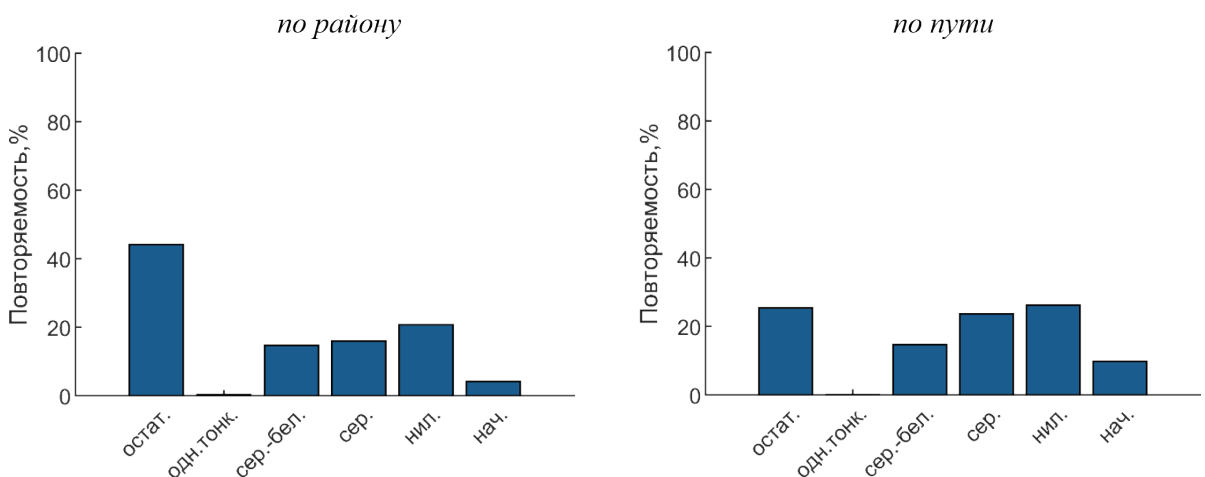


Рисунок 11 — Распределение возрастного состава льдов по району (слева) и по пути следования (справа) вдоль всего маршрута экспедиции NABOS-2021 во льдах.

экспедиции в 2021 г. Межгодовая изменчивость площади и толщины ледяного покрова, его региональных и режимных особенностей находится под влиянием сложных термодинамических и динамических процессов, в том числе выносного дрейфа льда, интенсивности летнего таяния, сопряженности с атмосферными процессами, изменения радиационного баланса и теплонакопления в морях сибирского шельфа и во всём Арктическом регионе [24-26]. В ряде работ отмечается уменьшение площади арктического ледяного покрова и деградация толщины льда в последние десятилетия, вследствие существенных изменений в атмосферной циркуляции и повышении приземной температуры воздуха [26-28]. Тем не менее даже при сохранении общего тренда межгодовая изменчивость колебаний температуры, площади ледяного покрова, толщины льда и др. остаётся достаточно высокой. Так, в 2021 г. годовой минимум распространения льда оказался лишь 12-м в ряду минимальных значений с 1979 г. [29].

Более сложная, чем ожидалось, ледовая обстановка внесла коррективы в проведение экспедиционных работ. В фактических ледовых условиях при грамотном использовании ледовой информации оказалось возможным осуществить все основные задачи экспедиции, в том числе полностью выполнить программу постановки буйковых станций. В результате отменены были только несколько второстепенных северных океанографических разрезов.

В целом 66% пути во льдах в ходе экспедиции NABOS -2021 были пройдены во льду сплочённостью 10 баллов, на долю остаточных льдов по пути плавания пришлось 26%, молодых льдов наблюдалось 38%, ниласа и начальных льдов - 36%.

Сравнения результатов наблюдений с данными предыдущих рейсов в приблизительно тех же районах за близкий период времени пока не проводилось, ведётся подбор подходящих для сравнения рейсов, а также дальнейшая обработка и анализ данных судового телевизионного комплекса.

Благодарность

Исследование выполнено благодаря финансовой поддержке рейса программой NABOS и ее руководителю Игорю Полякову (Igor Polyakov, IARC, International Arctic Research Center, University of Alaska Fairbanks, Alaska, USA)

Список литературы:

1. Alkire, M. B., Polyakov, I., Rember, R., Pnyushkov, A., Ivanov, V., & Ashik, I. (2017). Combining physical and geochemical methods to investigate lower halocline water formation and modification along the Siberian continental slope. *Ocean Science*, 13(6), 983–995. <https://doi.org/10.5194/os-13-983-2017>
2. Polyakov, I. V., Pnyushkov, A. V., Alkire, M., Ashik, I. M., Baumann, T., Carmack, E., et al. (2017). Greater role for Atlantic inflows on sea-ice loss in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean. *Science* 356, 285–291. doi: 10.1126/science.aai8204 DOI: 10.1126/science.aai8204
3. Polyakov, I. V., Pnyushkov, A. V., and Carmack, E. C. (2018). Stability of the arctic halocline: a new indicator of arctic climate change. *Environ. Res. Lett.* 13:125008. doi: 10.1088/1748-9326/aaec1e
4. Polyakov, I. V., Rippeth, T. P., Fer, I., Baumann, T. M., Carmack, E. C., Ivanov, V. V., et al. (2020). Intensification of near-surface currents and shear in the Eastern Arctic Ocean. *Geophysical Research Letters*, 46, e2020GL089469. <https://doi.org/10.1029/2020GL089469>
5. Polyakov, I. V., Rippeth, T. P., Fer, I., Alkire, M. B., Baumann, T. M., Carmack, E. C., et al. (2020).

- Weakening of cold halocline layer exposes sea ice to oceanic heat in the eastern Arctic Ocean. *J. Clim.* DOI: 10.1175/JCLI-D-19-0976.1
6. Polyakov, I. V., Rippeth, T. P., Fer, I., Baumann, T. M., Carmack, E. C., Ivanov, V. V., et al. (2020). Intensification of near-surface currents and shear in the Eastern Arctic Ocean. *Geophysical Research Letters*, 46, e2020GL089469. <https://doi.org/10.1029/2020GL089469>
 7. Наблюдения за ледовой обстановкой: Учебное пособие. – СПб.: ГУ «ААНИИ», 2009. 360
 8. Миронов Е.У., Фролов С.В. Влияние морского льда на судоходство и классификация опасных ледовых явлений. // Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике. С.-П.: ААНИИ. 2010. Гл. 1. С. 12-32.
 9. Юлин А.В. Вторжение труднопроходимых льдов на трассы плавания // Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике. С.-П.: ААНИИ. 2010. Гл. 8. С. 269-277.
 10. Фролов С. В., Макаров Е. И., Третьяков В. Ю., Сероветников С. С., Алексеева Т. А., Гришин Е. А., Пряхин С. С., Саперштейн Е. Б., Ярославцева С. И., Сергеева И. А. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2019621801 "СТК-ЛЕД" // Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2019621801 "СТК-ЛЕД"
 11. Алексеева Т.А., Фролов С.В. Сравнительный анализ спутниковых и судовых данных о ледяном покрове в морях Российской Арктики // Исслед. Земли из космоса. 2012 г. № 6, с. 69-76.
 12. Alekseeva T.A., Tikhonov V.V., Frolov S.V., Raev M.D., Repina I.A., Sokolova Yu.V., Afanasieva E.V., Sharkov E.A., Serovetnikov S.S. Comparison of satellite microwave and visual shipborne data on sea ice concentration. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2019, Vol. 55, No. 9, pp. 1292-1301. DOI: 10.1134/S0001433819090032
 13. Alekseeva, T.; Tikhonov, V.; Frolov, S.; Repina, I.; Raev, M.; Sokolova, J.; Sharkov, E.; Afanasieva, E.; Serovetnikov, S. Comparison of Arctic Sea Ice Concentrations from the NASA Team, ASI, and VASIA2 Algorithms with Summer and Winter Ship Data. *Remote Sens.* 2019, 11, 2481
 14. Алексеева Т.А., Фролов С.В., Сероветников С.С. Обзор методов и основных результатов измерения толщины морского льда в Арктике // Российская Арктика. 2021. № 12. С. 33–49. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-1-33-49
 15. Фролов С.В., Третьяков В.Ю., Клейн А.Э., Алексеева Т.А., Пряхин С.С. Результаты наблюдений за толщиной ледяного покрова по данным высокоширотных арктических морских экспедиций. Вклад России в Международный полярный год 2007/2008. Океанография и морской лед. Москва-Санкт-Петербург. 2011 г., с. 374-385.
 16. Сероветников С.С. Судовой телевизионный комплекс – реализация автоматизированной системы натуральных измерений толщины морского льда / С.В. Фролов, А.Э. Клейн // Российская Арктика – 2018. – №2. – С.41.
 17. Клейн А. Э., Третьяков В. Ю., Фролов С. В. Патент на полезную модель № 70983 «УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ЛЬДИН С БОРТА СУДНА» // Правообладатель: «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт».
 18. Алексеева Т.А. Ледовые условия плавания в арктическом бассейне в летний период 2018 года / С.С. Сероветников, С.В. Фролов, В.Т. Соколов // Российская Арктика. – 2018. – №2. – С.31. DOI: 10.24411/2658-4255-2018-00016
 19. Правила плавания в водах Северного морского пути (редакция 2020 года), Министерство транспорта России, 2020 год. Москва.
 20. Руководство по производству судовых специальных ледовых наблюдений. СПб.: ААНИИ, 2011.
 21. World Meteorological Organization, 1989-2017. Sea ice Nomenclature; WMO, No. 259.
 22. Timofeeva A., Yulin A., Sharatunova M., Pavlova E., Sheveleva T. General tendencies of the ice extent changes in the Russian Arctic seas//Proceedings of the 26th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions; June 14-18, 2021, Moscow, Russia; ISSN 2077-7841
 23. Егоров А.Г., Павлова Е.А. Изменение сроков устойчивого ледообразования в восточных арктических морях России в начале XXI в. Проблемы Арктики и Антарктики. 2019;65(4):389-404. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2019-65-4-389-404>
 24. Алексеев Г.В., Радионов В. Ф., Александров Е.И., Иванов Н.Е., Харланенкова Н.Е. Изменение климата Арктики при глобальном потеплении // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 1(103), С. 32-42.
 25. Иванов В.В., Алексеев В.А., Алексеева Т.А., Колдунов Н.В, Репина И.А., Смирнов А.В. Арктический ледяной покров становится сезонным? // Исследования Земли из космоса. 2013. № 4. С. 50–65.
 26. Stroeve, J.C., Schroeder, D., Tsamados M., Feltham, D. Warm winter, thin ice?. *The Cryosphere*. 12., 2018, 1791-1809. 10.5194/tc-12-1791-2018.

27. Тимофеева А.Б., Шаратунова М.В. Многолетняя изменчивость толщины припая в море Лаптевых по данным полярных станций // Российская Арктика. 2021. № 12. С. 62-76. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-1-62-76
28. Serreze, M. C., Stroeve, J., Barrett, A. P., and Boisvert, L. N.: Summer atmospheric circulation anomalies over the Arctic Ocean and their influences on September sea ice extent: A cautionary tale, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 121, 11463–11485, <https://doi.org/10.1002/2016JD025161>, 2016.
29. R.Thoman, J.Lacroix, A.-H.Olafsdottir, L.Ostvand, V.Khan, S.Emelina and A.Timofeeva. ArcRCC-N regional climate overview briefing: temperature, precipitation and sea-ice conditions: review of summer 2021 including extreme events, and outlook for winter 2021/22// The 8th Arctic Climate Forum (ACF-8), October 27-28 2021.

References:

1. Alkire, M. B., Polyakov, I., Rember, R., Pnyushkov, A., Ivanov, V., & Ashik, I. (2017). Combining physical and geochemical methods to investigate lower halocline water formation and modification along the Siberian continental slope. *Ocean Science*, 13(6), 983–995. <https://doi.org/10.5194/os-13-983-2017>
2. Polyakov, I. V., Pnyushkov, A. V., Alkire, M., Ashik, I. M., Baumann, T., Carmack, E., et al. (2017). Greater role for Atlantic inflows on sea-ice loss in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean. *Science* 356, 285–291. doi: 10.1126/science.aai8204 DOI: 10.1126/science.aai8204
3. Polyakov, I. V., Pnyushkov, A. V., and Carmack, E. C. (2018). Stability of the arctic halocline: a new indicator of arctic climate change. *Environ. Res. Lett.* 13:125008. doi: 10.1088/1748-9326/aaec1e
4. Polyakov, I. V., Rippeth, T. P., Fer, I., Baumann, T. M., Carmack, E. C., Ivanov, V. V., et al. (2020). Intensification of near-surface currents and shear in the Eastern Arctic Ocean. *Geophysical Research Letters*, 46, e2020GL089469. <https://doi.org/10.1029/2020GL089469>
5. Polyakov, I. V., Rippeth, T. P., Fer, I., Alkire, M. B., Baumann, T. M., Carmack, E. C., et al. (2020). Weakening of cold halocline layer exposes sea ice to oceanic heat in the eastern Arctic Ocean. *J. Clim.* DOI: 10.1175/JCLI-D-19-0976.1
6. Polyakov, I. V., Rippeth, T. P., Fer, I., Baumann, T. M., Carmack, E. C., Ivanov, V. V., et al. (2020). Intensification of near-surface currents and shear in the Eastern Arctic Ocean. *Geophysical Research Letters*, 46, e2020GL089469. <https://doi.org/10.1029/2020GL089469>
7. Nabljudenija za ledovoj obstanovkoj: uchebnoe posobie. [Observations of ice conditions: manual] SPb.: AANII, 2009. – 360 s. (In Russian)
8. Mironov E. U., Frolov S. V. Vlijanie morskogo l'da na sudohodstvo i klassifikacija opasnyh ledovyh javlenij. Opasnye ledovye javlenija dlja sudohodstva v Arktike. [Influence of sea ice on navigation and classification of dangerous ice formations] S.-P.: AANII. 2010. Ch. 1. P. 12-32. (In Russ.).
9. Yulin A. V. Vtorzhenie trudnoprohodimyh l'dov na trassy plavanija // Opasnye ledovye javlenija dlja sudohodstva v Arktike. [Methods of intensive control of icebergs. Ice formations in the western Arctic Seas] S.-P.: AANII. 2010. Ch. 8. P. 269-277.
10. Frolov S. V., Makarov E. I., Tretyakov V. Yu., Serovetnikov S. S., Alekseeva T. A., Grishin E. A., Pryakhin S. S., Saperstein E. B., Yaroslavtseva S. I., Sergeeva I. A. Certificate of state registration of the database No.2019621801 "STC-ICE" // Certificate of state registration of the database No.2019621801 "STC-ICE"
11. Alekseeva T.A., Frolov S.V. Comparing satellite and shipborne sea ice data obtained in the Russian Arctic Seas // *Izvestia Atmos. Ocean Phys.*, 49 (9), 2013, P. 879-885. [dx.doi.org/10.1134/S000143381309017X](https://doi.org/10.1134/S000143381309017X).
12. Alekseeva T.A., Tikhonov V.V., Frolov S.V., Raev M.D., Repina I.A., Sokolova Yu.V., Afanasieva E.V., Sharkov E.A., Serovetnikov S.S. Comparison of satellite microwave and visual shipborne data on sea ice concentration. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2019, Vol. 55, No. 9, pp. 1292-1301. DOI: 10.1134/S0001433819090032
13. Alekseeva, T.; Tikhonov, V.; Frolov, S.; Repina, I.; Raev, M.; Sokolova, J.; Sharkov, E.; Afanasieva, E.; Serovetnikov, S. Comparison of Arctic Sea Ice Concentrations from the NASA Team, ASI, and VASIA2 Algorithms with Summer and Winter Ship Data. *Remote Sens.* 2019, 11, 2481

14. Alekseeva T.A., Frolov S.V., Serovetnikov S.S. Review of methods and main results of the sea ice thickness measuring in the Arctic // *Russian Arctic*. 2021. No. 12. pp. 33-49. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-1-33-49
15. Frolov S.V., Tretyakov V.Yu., Kleyn A.E., Alekseeva T.A., Pryakhin S.S. Results of observations of ice thickness from the data of high latitudinal Arctic marine expeditions. Impact of Russia to the International Polar Year 2007/2008. *Oceanography and sea ice*. Moscow-Saint-Petersburg, 2011. Pp 374-385.
16. Serovetnikov S.S. Ship telemetric complex - implementation of an automated system of full-scale measurements of sea ice thickness / S.V. Frolov, A.E. Klein // *Russian Arctic* - 2018. - No.2. - p.41.
17. Kleyn A.E., Tretyakov V.Yu., Frolov S.V. Utility patent 70983 «EQUIPMENT TO MEASURE ICE THICKNESS FROM A SHIP BOARD» // Rightholder: «Arctic and Antarctic Research Institute».
18. Alekseeva T.A. Ice conditions of navigation in the Arctic basin during the summer 2018 / S.S. Serovetnikov, S.V. Frolov, V.T. Sokolov // *Russian Arctic*. - 2018. - No.2. - p.31. DOI: 10.24411/2658-4255-2018-00016
19. Rules of navigation in the waters of the Northern Sea Route (revision 2020), Ministry of Transport of Russia, 2020. Moscow. (In Russian).
20. Rukovodstvo po proizvodstvu sudovyh special'nyh ledovyh nabljudenij. SPb.: AANII, 2011. (In Russian).
21. World Meteorological Organization, 1989-2017. Sea ice Nomenclature; WMO, No. 259.
22. Timofeeva A., Yulin A., Sharatunova M., Pavlova E., Sheveleva T. General tendencies of the ice extent changes in the Russian Arctic seas//Proceedings of the 26th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions; June 14-18, 2021, Moscow, Russia; ISSN 2077-7841
23. Egorov A.G., Pavlova E.A. Change in the time of stable ice formation in the Russian Eastern Arctic seas at the beginning of 21st century. *Arctic and Antarctic Research*. 2019;65(4):389-404. (In Russ.) <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2019-65-4-389-404>
24. Alekseev, G. V., Radionov, V. F., Alexandrov, E. I., Ivanov, N. E., and Kharlanenkova, N. E., Climate change in the Arctic under global warming. *Arctic and Antarctic Research*. 2015. № 1(103): 32-42. (In Russian)
25. Ivanov V.V., Alexeev V.A., Alekseeva T.A., Koldunov N.V., Repina I.A., Smirnov A.V. Does Arctic ocean ice cover become seasonal? // *Issledovanie Zemli iz Kosmosa*. 2013. V 4. p. 50–65.
26. Stroeve, J.C., Schroeder, D., Tsamados M., Feltham, D. Warm winter, thin ice?. *The Cryosphere*. 12., 2018, 1791-1809. 10.5194/tc-12-1791-2018.
27. Timofeeva A.B., Sharatunova M.V. Multiyear variability of the fast ice thickness in the Laptev Sea according to the polar stations data // *Russian Arctic*. 2021. No. 12. pp. 62-76. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-1-62-76
28. Serreze, M. C., Stroeve, J., Barrett, A. P., and Boisvert, L. N.: Summer atmospheric circulation anomalies over the Arctic Ocean and their influences on September sea ice extent: A cautionary tale, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 121, 11463–11485, <https://doi.org/10.1002/2016JD025161>, 2016.
29. R.Thoman, J.Lacroix, A.-H.Olafsdottir, L.Ostvand, V.Khan, S.Emelina and A.Timofeeva. ArcRCC-N regional climate overview briefing: temperature, precipitation and sea-ice conditions: review of summer 2021 including extreme events, and outlook for winter 2021/22// The 8th Arctic Climate Forum (ACF-8), October 27-28 2021

УДК 551.467

DOI: 10.24412/2658-4255-2021-4-68-80

Для цитирования:

Е.С. Егорова, Н.А. Филиппов, Т.А. Алексеева, С.С. Сероветников, В.Т. Соколов Судовые наблюдения за ледяным покровом Арктического бассейна в летний сезон 2021 года // Российская Арктика. 2021. № 15. С. 68–80

Получена: 19.11.2021

Принята: 27.12.2021

Опубликована: 28.12.2021



Статья распространяется в полнотекстовом формате на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0

Финансирование. Работа выполнена в рамках НИТР НИУ Росгидромета на 2021–2024 гг. по теме 5.1.2. Развитие существующих и разработка новых методов и технологий долгосрочного (месячного и сезонного) прогнозирования элементов ледово-гидрологического режима арктических морей, низовьев и устьевых областей рек в условиях климатических изменений (Егорова Е.С., Алексеева Т.А., Сероветников С.С.), а также в рамках темы «Мониторинг» гос. регистрация № 01.20.0.2.00164 (Алексеева Т.А.).

СУДОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ЛЕДЯНЫМ ПОКРОВОМ АРКТИЧЕСКОГО БАСЕЙНА В ЛЕТНИЙ СЕЗОН 2021 ГОДА

Е.С. Егорова¹, Н.А. Филиппов^{1,2}, Т.А. Алексеева^{1,3}, С.С. Сероветников¹, В.Т. Соколов¹

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

² Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

³ Институт космических исследований Российской академии наук, г. Москва

egorova@aari.ru, nafilippov@aari.ru, taa@aari.ru, sssu@aari.ru, svt@aari.ru

Аннотация: В статье представлены результаты обработки данных судовых ледовых наблюдений, выполненных по маршруту от архипелага Земля Франца-Иосифа до Северного полюса в летний сезон 2021 г. с борта атомного ледокола «50 лет Победы». Показано широтное распределение сплочённости однолетних и старых льдов по маршруту судна в дрейфующих льдах. Получены оценки толщины ровного льда (вне торосистых образований) по данным визуальных наблюдений и инструментальных измерений с помощью СТК — судового телевизионного комплекса.

Ключевые слова: Арктический бассейн, судовые ледовые наблюдения, атомный ледокол «50 лет Победы», толщина морских льдов, сплочённость морских льдов, судовой телевизионный комплекс

THE SHIPBORNE SEA-ICE CONDITION OBSERVATIONS IN THE ARCTIC BASIN DURING THE SUMMER 2021

E.S. Egorova¹, N.A. Filippov^{1,2}, T.A. Alekseeva^{1,3}, S.S. Serovetnikov¹, V.T. Sokolov¹

¹ Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg, Russia

² The Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg

³ Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Abstract: The paper deals with the results of data processing of the shipborne sea-ice condition observations during the nuclear icebreaker «50 let Pobedy» summer cruises in 2021. The sea-ice observations have been made in Arctic Basin between the Franz Josef Land and the North Pole. The latitudinal distribution of the first-year and old ice concentrations along the ship route is shown. The level ice thickness estimates are obtained from visual and instrumental sea-ice observations via the digital television complex.

Keywords: Arctic Basin, shipborne sea-ice observations, nuclear icebreaker «50 let Pobedy», sea ice thickness, sea ice concentration, digital television complex

Введение

Второго августа 2021 г. в порту города Мурманск завершился второй и последний в этом сезоне туристический рейс атомного ледокола «50 лет Победы» к географической точке Северного полюса. Начиная с 2007 г., придя на смену атомным ледоколам «Россия», «Советский Союз» и «Ямал», атомоход регулярно принимает на борт туристов со всего мира. Обычно количество круизов достигает пяти-шести за летний сезон, с середины июня до середины августа. Однако в 2021 г. ввиду сложной эпидемиологической ситуации, вызванной распространением новой коронавирусной инфекции, было организовано только два «атомных» рейса преимущественно для российских туристов: первый круиз состоялся в период с 11 по 21 июля, второй — с 21 июля по 2 августа.

Маршрут ледокола стандартный: из порта Мурманск судно следует через проливы архипелага Земля Франца-Иосифа к Северному полюсу, а затем возвращается в порт через восточную или центральную части архипелага. Путь ледокола между островами архипелага может незначительно меняться в зависимости от ледовой обстановки и выбора мест для кратковременных высадок туристов на берег. На рисунке 1 представлена карта движения судна за минувший сезон.

В настоящее время судовые ледовые наблюдения занимают важное место в вопросе изучения ледяного покрова Северного Ледовитого океана. За периоды 1991–1996 гг., 2006–2013 гг., а также в 2018, 2019 и в 2021 гг. сотрудники Арктического и антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ) принимали активное участие в круизах с целью получения уникальной информации о состоянии льдов на участке от архипелага Земля Франца-Иосифа до Северного полюса. Эти данные представляют особый интерес, поскольку маршрут пересекает западную часть Трансарктического дрейфа, который является одним из основных элементов циркуляции морских льдов в Арктическом бассейне [напр., 1, 2].

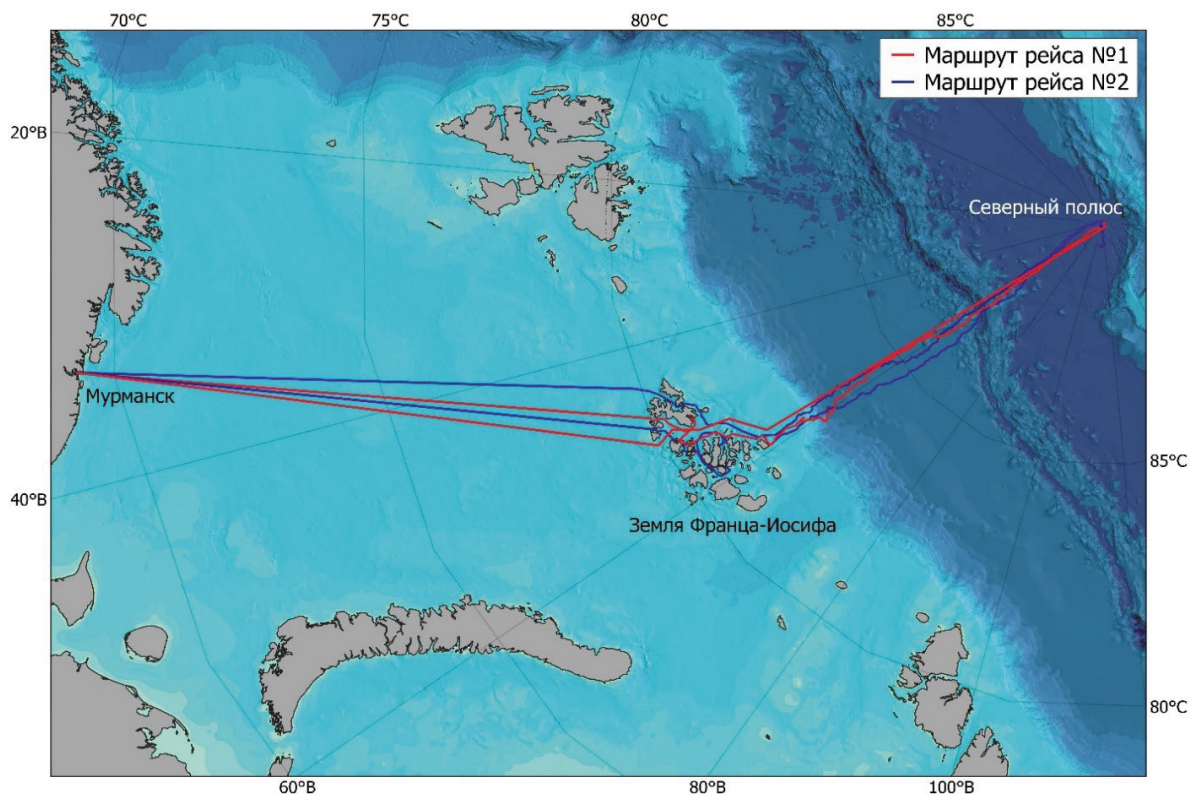


Рисунок 1 — Маршруты атомного ледокола «50 лет Победы» в летний сезон 2021 г.

Накопление данных судовых ледовых наблюдений, выполняемых по стандартному маршруту в летний сезон, и дальнейший их анализ позволяют оценивать происходящие пространственные и временные изменения основных параметров морских льдов в интересующем нас районе Северного Ледовитого океана [3]. Кроме того, получаемые в ходе туристических рейсов сведения об основных характеристиках морских льдов применяются для развития методов ледовых прогнозов и методов определения оптимального маршрута плавания, необходимых при гидрометеорологическом обеспечении плавания судов в Северном Ледовитом океане. Наконец, эти данные могут быть использованы для верификации моделей толщины арктического ледяного покрова (модель PIOMAS [4]) и данных спутниковой альтиметрии (спутников CryoSat-2, Envisat и SMOS [5–6], находящихся в настоящее время на орбите Земли), а также при дешифрировании спутниковых снимков и построении ледовых карт [7].

Методика проведения судовых ледовых наблюдений

Современные наблюдения за ледяным покровом с борта судна подразделяются на визуальные и инструментальные.

Специальные ледовые наблюдения осуществляются визуально с ходового мостика судна на основе методических принципов, разработанных в ААНИИ [8]. Основным принципом выполнения таких наблюдений является выделение однородных ледовых зон, для каждой из которых по району и по пути плавания судна оцениваются характеристики ледяного покрова. Среди определяемых ледовым наблюдателем параметров выделяются следующие: общая сплочённость льдов; частная сплочённость льдов различного возраста и их преобладающие формы; торосистость, разрушенность, сжатие и загрязнённость ледяного покрова; средняя и максимальная высоты торосистых образований; толщина ровного льда и высота снежного покрова; средняя ширина нарушений сплошности льда. В журнале ледовых наблюдений дополнительно фиксируются эксплуатационные показатели автономного движения судна в пределах выделенной однородной ледовой зоны. Попутно ведутся наблюдения за айсбергами, а также за представителями местной фауны: белыми медведями, моржами, тюленями и некоторыми видами птиц.

Инструментальные судовые наблюдения за ледяным покровом производятся при помощи разработанного в ААНИИ судового телевизионного комплекса (СТК) [9]. Ключевая задача комплекса заключается в фотофиксации «выворотов» отдельных льдин вдоль борта ледокола во время его движения в дрейфующих льдах — таким образом СТК регистрирует толщину ровного льда (вне торосистых образований). Полученные после первичной обработки фотоматериалы затем обрабатываются посредством прикладного программного обеспечения, разработанного специалистами института на интегрированной среде приложений Microsoft Visual Basic 6.0. С 2004 г. комплекс успешно применяется для оценки толщины льдов в Арктическом бассейне Северного Ледовитого океана на борту НЭС «Академик Фёдоров» и атомных ледоколов [напр., 3, 10–12].

Ледовые условия плавания в Арктическом бассейне в летний сезон 2021 г.

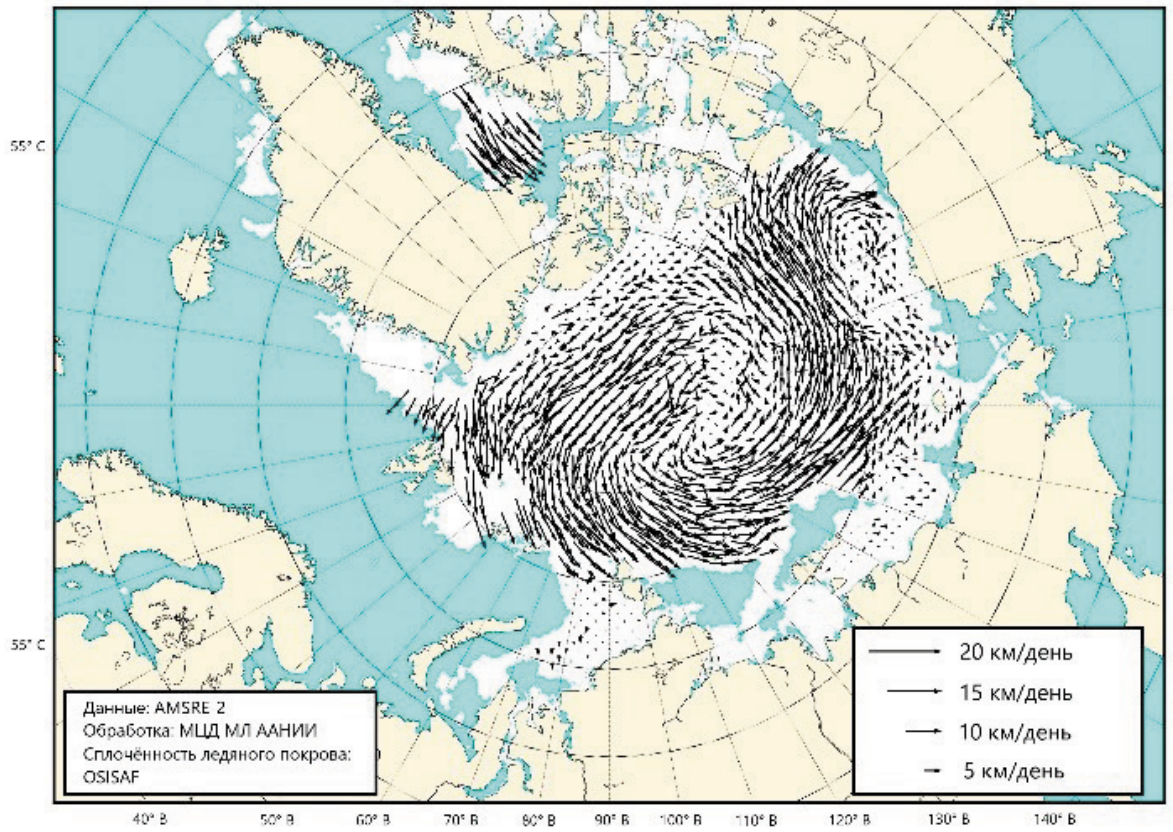
В настоящей работе приводятся результаты обработки данных судовых ледовых наблюдений, которые проводились в период с 11 июля по 2 августа 2021 г. Для общей оценки изменения ледовой обстановки по пути ледокола к Северному полюсу обратимся к обзорным ледовым картам Северного Ледовитого океана ААНИИ [13] на вторую половину июля 2021 г. В летний сезон, с июня по сентябрь, раскраска ледовых карт осуществляется только по общей сплочённости ледяного покрова.

К началу первого рейса, согласно ледовой карте от 11–13 июля, между архипелагами Шпицберген и Земля Франца-Иосифа наблюдался язык разреженного льда (сплочённостью 4–6 баллов) протяжённостью до $78,0^\circ$ с.ш., который к концу месяца разрушился в результате летнего таяния и дрейфа льдов. Таким образом, на середину второго круиза, к 25–27 июля, кромка льдов в этой части Баренцева моря сместилась к северу, на $79,5^\circ$ с.ш. По состоянию на 11–13 июля проливы архипелага Земля Франца-Иосифа были заняты льдом как дрейфующим, так и припайным. Однако во втором рейсе, согласно ледовой карте от 25–27 июля, на пути ледокола между островами архипелага хоть и встречались сплочённые льды, их количество существенно уменьшилось по сравнению с ледовой обстановкой на середину месяца. В приполюсном районе в июле 2021 г. преобладали льды сплочённостью 9–10 баллов.

Определение возраста ледяного покрова в летний период по спутниковым данным не представляется возможным, поскольку в результате сезонного таяния льдов появление слоя талой воды затрудняет визуальное различие его основных градаций на снимках во всех диапазонах [7]. Поэтому для приблизительной оценки возрастного состава ледяного покрова на начало первого туристического рейса используем обзорную ледовую карту Северного Ледовитого океана от 23–25 мая 2021 г. [13]. Вдоль $60,0^\circ$ в.д. от архипелага Земля Франца-Иосифа до Северного полюса преобладали однолетние льды толщиной от 30 до 200 см. Основной массив старых льдов концентрировался к северу от $83,0^\circ$ с.ш. и западу от $40,0^\circ$ в.д.; лишь небольшой язык старых льдов отмечался на $85,0^\circ$ с.ш. между $40,0^\circ$ и $57,5^\circ$ в.д.

Поскольку маршрут круизов проходит через Трансарктический дрейф, который следует в генеральном направлении к проливу Фрама, то к июлю кромка старых льдов в районе между архипелагом Земля Франца-Иосифа и Северным полюсом должна была сместиться западнее по сравнению с её положением в конце мая и предположительно не должна пересекать путь ледокола. Похожее расположение границы преобладания старых льдов в исследуемом районе ранее наблюдалось в 2012–2013 и 2015 гг. (см. обзорные ледовые карты в [13]). Однако за короткие интервалы осреднения в исследуемом районе может наблюдаться дрейф ледяного покрова любого направления, не совпадающего с генеральным. Так, на рисунке 2 приведены примеры карт скоростей дрейфа льдов для летнего сезона 2021 г. по данным The Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS (AMSR-E) [13], на которых направление его движения не соответствует среднемноголетнему, что теоретически могло привести к смещению массива старых льдов восточнее, до $60,0^\circ$ в.д. — долготы, вдоль которой проходил маршрут судна к Северному полюсу.

a)



б)

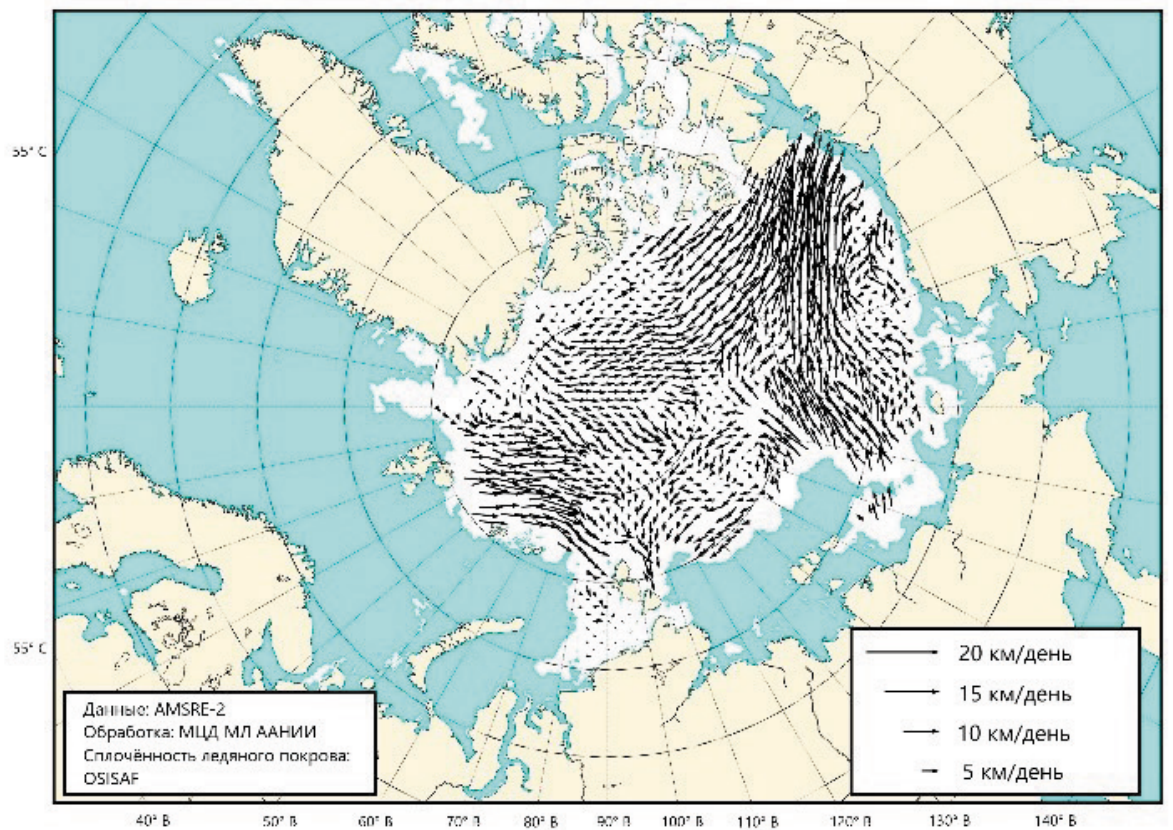


Рисунок 2 — Карты скоростей дрейфа ледяного покрова в Северном Ледовитом океане за периоды: (а) 21–28 июня и (б) 12–19 июля 2021 г. по данным AMSR-E [13].

На рисунке 3 представлено широтное изменение сплочённости од-нолетних и старых льдов по маршруту ледокола к Северному полюсу по данным визуальных наблюдений. В обоих круизах кромка дрейфующих льдов наблюдалась по маршруту судна ещё до достижения им архипелага Земля Франца-Иосифа: на $78,3^\circ$ с.ш. в первом и на $80,0^\circ$ с.ш. во втором рейсе — был зафиксирован наблюдающийся на ледовых картах язык льда, почти разрушившийся к началу второго рейса. Однако ледовые условия плавания в Арктическом бассейне в летний сезон 2021 г. на протяжении обоих круизов можно охарактеризовать как лёгкие.

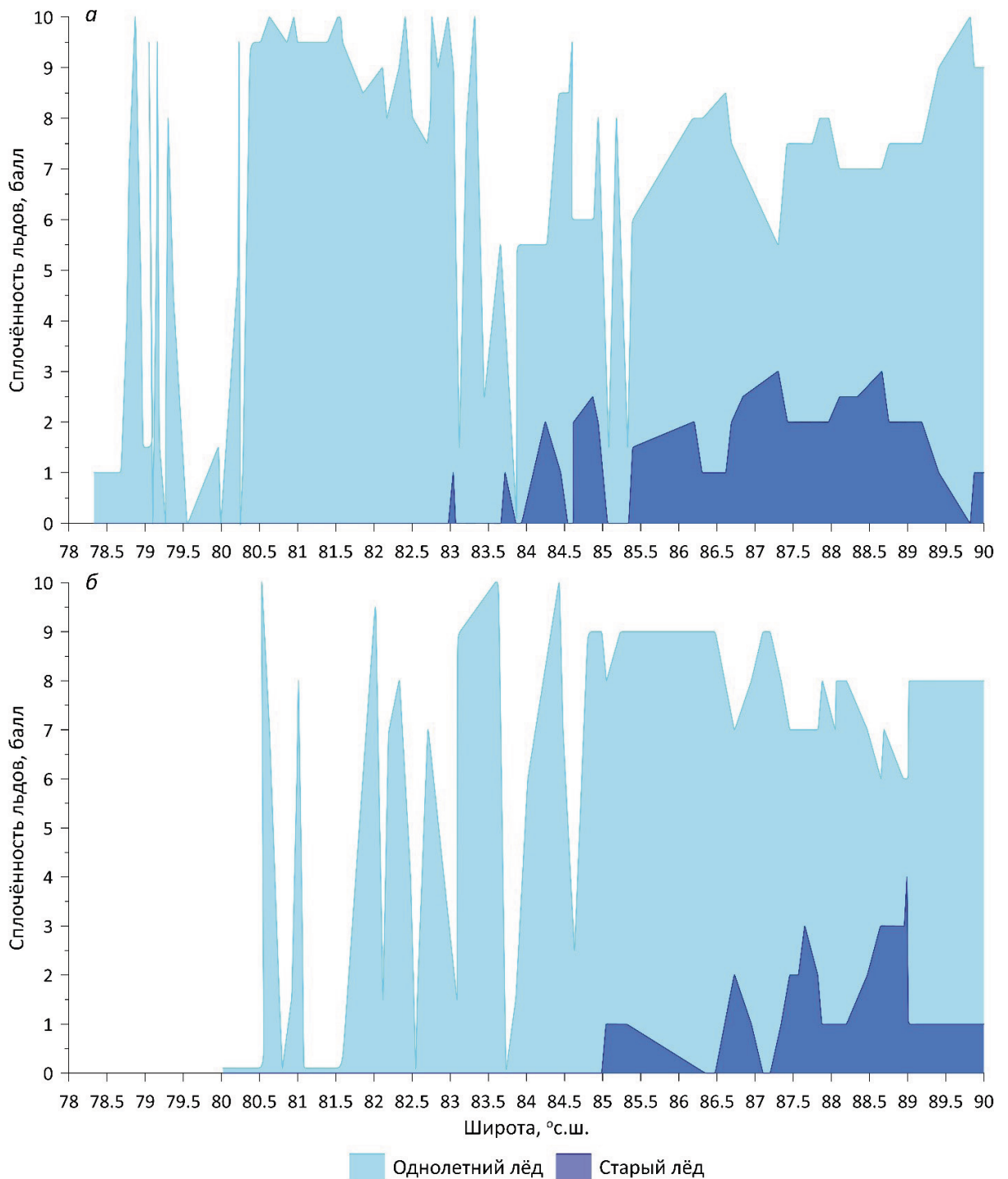


Рисунок 3 — Широтное распределение сплочённости однолетних и старых льдов (в баллах) по пути атомного ледокола «50 лет Победы» до Северного полюса между $45,0^\circ$ и $60,0^\circ$ в.д. в первом (а) и втором (б) рейсах 2021 г. по данным визуальных наблюдений

Отмечались преимущественно однолетние льды; их среднее количество составляло порядка 80 %. В первом рейсе включения старых льдов начали встречаться к северу от 83,7° с.ш., а во втором — несколько севернее, начиная с 85,1° с.ш. На протяжении всего маршрута количество старых льдов не превышало 20 %; во втором круизе была зафиксирована ледовая зона в районе 89,0° с.ш., где количество старых льдов достигло 40 %.

Процентное соотношение однолетних и старых льдов за период визуальных ледовых наблюдений приведено в таблице 1. Относительно периода 2006–2012 гг., ледяной покров в июле 2021 г. характеризовался большим количеством старых льдов, порядка 20 %, наряду с 2013 и 2018 гг. Однако количество старых льдов существенно сократилось по сравнению с 2019 г. (20 % в 2021 г. против 37 % в 2019 г.). Средняя толщина ровного льда в минувший летний сезон также значительно уменьшилась.

Таблица 1

Количество (в %) однолетних и старых льдов в июле по пути судна от северной оконечности архипелага Земля Франца-Иосифа до Северного полюса по данным визуальных наблюдений

Период / год	1991–1996	2006	2007	2008	2009	2010
Однолетний лёд	62	87	96	95	93	90
Старый лёд	38	13	4	5	7	10
Год	2011	2012	2013	2018	2019	2021
Однолетний лёд	93	88	81	80	63	80
Старый лёд	7	12	19	20	37	20

Толщина ровного льда по результатам судовых ледовых наблюдений

Наиболее точным и надёжным способом определения толщины льда в Арктическом бассейне являются данные судовых наблюдений. Поэтому участие в туристических рейсах ледового наблюдателя и выполнение им визуальных и инструментальных наблюдений за толщиной ледяного покрова является важным источником информации. На рисунке 4 показано изменение средней толщины ровного льда (вне торосистых образований) в июле за период судовых визуальных наблюдений в туристических рейсах к Северному полюсу. Средняя толщина ледяного покрова в период 1991–1996 гг. составляла 187 см, а к 2006 г. произошло её значительное сокращение до 160 см, т.е. на 14 %; с 2007 по 2019 гг. средние толщины ровного льда колебались от 105 (в 2012 и 2018 гг.) до 135 см (в 2013 г.). По данным визуальных наблюдений средняя толщина ровного льда в 2021 г. уменьшилась в 2 раза по сравнению с 1991–1996 гг. и составила 95 см, что является минимальной за историю ледовых наблюдений ААНИИ с 1991 г. толщиной, зафиксированной с борта ледокола в исследуемом районе Северного Ледовитого океана. Средняя толщина ровного льда в ходе первого и второго туристического рейса составила 108 и 83 см соответственно.

Сокращение средней толщины ровного льда характерно как для старых, так и для однолетних льдов. Однако в июле степень её сокращения более значима для последних: так, за весь период визуальных наблюдений,

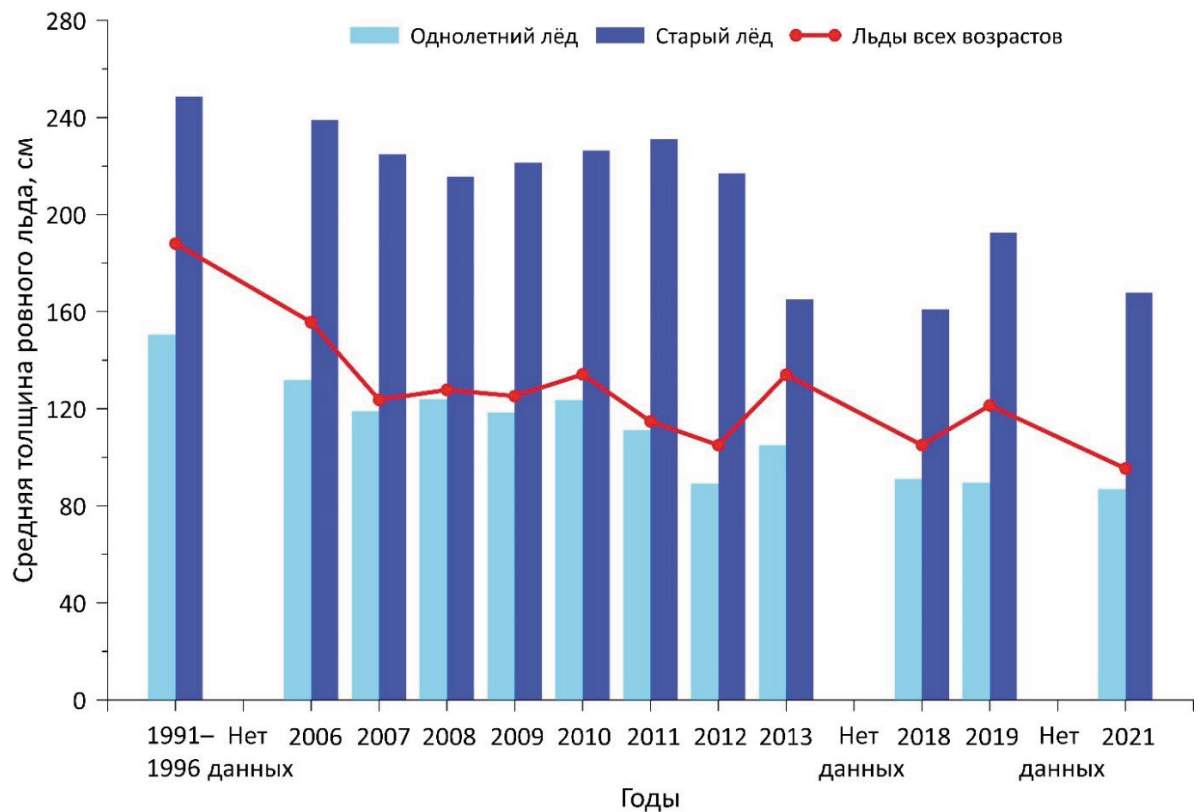


Рисунок 4 — Средняя толщина ровного льда (в см) в июле по пути судна от северной оконечности архипелага Земля Франца-Иосифа до Северного полюса по данным визуальных наблюдений.

с 1991 до 2021 гг., средняя толщина однолетнего ледяного покрова уменьшилась на 42 % (на 65 см), в то время как средняя толщина старых льдов — на 32 % (на 81 см). В 2021 г. средняя толщина однолетних льдов достигла своего наименьшего значения, составив 87 см; средняя же толщина старых льдов, наоборот, увеличилась относительно установленного минимума 2018 г. (168 см в 2021 г. против 161 см в 2018 г.).

Внедрение СТК в практику судовых ледовых наблюдений позволило получать более достоверные и статистически значимые массивы данных по толщине ровного льда на пути ледокола. К основным достоинствами комплекса относятся автоматизация наблюдений, их стандартизация и исключение субъективных факторов на качество получаемых данных, что выгодно отличает инструментальные наблюдения за ледяным покровом от визуальных.

Всего в туристических рейсах в июле 2021 г. выполнено около 14 тыс. измерений толщин ровного льда. На рисунке 5 представлено широтное изменение толщины ледяного покрова по маршруту судна по данным СТК. По мере продвижения ледокола к полюсу наблюдается постепенное увеличение толщины ровного льда: от 80 до 120 см в первом и от 69 до 105 см во втором круизе. Следует отметить, что максимальная толщина ровного льда отмечалась в диапазоне широт 89,1°–89,5° с.ш., составив 126 и 109 см соответственно для первого и второго рейса. Средняя толщина ледяного покрова вне торосистых образований в ходе первого и второго круиза составила 109 и 93 см соответственно. Полученные средние значения инструментальных измерений хорошо согласуются с результатами визуальных наблюдений при допустимой ошибке визуальной регистрации толщины в ± 10 см [9]: так, разница между толщинами ровного льда равна 1 см для первого и 10 см для второго рейса, причём СТК даёт большие величины.

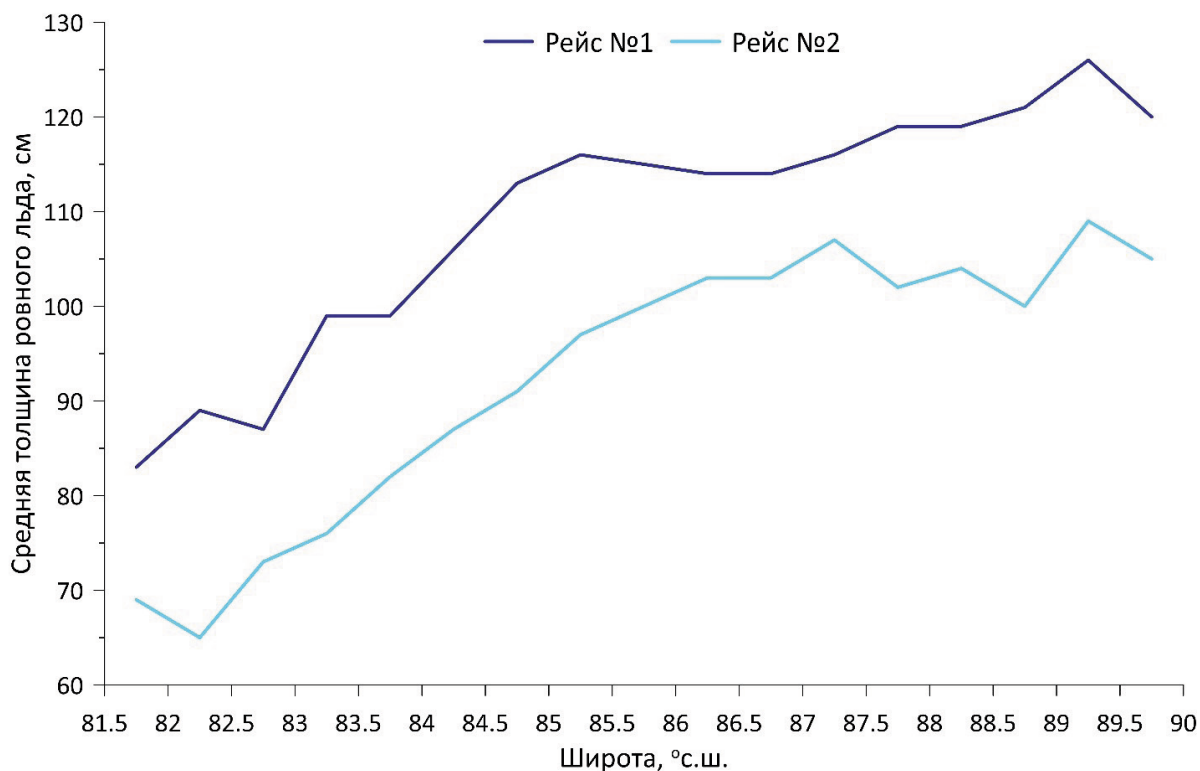


Рисунок 5 — Широтное распределение средней толщины ровного льда (в см) в июле по пути атомного ледокола «50 лет Победы» от северной оконечности архипелага Земля Франца-Иосифа до Северного полюса по данным СТК

Широтное распределение средней толщины ровного льда (в см) в июле по пути атомного ледокола «50 лет Победы» от северной оконечности архипелага Земля Франца-Иосифа до Северного полюса по данным СТК

Рисунок 6 показывает широтное распределение толщины ровного ледяного покрова на пути судна по данным судового комплекса. При движении ледокола между 82,0° и 84,0° с.ш. в ходе первого круиза чаще всего наблюдались льды толщиной 60–80 см (30 %) и 80–100 см (30 %), в ходе второго — 60–80 см (32 %) и 40–60 см (29 %). Движение судна в широтах 84,0°–86,0° с.ш. в первом туристическом рейсе осуществлялось во льдах толщиной 100–120 см (31 %) и 120–140 см (28 %), а во втором — в более тонких льдах 80–100 см (33 %) и 60–80 см (25 %). Наиболее повторяющиеся толщины ровного льда на протяжении плавания судна между 86,0° и точкой Северного полюса распределились следующим образом: в ходе первого рейса преобладали льды 120–140 см (32 % и 31 % для диапазонов 86,0°–88,0° с.ш. и 88,0°–90,0° с.ш. здесь и далее соответственно) и 100–120 см (28 % и 29 % соответственно), в ходе второго — 80–100 см (29 % и 31 % соответственно) и 100–120 см (30 % и 28 % соответственно).

Следует отметить, что малая повторяемость льдов толщиной от 20 до 40 см (не более 4 %) объясняется спецификой эксплуатации СТК. Такие тонкие льды при взаимодействии с судном не встают на «ребро» параллельно его корпусу, а сдвигаются им в сторону, что не позволяет камере зарегистрировать толщину. Кроме того, повторяемость толщин ровного льда более 300 см, полученных при обработке данных комплекса, составила существенно меньше 1 % (всего 2 случая: 84,0°–86,0° с.ш., первый рейс, 345 см; и 86,0°–88,0° с.ш., второй рейс, 365 см), поэтому она не приведена на итоговом графике распределения (рисунок 6).

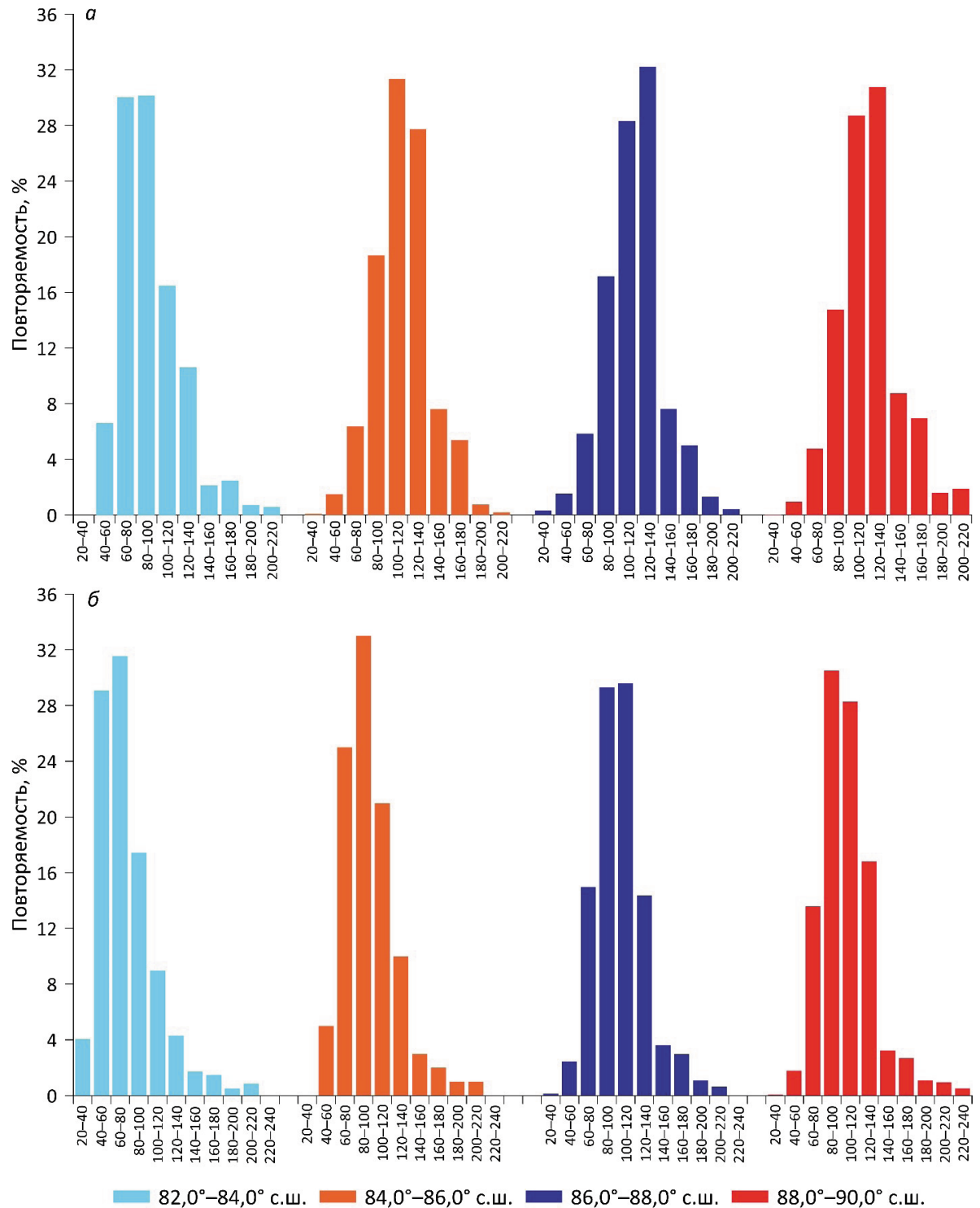


Рисунок 6 — Распределение толщин ровного льда в июле по пути атомного ледокола «50 лет Победы» от северной оконечности архипелага Земля Франца-Иосифа до Северного полюса в первом (а) и втором (б) рейсах 2021 г. по данным СТК.

Заключение

В период туристических рейсов к географической точке Северного полюса на борту атомного ледокола «50 лет Победы» в июле 2021 г. были получены уникальные данные о состоянии ледяного покрова Арктического бассейна, включая толщину ровного льда (вне торосистых образований) и распределение возрастного состава льдов. Систематизация данных судовых ледовых наблюдений, накопленных за годы круизов по

традиционному маршруту в течение летнего периода, позволяют оценить межгодовые и пространственные изменения основных параметров морских льдов Северного Ледовитого океана. Регулярное участие сотрудников ААНИИ в рейсах на борту атомных ледоколов к Северному полюсу даёт уникальную возможность для решения ряда научных задач, связанных с динамикой морских льдов и климатическими изменениями в Арктике.

В летний сезон 2021 г. ледовые условия плавания в Арктическом бассейне Северного Ледовитого океана характеризовались как лёгкие. За всю историю визуальных ледовых наблюдений ААНИИ в исследуемом районе в 2021 г. была зарегистрирована минимальная толщина ровного льда, которая составляет 95 см. С 1991 г. толщина ровного льда в среднем сократилась на 92 см; при этом толщина однолетних льдов уменьшилась на 65 см, а старых — на 81 см. Кроме того, результаты инструментальных измерений средней толщины ровного льда, полученных с помощью СТК, хорошо согласуются с данными визуальных наблюдений при допустимой ошибке визуальной регистрации толщины в ± 10 см. Представленные в настоящей статье результаты коррелируют с другими оценками изменения толщины морских льдов и его возрастного состава, полученных по данным спутниковой альтиметрии [напр., 14–16].

Список литературы:

1. Волков В.А., Мушта В.А., Демчев Д.М., Коржиков А.Я., Сандвен С. Связь крупномасштабной изменчивости поля дрейфа льда в Северном Ледовитом океане с климатическими изменениями общей ледовитости, происходящими в течение последних десятилетий // Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. №2. С. 50–63.
2. Волков В.А., Мушта В.А., Демчев Д.М. Закономерности изменения крупномасштабной структуры поля дрейфа морского льда в Северном Ледовитом океане (на основе спутниковых данных 1978–2017 гг.) // Доклады Академии наук. 2019. Т. 488. №4. С. 437–439. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524884439-442>.
3. Алексеева Т.А., Сероветников С.С., Фролов С.В., Соколов В.Т. Ледовые условия плавания в Арктическом бассейне в летний период 2018 года // Российская Арктика. 2018. № 2. С. 31–40.
4. Zhang J.L., Rothrock D.A. Modeling global sea ice with a thickness and enthalpy distribution model in generalized curvilinear coordinates // Monthly Weather Review. 2003. Vol. 131. P. 845–861. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2003\)131<0845:MCSIWA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2003)131<0845:MCSIWA>2.0.CO;2).
5. Tilling R., Ridout A., Shepherd A. Assessing the Impact of Lead and Floe Sampling on Arctic Sea Ice Thickness Estimates from Envisat and CryoSat-2 // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2019. Vol. 124. No. 11. P. 7473–7485. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019JC015232>.
6. Ricker R., Hendricks S., Kaleschke L., Tian-Kunze X., King J., Haas C. A weekly Arctic sea-ice thickness data record from merged CryoSat-2 and SMOS satellite data // The Cryosphere. 2017. Vol. 11. P. 1607–1623. DOI: <https://doi.org/10.5194/tc-11-1607-2017>.
7. 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.
8. Руководство по производству судовых специальных ледовых наблюдений. СПб.: ААНИИ, 2011. 211 с.
9. Сероветников С.С., Фролов С.В., Клейн А.Э. Судовой телевизионный комплекс – реализация автоматизированной системы натуральных измерений толщины морского льда // Российская Арктика. 2018. №2. С. 41–55. DOI: <https://doi.org/10.24411/2658-4255-2018-00017>.
10. Фролов С. В., Третьяков В. Ю., Клейн А. Э., Алексеева Т. А. Толщина льда и её изменчивость в Арктическом бассейне в 2006–2009 гг. // Лёд и снег. 2011. Т. 3. № 115. С. 99–104.
11. Фролов С.В., Клейн А.Э., Третьяков В.Ю. Результаты использования цифрового телевизионного комплекса для измерения толщины льда в Арктическом бассейне в 2004–

- 2005 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. № 75. С. 123–127.
12. Фролов С.В., Федяков В.Е., Третьяков В.Ю., Клейн А.Э., Алексеев Г.В. Новые данные об изменении толщины льда в Арктическом бассейне // Доклады Академии наук. 2009. Т. 425. № 1. С. 104–108.
 13. Мировой центр данных по морскому льду. URL: <http://wdc.aari.ru> (дата обращения 25.11.2021).
 14. Kwok R. Arctic sea ice thickness, volume, and multiyear ice coverage: losses and coupled variability (1958–2018) // Environmental Research Letters. 2018. Vol. 13. No. 10. 105005. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae3ec>.
 15. Gascard J.-C., Zhang J., Rafizadeh M. Rapid decline of Arctic sea ice volume: Causes and consequences // The Cryosphere Discussions. 2019. [preprint]. DOI: <https://doi.org/10.5194/tc-2019-2>.
 16. Laxon S.W., Giles K.A., Ridout A.L., Wingham D.J., Willatt R., Cullen R., Kwok R. Schweiger A., Zhang J., Haas C., Hendricks S., Krishfield R., Kurtz N., Farrell S., Davidson M. CryoSat-2 estimates of Arctic sea ice thickness and volume // Geophysical Research Letters. 2013. Vol. 40. No. 4. P. 7372–7377. DOI: <https://doi.org/10.1002/grl.50193>.

References:

1. Volkov V.A., Mushta V.A., Demchev D.M., Korzhikov A.YA., Sandven S. Svyaz' krupnomasshtabnoj izmenchivosti polya drejfa l'da v Severnom Ledovitom okeane s klimaticheskimi izmeneniyami obshchej ledovitosti, proiskhodyashchimi v techenie poslednih desyatiletij [Relation of large-scale variations of the sea ice drift fields in the Arctic Ocean with climatic changes of total ice concentrations during last decades]. Problemy Arktiki i Antarktiki – Arctic and Antarctic Research, 2016, no. 2, pp. 50–63. (In Russian).
2. Volkov V.A., Mushta A.V., Demchev D.M. Zakonomernosti izmeneniya krupnomasshtabnoj struktury polya drejfa morskogo l'da v Severnom Ledovitom okeane (na osnove sputnikovyh dannyh 1978–2017 gg.) [Regularities of the variability of large-scale sea ice drift structures in the Arctic Ocean (based on satellite data 1978–2017)]. Doklady Akademii nauk – Proceedings of the Academy of Sciences, 2019, vol. 488, no. 4, pp. 437–439. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524884439-442>.
3. Alekseeva T.A., Serovetnikov S.S., Frolov S.V., Sokolov V.T. Ledovye usloviya plavaniya v Arkticheskom bassejne v letnij period 2018 goda [Ice conditions of navigation in the Arctic Basin in summer 2018]. Rossijskaya Arktika – Russian Arctic, 2018, no. 2, pp. 31–40. (In Russian).
4. Zhang J.L., Rothrock D.A. Modeling global sea ice with a thickness and enthalpy distribution model in generalized curvilinear coordinates. Monthly Weather Review, 2003. vol. 131, pp. 845–861. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2003\)131<0845:MGSIWA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2003)131<0845:MGSIWA>2.0.CO;2).
5. Tilling R., Ridout A., Shepherd A. Assessing the Impact of Lead and Floe Sampling on Arctic Sea Ice Thickness Estimates from Envisat and CryoSat-2. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2019, vol. 124, no. 11, pp. 7473–7485. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019JC015232>.
6. Ricker R., Hendricks S., Kaleschke L., Tian-Kunze X., King J., Haas C. A weekly Arctic sea-ice thickness data record from merged CryoSat-2 and SMOS satellite data. The Cryosphere, 2017, vol. 11, pp. 1607–1623. DOI: <https://doi.org/10.5194/tc-11-1607-2017>.
7. Afanas'eva E.V., Alekseeva T.A., Sokolova YU.V., Demchev D.M., CHufarova M.S., Bychenkov YU. D, Devyataev O.S. Metodika sostavleniya ledovyh kart AANII [AARI methodology for sea ice charts composition]. Rossijskaya Arktika – Russian Arctic, 2019, no. 7, pp. 5–20. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.24411/2658-4255-2019-10071>.
8. Rukovodstvo po proizvodstvu sudovyh special'nyh ledovyh nablyudenij [Guidelines for the production of shipboard special ice observations]. St. Petersburg, AANII Publ., 2011, 211 p. (In Russian).
9. Serovetnikov S.S., Frolov S.V., Klejn A.E. Sudovoj televizionnyj kompleks – realizaciya avtomatizirovannoj sistemy naturnyh izmerenij tolshchiny morskogo l'da [Ship-based television complex – the program for automatic sea ice thickness monitoring]. Rossijskaya Arktika – Russian Arctic, 2018, no. 2, pp. 41–55. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.24411/2658-4255-2018-00017>.
10. Frolov S. V., Tret'yakov V. YU., Klejn A. E., Alekseeva T. A. Tolshchina l'da i eyo izmenchivost' v Arkticheskom bassejne v 2006–2009 gg. [Ice thickness and its variability in the Arctic Basin in 2006–2009]. Lyod i sneg – Ice and Snow, 2011, vol. 3, no. 115, pp. 99–104. (In Russian).
11. Frolov S.V., Klejn A.E., Tret'yakov V.YU. Rezul'taty ispol'zovaniya cifrovogo televizionnogo

- kompleksa dlya izmereniya tolshchiny l'da v Arkticheskom bassejne v 2004–2005 gg. [Results of using a digital TV complex for ice thickness measurements in the Arctic Basin in 2004–2005]. Problemy Arktiki i Antarktiki – Arctic and Antarctic Research, 2007, № 75, pp. 123–127. (In Russian).
12. Frolov S.V., Fedyakov V.E., Tret'yakov V.YU., Klejn A.E., Alekseev G.V. Novye dannye ob izmenenii tolshchiny l'da v Arkticheskom bassejne [New data on changes in ice thickness in the Arctic basin]. Doklady Akademii nauk – Proceedings of the Academy of Sciences – 2009, vol. 425, no. 1, pp. 104–108. (In Russian).
 13. World Data Center Sea Ice file server. Available at: <http://wdc.aari.ru> (accessed 25.11.2021).
 14. Kwok R. Arctic sea ice thickness, volume, and multiyear ice coverage: losses and coupled variability (1958–2018). Environmental Research Letters, 2018, vol. 13, № 10, 105005. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae3ec>.
 15. Gascard J.-C., Zhang J., Rafizadeh M. Rapid decline of Arctic sea ice volume: Causes and consequences. The Cryosphere Discussions, 2019. [preprint]. DOI: <https://doi.org/10.5194/tc-2019-2>.
 16. Laxon S.W., Giles K.A., Ridout A.L., Wingham D.J., Willatt R., Cullen R., Kwok R. Schweiger A., Zhang J., Haas C., Hendricks S., Krishfield R., Kurtz N., Farrell S., Davidson M. CryoSat-2 estimates of Arctic sea ice thickness and volume. Geophysical Research Letters, 2013, vol. 40, no. 4, pp. 7372–7377. DOI: <https://doi.org/10.1002/grl.50193>.

УДК 620.92:621.31:621.3.05
 DOI: 10.24412/2658-4255-2021-4-81-91

Для цитирования:

К.А. Змиева Интеграция зеленой и возобновляемой энергетики в интеллектуальную энергетическую систему арктических территорий посредством технологии блокчейна // Российская Арктика. 2021. № 15. С. 81–91

Получена: 07.12.2021
 Принята: 28.12.2021
 Опубликовано: 29.12.2021



Статья распространяется в полнотекстовом формате на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0

ИНТЕГРАЦИЯ ЗЕЛЕННОЙ И ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНУЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ ПОСРЕДСТВОМ ТЕХНОЛОГИЙ БЛОКЧЕЙНА

К.А. Змиева¹

¹ Московский Государственный Технологический Университет «СТАНКИН», г. Москва, Россия

kirazmieva@mail.ru

Аннотация: Сегодня Арктика характеризуется, с одной стороны, огромным объёмом разведанных запасов углеводородов (основных источников электроэнергии в мире), а с другой – серьёзными проблемами с электроснабжением региона. Самые северные районы России не включены в систему централизованного электроснабжения (по высоковольтным линиям электропередач) и традиционно снабжаются электроэнергией от устаревших дизельных электрогенераторов и небольших угольных станций [1]. Арктика сегодня остро нуждается во внедрении современных автономных возобновляемых источников энергии. Для интеграции «зелёной» энергетики в традиционную систему электроснабжения наиболее эффективно применить концепцию интеллектуальной энергетической сети (smart grid). Интеграция и координация большого количества растущих подключений может быть сложной задачей для традиционной централизованной сетевой системы. Поэтому блокчейны или распределённые бухгалтерские книги вызывают значительный интерес и у разработчиков инновационных решений для энергетического комплекса, и у компаний, занимающихся поставками энергии, а также у финансовых учреждений и правительств развитых стран.

Ключевые слова: энергетика, блокчейн, Арктика, возобновляемые источники энергии, интеллектуальная энергетическая система

INTEGRATION OF GREEN AND RENEWABLE ENERGY INTO THE INTELLIGENT ENERGY SYSTEM OF THE ARCTIC TERRITORIES THROUGH BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES

K. Zmieva¹

¹ Moscow State Technological University "STANKIN", Russia

Abstract: Today, the Arctic is characterized, on the one hand, by a huge amount of proven hydrocarbon reserves (the main sources of electricity in the world), and on the other hand, by serious problems with the region's electricity supply. The northernmost regions of Russia are not included in the centralized power supply system (via high-voltage power lines) and are traditionally supplied with electricity from outdated diesel generators and small coal-fired power plants [1]. The Arctic today is in urgent need of the introduction of modern autonomous renewable energy sources. To integrate "green" energy into the traditional power supply system, it is most effective to apply the concept of an intelligent energy network (smart grid). Integrating and coordinating a large number of growing connections can be challenging for a traditional centralized network system. Therefore, blockchains or distributed ledgers are of considerable interest

to developers of innovative solutions for the energy sector, and companies involved in energy supplies, as well as financial institutions and governments of developed countries.

Keywords: energy, blockchain, Arctic, renewable energy sources, intelligent energy system

Введение

Многочисленные источники, определяют блокчейн технологии, как обладающие потенциалом для получения значительных преимуществ. Блокчейны обещают прозрачные, защищённые от несанкционированного доступа и информационно безопасные (далее – безопасные) системы, которые могут обеспечить новые бизнес-решения, особенно в сочетании с интеллектуальными («смарт») контрактами. Следовательно, интеллектуальная сеть претерпевает трансформацию в децентрализованную топологию из её централизованной формы. С другой стороны, блокчейн обладает некоторыми отличными функциями, которые делают его перспективным приложением для парадигмы интеллектуальных сетей. В этой статье показана возможность применения перспективных блокчейн технологий для управления инновационной энергетической системой, включающей традиционные и возобновляемые источники энергии (ВИЭ).

В последние несколько десятилетий традиционные централизованные энергетические системы, работающие на ископаемом топливе, столкнулись с некоторыми серьёзными проблемами, такими как передача энергии на большие расстояния, выбросы углерода, загрязнение окружающей среды и энергетический кризис. Для построения устойчивого общества необходимо решать эти проблемы путём использования ВИЭ или «зелёной» энергетики, а также повышения эффективности использования энергии.

Сегодня энергетические системы развитых стран мира претерпевают быстрые изменения, чтобы приспособиться к растущим объёмам встроенной возобновляемой генерации, такой как ветровая и солнечная фотоэлектрическая энергия. ВИЭ претерпели массовое развитие в последние годы, чему способствовали приватизация, разделение энергетического сектора и финансовое стимулирование в области энергетической политики. В 2016 году 24,6% валового потребления электроэнергии в Великобритании было произведено за счёт ВИЭ, в основном за счёт наземных и морских ветряных электростанций и солнечных фотоэлектрических установок, что составляет 44,9% и 12,5% от общей установленной мощности ВИЭ 35,7 ГВт соответственно. В Российской Арктике в силу множества причин, таких как большая удалённость потребителей, неэффективность и дороговизна включения удалённых территорий в централизованную систему энергоснабжения, высокая стоимость привозного топлива, - развитие возобновляемой энергетики является неизбежным. Но есть особенности и сложности во внедрении ВИЭ: их работу трудно предсказать, т.к. она существенно зависит от погодных условий, что порождает новые проблемы в управлении и эксплуатации электроэнергетических систем, поскольку для обеспечения безопасной эксплуатации и стабильности энергоснабжения требуются более гибкие меры. Необходимо одновременно обеспечить быстрое действие таких систем, создать оборудование

и условия для хранения энергии, а также оперативно реагировать на изменение спроса.

В последние годы концепция "умной сети" [2]– [6], которая включает в себя коммуникационные технологии, взаимосвязанную энергосистему, передовые технологии управления и интеллектуальный учёт, начала применяться и для внедрения возобновляемой энергетики. Новым этапом развития Smart Grid стал Smart Grid 2.0 или Энергетический Интернет, представляющий собой эффективную интеграцию «Умной сети» с современными интернет-технологиями. Цель этого нового, инновационного подхода состоит в том, чтобы обеспечить подключение энергии в любом месте и в любое время. Такая концепция была разработана с целью обеспечения того, чтобы все участники энергорынка имели возможность:

- тесно взаимодействовать друг с другом,
- принимать решения самостоятельно,
- обмениваться энергией и связанной с ней информацией в нескольких направлениях,
- плавного доступа к разным типам распределённых энергоресурсов,
- использовать как централизованные, так и распределённые источники энергии,
- производить, продавать, покупать и потреблять энергию в необходимых объёмах.

Поскольку возможности подключения расширяются, серьёзной проблемой является интеграция и координация большого количества подключений, таких как растущие производители распределённой энергии, их потребители, электромобили, интеллектуальные устройства и киберфизические системы в рамках традиционной централизованной сетевой системы. Централизованное управление такой постоянно растущей сетью потребует сложной и дорогостоящей информационно-коммуникационной инфраструктуры. Таким образом, децентрализация является одним из фундаментальных требований при разработке концепции Энергетического Интернета.

Однако децентрализованная интеллектуальная сетевая система с большим количеством компонентов и сложных соединений может оказаться небезопасной в части конфиденциальности информации, надёжности и доверия к самой системе. Для решения этой проблемы предлагается использовать современные технологии блокчейна, уже зарекомендовавшие себя на финансовых рынках [7]–[10].

Сегодня блокчейн открывает новые возможности для создания децентрализованных систем. Для управления блокчейном не требуется центрального доверенного органа; вместо этого несколько объектов в сети могут взаимодействовать между собой для создания, поддержки и хранения цепочки блоков. Каждая организация может проверить, что порядок цепочки и данные не были изменены. То есть такая децентрализованная система устойчива к системным сбоям и кибератакам и решает многие проблемы централизованной системы. Хотя блокчейн изначально представлен как цифровая валюта [11], благодаря своим превосходным свойствам, он привлекает огромное внимание и во многих других неденежных приложениях. В то же время, помимо цифровых валют, блокчейн также способствует реализации безопасных, сохраняющих конфиденциальность и надёжность разработок интеллектуальных сетей в направлении их децентрализации.

Хотя блокчейн в smart grid является новой областью исследований, он

уже привлёк значительное внимание. В настоящее время в разных странах мира ведутся исследования для решения проблем безопасности, конфиденциальности и доверия в интеллектуальных сетях с помощью блокчейна [12]-[15]. Обзор потенциальных преимуществ блокчейна для интеллектуальной энергетической системы представлен в [14], где обсуждаются соответствующие блокчейн-платформы и проекты.

Блокчейн в интеллектуальной сети

В этом разделе представлены потенциальные возможности применения блокчейна в smart grid. Таким образом, сначала подробно обсудим, какой будет будущая интеллектуальная сетевая система. Далее опишем функции блокчейна, а также безопасность, конфиденциальность и цели доверия, которые могут быть решены с помощью блокчейна, чтобы показать, как они в конечном итоге будут мотивировать применять блокчейн в smart grid.

Как обсуждалось во вступительном разделе, концепция smart grid была представлена новой сетевой инфраструктурой, которая использует цифровые вычислительные и коммуникационные технологии для преобразования и модернизации традиционной устаревшей сети в более точную, эффективную и интеллектуальную сеть доступа и доставки энергии. Эти преобразования и модернизация произошли из-за агрессивного изменения климата и необходимости устойчивых источников энергии. Конечной целью этих преобразований и модернизации является реформирование энергетического ландшафта путём интеграции и использования большего количества возобновляемых и распределённых энергетических ресурсов и снижения зависимости от ископаемого топлива. В то время как традиционная устаревшая сеть обслуживает потребителей по линиям передачи на большие расстояния, парадигма интеллектуальных сетей сближает производителей и потребителей друг с другом за счёт развёртывания независимых распределённых производителей возобновляемой энергии.

Совсем недавно была введена концепция энергетического Интернета (EI), которая определяется как обновлённая версия интеллектуальной сетевой системы. EI характеризуется интернет-технологиями для разработки интеллектуальных сетей следующего поколения путём интеграции информации, энергетики и экономики. EI призван предоставить прекрасную возможность для обеспечения беспрепятственной интеграции разнообразных чистых и возобновляемых источников энергии в сеть, а также обеспечить более тесное взаимодействие между различными элементами энергосистемы для создания полностью автономной и интеллектуальной энергетической сети. Ключевая идея EI заключается в том, чтобы можно было эффективно обмениваться как энергией, так и информацией, аналогично обмену данными в Интернете. Элементами подобной сети являются традиционные генераторные установки, микросети, распределённые энергетические ресурсы, генерируемые сообществом энергетические сети, устройства хранения энергии, электромобили, киберфизические системы, потребители, поставщики услуг и энергетические рынки.

Хотя интеллектуальная сеть и Энергетический Интернет призваны обеспечить возможность адаптации как распределённых, так и централизованных источников энергии, одним из ключевых недостатков этой конструкции является наличие централизованной топологии, в которой

производство энергии, сеть транспортировки и доставки и рынки каким-то образом зависят от централизованных или промежуточных организаций. В этой централизованной системе элементы интеллектуальной сети взаимодействуют с централизованными объектами, которые могут отслеживать, собирать и обрабатывать данные и поддерживать все элементы соответствующими управляющими сигналами. Кроме того, передача энергии обычно осуществляется по сети на большие расстояния для доставки энергии конечным потребителям через распределительную сеть. К сожалению, из-за быстрого роста числа ВИЭ, а также постоянно растущего числа других элементов, нынешний дизайн системы smart grid вызывает некоторые опасения. Возникают проблемы масштабируемости, расширяемости, больших вычислительных и коммуникационных нагрузок, а также обеспечения безопасности.

Таким образом, трансформация в децентрализованную систему — это тенденция в smart grid, направленная на создание более динамичных, интеллектуальных и упреждающих функций. Сама сетевая инфраструктура также проходит адаптацию и переходит к полностью автоматизированной сети с децентрализованной топологией, чтобы динамично расширять взаимодействие между всеми компонентами интеллектуальных сетевых систем. Возможности подключения и доступности, которые предлагает EI, дополнительно обеспечивают более высокий уровень экономической, эффективной и надёжной работы системы интеллектуальных сетей.

Мотивы применения блокчейна в парадигме Smart Grid

Безопасность, конфиденциальность и доверие являются ключевыми проблемами для каждой системы. Современная интеллектуальная сеть должна обеспечивать:

- надёжность энергоснабжения потребителя,
- запрет получения информации несанкционированными лицами,
- надлежащие криптографические механизмы,
- доступ с правами и привилегиями,
- предоставление доказательств того, что субъект совершил конкретные действия,
- отказоустойчивость, устойчивость к атакам,
- повышение эффективности мониторинга,
- использование передовых методов сохранения конфиденциальности для защиты раскрытия информации
- повышение доверия и прозрачности.

Для традиционных энергосетей большинство решений построено на централизованных моделях, где компоненты сетей зависят либо от централизованных платформ, либо от посредников для получения таких услуг, как выставление счетов, мониторинг, торги, торговля энергией и т.д. Хотя эти решения являются зрелыми и работают правильно, с нынешней системой интеллектуальных сетей связано несколько сложных проблем. Более того, как уже упоминалось ранее, интеллектуальная сеть облегчает интеграцию большого количества электропотребителей. Таким образом, сама топология сети адаптируется и переходит от централизованной топологии к децентрализованной и полностью автоматизированной сети, чтобы обеспечить более тесное взаимодействие между компонентами. Кроме того, рынок интеллектуальных сетей трансформируется в децентрализованную интерактивную сеть для потребителей из центра-

лизованной сети управления производителями с помощью концепции энергетического интернета.

В этой связи применение блокчейна предоставляет возможность облегчить эту трансформацию благодаря следующим функциям, которые делают его подходящим для применения.

Децентрализация: Сеть блокчейна обычно поддерживается различными децентрализованными узлами с помощью согласованных протоколов. Эта сеть обычно может работать в одноранговом режиме, не доверяя централизованному доверенному органу для авторизации и обслуживания.

Масштабируемость: Узлы в сети блокчейна способны расширять сеть по мере того, как всё больше и больше узлов могут присоединяться к сети. В основном это связано с децентрализованным характером блокчейн-сети, которая поддерживается сетью одноранговых узлов.

Безопасность: Сеть блокчейна безопасна, так как узлы не зависят от какого-либо доверенного посредника для связи друг с другом, а также все записи/транзакции защищены асимметричной криптографией. В отличие от других систем, блокчейн не требует слепого доверия определенным объектам.

Неизменяемость: Поскольку технология блокчейна использует криптографические методы и поддерживает глобальную бухгалтерскую книгу, которая синхронизируется между узлами, содержимое внутри блоков не может быть изменено.

Прозрачность и проверяемость: Сеть блокчейнов очень прозрачна по своей структуре, поскольку узлы сети могут проверять подлинность записей и иметь гарантию того, что блоки не будут изменены. Более того, эта прозрачность делает блоки доступными для проверки на любом узле сети, открывая все записи для всех.

Отказоустойчивость: Технология блокчейна обеспечивает устойчивую и отказоустойчивую сеть, в которой любая ошибка или вредоносная деятельность могут быть легко идентифицированы и восстановлены. Эта отказоустойчивость обеспечивается децентрализацией архитектуры без единой точки отказа, а также сохранением всей цепочки всеми узлами в их помещениях.

Таким образом, благодаря функциям, упомянутым выше, наряду с передовыми преимуществами криптографической безопасности, блокчейн может стать многообещающей альтернативой обычным централизованным системам для повышения безопасности, конфиденциальности и доверия, помогая при этом устранить барьеры, чтобы стать более децентрализованной и устойчивой системой. **Блокчейны могут создавать локальные энергетические ориентированные на потребителя рынки или микросети, которые направлены на поддержку местного производства и потребления электроэнергии.** Однако реальную долгосрочную ценность ещё предстоит доказать, тем более что большинство инициативных групп исследователей опробовали технологию в относительно небольших проектах, которые все ещё находятся на ранней стадии разработки. В результате необходимо будет ответить на несколько вопросов, прежде чем широко внедрять блокчейны в энергетической отрасли. Блокчейны сталкиваются с дополнительными рисками, такими как возможные сбои на ранних стадиях разработки из-за отсутствия опыта работы с крупномасштабными приложениями. Экосистемы

блокчейна в значительной степени зависят от кодирования новых алгоритмов — процедуры, которая может быть подвержена ошибкам. Нарушения безопасности всё ещё весьма вероятны до того, как технология станет зрелой, что может привести к плохой рекламе и задержкам в принятии от потребителей. Что касается кибератак, Биткойн, старейшая реализация блокчейна, оказалась относительно устойчивой. Важно отметить, что уязвимость в части кибербезопасности часто возникают из периферийных приложений, таких как цифровые кошельки или смарт-контракты. Устойчивость к таким атакам имеет огромное значение, особенно для приложений в критически важной инфраструктуре, таких как энергетические системы. Ещё одна важная проблема заключается в том, что блокчейн-системы в настоящее время имеют высокие затраты на разработку. Блокчейны могут обеспечить значительную экономию средств за счёт обхода посредников, однако в некоторых случаях они могут не иметь конкурентного преимущества по сравнению с существующими решениями на хорошо зарекомендовавших себя рынках. Например, энергетические транзакции могут быть записаны в обычных базах данных, таких как реляционные базы данных, которые предназначены для распознавания связей между хранящимися элементами информации [16]. Эти решения уже в значительной степени доступны и в настоящее время работают быстрее и дешевле, хотя они не могут обеспечить неизменность записей или прозрачность. Для систем блокчейна может потребоваться дорогостоящая новая инфраструктура, такая как специализированное информационно-коммуникационное оборудование и программное обеспечение, затраты на которые должны быть перевешены преимуществами, достигаемыми за счёт целостности данных, повышения безопасности и устранения необходимости в надёжном посреднике.

Интеграция «зеленой» энергетики в традиционную энергетическую систему Арктики с использованием технологий блокчейн

Рассмотрим один из вариантов сценария интеллектуальной сети с использованием блокчейна для реализации в условиях удаленных арктических поселений (рис. 1).

При наличии централизованной электрической сети электроэнергия поступает к потребителю из традиционных (электростанций и проч.) и возобновляемых источников (ветровые фермы, солнечные панели, водород, атомные станции) энергии. Если отдельные населенные пункты или даже отдельные жилые дома оснащены солнечными панелями или собственными ветрогенераторами, появляется возможность накопления и торговли излишками энергии, а также совместного использования ВИЭ несколькими потребителями.

Такую концепцию возможно реализовать, оснастив единичных производителей электроэнергии интеллектуальными счетчиками и программным обеспечением для реализации блокчейна. Накопленная (например, в аккумуляторах) энергия может расходоваться для нужд домохозяйств, в т.ч. для зарядки электромобилей. А может в автоматическом режиме продаваться на специальном энергетическом рынке с помощью смарт-контрактов.

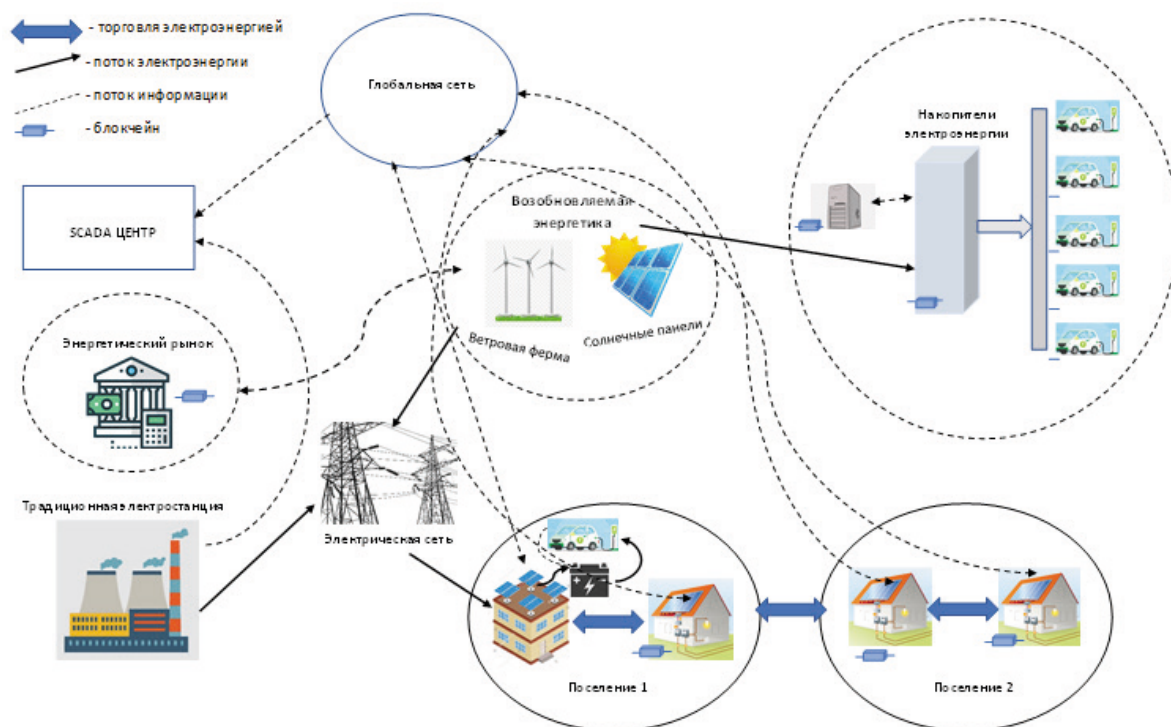


Рисунок 1 — Схема интеграции блокчейн в интеллектуальную энергетическую систему арктических поселков.

Т.о., благодаря внедрению интеллектуальной энергетической системы различные локальные потребители (домохозяйства, отдельные поселки или предприятия) смогут совместно эксплуатировать различные источники энергии, оптимизировать и планировать энергопотребление, продавать друг другу излишки, а также со временем с ростом числа и надежности ВИЭ полностью отойти от использования традиционных углеводородных видов топлива, тем самым значительно снизить экологическую нагрузку на хрупкую природу севера.

Впервые подобная концепция была реализована в США в 2018 году. Это система Brooklyn MicroGrid - основанная на блокчейне платформа P2P для торговли энергией, которой управляет партнерство Transactive Grid. Микросеть, расположенная в сообществах Гованус и Парк-Слоуп в Бруклине, штат Нью-Йорк, завершила трехмесячный пробный запуск P2P-торговли энергией между членами сообщества. Подробный анализ работы этого тематического исследования можно найти в [17]. Потребители и производители смогли продавать излишки энергии напрямую своим соседям с помощью смарт-контрактов. Первое испытание включало 5 владельцев солнечных батарей и 5 соседних потребителей и привело к первой в истории энергетической транзакции, зарегистрированной в блокчейнах по всему миру. Избыток энергии измеряется специально разработанными интеллектуальными счетчиками, которые могут обрабатывать измерения и данные физической энергии и последовательно преобразуются в эквивалентные энергетические токены, которыми можно торговать на местном рынке. Токены указывают на то, что определенное количество энергии было произведено с помощью солнечных панелей и может быть передано из кошелька смарт-счетчика продавца конечным потребителям с использованием технологии блокчейн. Токены удаляются интеллектуальным прибором учета (смарт-счетчиком) потребителя, так как купленная энергия используется в доме.

Пользователи Microgrid взаимодействуют с платформой, указывая свои

индивидуальные ценовые предпочтения в форме готовности платить или продавать электроэнергию. Платформа может отображать цены на энергоносители в зависимости от местоположения и в режиме реального времени. На начальном этапе проекта пользователи вручную запускают соглашение на платформе, условия которого записаны в блокчейне. В бухгалтерской книге записываются условия контракта, стороны, участвующие в сделке, объемы вводимой и потребляемой энергии, измеренные приборами учета, и, что особенно важно, хронологический порядок транзакций. Кроме того, платежи автоматически инициируются самостоятельно заключенными контрактами. Каждый член сообщества может иметь доступ ко всем историческим транзакциям в бухгалтерской книге и самостоятельно проверять транзакции.

После первого испытания более 300 домов и малых предприятий, в том числе около 50 владельцев фотоэлектрических систем и один небольшой генератор ветряных турбин, подписали контракт на следующий этап разработки, целью которого является достижение полностью автоматизированных транзакций. Участники Microgrid смогут в будущем не только решать, у кого покупать/продавать энергетические токены, основываясь на своих ценовых предпочтениях, но и на других критериях, отражающих их экологические или социальные ценности. Например, потребитель может указать максимальную цену, которую он готов потратить на возобновляемую энергию местного производства, но он также может указать другие предпочтения, такие как процент энергии, которую он готов приобрести у местных ВИЭ или у основной сети. Пользователи могут даже расставлять приоритеты при продаже/покупке энергии у друзей, семьи или конкретного соседа.

Механизм функционирования энергетического рынка, планируемый в будущем, аналогичен тому, как работают фондовые рынки. Платформа будет регистрировать интерес покупателей и продавцов (ставки /предложения) в книге заказов. Пользователи смогут изменять свои ценовые предпочтения в режиме реального времени. Энергия местного производства будет сначала выделена тем, кто предложит самую высокую цену. В будущем пользователи смогут собирать историческую информацию о ценах и, следовательно, изучать и адаптировать свои стратегии торгов. Проект Brooklyn MicroGrid призван служить испытательным полигоном для изучения новых бизнес-моделей, способствующих вовлечению потребителей в общественные проекты. Локализованная торговля энергией открывает потенциал для экономии затрат на электроэнергию, однако многочисленные исследовательские вопросы остаются открытыми для обсуждения. Блокчейны позволили применять экономику совместного использования в энергетическом секторе, что возможно приведет в будущем к значительной демократизации энергетики.

Заключение

В условиях Российской Арктики, где централизованная энергосистема (линии электропередач) зачастую отсутствует, а местные жители и предприятия вырабатывают электроэнергию в основном путем сжигания привозного топлива, поиск путей автономного энергообеспечения потребителей является важнейшей задачей. Сегодня топливо поставляется в Арктику в рамках так называемого «северного завоза», и в связи с высокой удаленностью регионов севера, ограниченными летним пери-

одом сроками доставки и устареванием существующих дизель-генераторов стоимость электроэнергии на них получается очень высокой, а экологическая нагрузка на природу - существенной.

Внедрение ВИЭ у локальных потребителей – задача важная, но одновременно сложная и дорогостоящая. Тем важнее является поиск путей наиболее эффективного их использования. Реализация концепции интеллектуальной энергетической сети на основе блокчейна является наиболее приемлемым решением. Благодаря внедрению такой системы различные локальные потребители (домохозяйства, отдельные поселки или предприятия) смогут совместно эксплуатировать различные источники энергии, в т.ч. ВИЭ, оптимизировать и планировать энергопотребление, продавать друг другу излишки, а также со временем полностью отойти от использования традиционных углеводородных видов топлива, тем самым значительно снизить экологическую нагрузку на хрупкую природу севера.

Список литературы:

1. К.А. Змиева Проблемы энергоснабжения арктических регионов // Российская Арктика. 2020. № 8. С. 5-14.
2. G. Dileep, "A survey on smart grid technologies and applications," *Renew. Energy*, vol. 146, pp. 2589–2625, 2020.
3. S. Kakran and S. Chanana, "Smart operations of smart grids integrated with distributed generation: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 524–535, 2018.
4. M. H. Rehmani, M. Reisslein, A. Rachedi, M. Erol-Kantarci, and M. Radenkovic, "Integrating renewable energy resources into the smart grid: Recent developments in information and communication technologies," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 14, no. 7, pp. 2814–2825, 2018.
5. T. Dragicević, P. Siano, S. Prabakaran et al., "Future generation 5G wireless networks for smart grid: A comprehensive review," *Energies*, vol. 12, no. 11, p. 2140, 2019.
6. N. Shaukat, S. Ali, C. Mehmood, B. Khan, M. Jawad, U. Farid, Z. Ullah, S. Anwar, and M. Majid, "A survey on consumers empowerment, communication technologies, and renewable generation penetration within smart grid," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 1453–1475, 2018.
7. N. Shaukat, B. Khan, S. Ali, C. Mehmood, J. Khan, U. Farid, M. Majid, S. Anwar, M. Jawad, and Z. Ullah, "A survey on electric vehicle transportation within smart grid system," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 1329–1349, 2018.
8. M. Z. Gunduz and R. Das, "Cyber-security on smart grid: Threats and potential solutions," *Computer Networks*, p. 107094, 2020.
9. P. Kumar, Y. Lin, G. Bai, A. Paverd, J. S. Dong, and A. Martin, "Smart grid metering networks: A survey on security, privacy and open research issues," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 3, pp. 2886–2927, 2019.
10. A. Ghosal and M. Conti, "Key management systems for smart grid advanced metering infrastructure: A survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 3, pp. 2831–2848, 2019.
11. H. Shayeghi, E. Shahryari, M. Moradzadeh, and P. Siano, "A survey on microgrid energy management considering flexible energy sources," *Energies*, vol. 12, no. 11, p. 2156, 2019.
12. S. Nakamoto et al., "Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system," 2008.
13. J. Wu and N. Tran, "Application of blockchain technology in sustainable energy systems: An overview," *Sustainability*, vol. 10, no. 9, p. 3067, 2018.
14. M. Andoni, V. Robu, D. Flynn, S. Abram, D. Geach, D. Jenkins, P. McCallum, and A. Peacock, "Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 100, pp. 143–174, 2019.
15. N. U. Hassan, C. Yuen, and D. Niyato, "Blockchain technologies for smart energy systems: Fundamentals, challenges, and solutions," *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 13, no. 4, pp. 106–118, 2019.
16. Su, Y. Wang, Q. Xu, M. Fei, Y.-C. Tian, and N. Zhang, "A secure charging scheme for electric vehicles with smart communities in energy blockchain," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 3, pp. 4601–4613, 2018.
17. E. Mengelkamp, J. Gärttner, K. Rock, S. Kessler, L. Orsini, C. Weinhardt Designing microgrid energy markets A case study: the Brooklyn Microgrid Appl Energy, 210 (2018), pp. 870-880.

References:

1. K. Zmieva Problemi energosnabzheniya arkticheskikh regionov // Russian Arctic. 2020. №8. P. 5-14.
2. G. Dileep, "A survey on smart grid technologies and applications," *Renew. Energy*, vol. 146, pp. 2589–2625, 2020.
3. S. Kakran and S. Chanana, "Smart operations of smart grids integrated with distributed generation: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 524–535, 2018.
4. M. H. Rehmani, M. Reisslein, A. Rachedi, M. Erol-Kantarci, and M. Radenkovic, "Integrating renewable energy resources into the smart grid: Recent developments in information and communication technologies," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 14, no. 7, pp. 2814–2825, 2018.
5. T. Dragicević, P. Siano, S. Prabaharan et al., "Future generation 5G wireless networks for smart grid: A comprehensive review," *Energies*, vol. 12, no. 11, p. 2140, 2019.
6. N. Shaukat, S. Ali, C. Mehmood, B. Khan, M. Jawad, U. Farid, Z. Ullah, S. Anwar, and M. Majid, "A survey on consumers empowerment, communication technologies, and renewable generation penetration within smart grid," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 1453–1475, 2018.
7. N. Shaukat, B. Khan, S. Ali, C. Mehmood, J. Khan, U. Farid, M. Majid, S. Anwar, M. Jawad, and Z. Ullah, "A survey on electric vehicle transportation within smart grid system," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 1329–1349, 2018.
8. M. Z. Gunduz and R. Das, "Cyber-security on smart grid: Threats and potential solutions," *Computer Networks*, p. 107094, 2020.
9. P. Kumar, Y. Lin, G. Bai, A. Paverd, J. S. Dong, and A. Martin, "Smart grid metering networks: A survey on security, privacy and open research issues," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 3, pp. 2886–2927, 2019.
10. A. Ghosal and M. Conti, "Key management systems for smart grid advanced metering infrastructure: A survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 3, pp. 2831–2848, 2019.
11. H. Shayeghi, E. Shahryari, M. Moradzadeh, and P. Siano, "A survey on microgrid energy management considering flexible energy sources," *Energies*, vol. 12, no. 11, p. 2156, 2019.
12. S. Nakamoto et al., "Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system," 2008.
13. J. Wu and N. Tran, "Application of blockchain technology in sustainable energy systems: An overview," *Sustainability*, vol. 10, no. 9, p. 3067, 2018.
14. M. Andoni, V. Robu, D. Flynn, S. Abram, D. Geach, D. Jenkins, P. McCallum, and A. Peacock, "Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 100, pp. 143–174, 2019.
15. N. U. Hassan, C. Yuen, and D. Niyato, "Blockchain technologies for smart energy systems: Fundamentals, challenges, and solutions," *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 13, no. 4, pp. 106–118, 2019.
16. Su, Y. Wang, Q. Xu, M. Fei, Y.-C. Tian, and N. Zhang, "A secure charging scheme for electric vehicles with smart communities in energy blockchain," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 3, pp. 4601–4613, 2018.
17. E. Mengelkamp, J. Gärttner, K. Rock, S. Kessler, L. Orsini, C. Weinhardt Designing microgrid energy markets A case study: the Brooklyn Microgrid *Appl Energy*, 210 (2018), pp. 870-880.

Журнал Энергетик
№4 2021

Ликвидация твёрдых коммунальных отходов на Крайнем Севере с использованием мобильной установки

С. И. Зеленский, Я. Н. Сколяров, А. И. Дудинский

Представлено описание мобильной установки для утилизации твёрдых коммунальных отходов, предназначенной, в основном, для работы на несанкционированных свалках и в иных местах в условиях Крайнего Севера. Проведён анализ существующих аналогичных мобильных установок, технологических схем работы для установления наиболее эффективной схемы работы по переработке и утилизации отходов.

Электроэнергия. Передача и распределение
№5(68) 2021

Присоединение изолированных энергорайонов Центральной и Западной Якутии к ЕЭС России: предпосылки, этапы, эффекты

Н.А. Петров, С.В. Подковальников, И.В. Рябых, Н.В. Павлов, В.Е. Захаров

Рассматривается процесс интеграции изолированных энергорайонов Якутии и восточной части Единой энергосистемы России. Приводятся особенности электроэнергетики Якутии. Анализируются предпосылки и последовательность этапов указанной интеграции. Выявлены системные эффекты подключения изолированных энергорайонов Якутии к Объединенной энергосистеме Востока.

Ruscable news

В АО "МСЗ" изготовлен прототип ядерного топлива для первой в мире АЭС малой мощности с реактором РИТМ-200Н

На Машиностроительном заводе (АО «МСЗ»; предприятие Топливной компании Росатома «ТВЭЛ») изготовили опытную тепловыделяющую сборку с ядерным топливом для реактора РИТМ-200Н, который будет установлен в первой в мире наземной атомной станции малой мощности (АСММ) в Усть-Янском районе Республики Саха (Якутия).

Вести в электроэнергетике

В Териберке начала работу самая северная зарядная станция для электромобилей Enel X в мире

Зарядная станция Enel X Juice Box расположена в Териберке на 69 градусе северной широты. Это первая

зарядная станция в России на берегу Баренцева моря, она установлена в рамках проекта некоммерческой организации «Беллона» под названием «Barents—Baltic Electric Road» («ВВЕР»).

Энергобезопасность и энергосбережение
№5 2021

Определение допустимой глубины оттаивания дорожного полотна в криолитозоне

А. Ф. Галкин

Важным показателем теплового режима дорожного полотна автомобильных дорог в условиях криолитозоны является глубина оттаивания дорожного основания (подстилающего грунта). Целью проведенного исследования являлось определение влияния числа Био, характеризующего суммарное термическое сопротивление конструктивных слоев дорожной одежды, на глубину оттаивания дорожного полотна.

№1 - 2021

Программа исследований теплового режима грунтов при наличии крупных ледяных включений в породах гелиотермозоны

А. Ф. Галкин

Обоснованы и сформулированы основные этапы и задачи фундаментальных и прикладных научных исследований для изучения закономерностей формирования теплового режима деятельного слоя грунтов при наличии крупных ледяных включений в гелиотермозоне. Практическая цель предлагаемых исследований состоит в разработке эффективных способов и средств управления температурным режимом пород деятельного слоя для минимизации негативного влияния антропогенного воздействия на природную среду и инженерные сооружения при освоении северных регионов.

Арктика. Экология и экономика
Том 11 №3 2021

Роль ветроэнергетики в социально-экономическом развитии районов АЗРФ (на примере Мурманской области)

Бежан А.В.

Приведена информация о состоянии и перспективах развития ветроэнергетики Мурманской области. Отмечена роль ветроэнергетики в формировании условий для социального и экономического развития региона.

Neftegaz.ru
№10 (118) 2021

Возможности реализации принципов циркулярной экономики в нефтегазохимии и энергетике Дальнего Востока и Арктики

Е.А. Лемм, И.В. Петров, А.В. Шаркова

В статье рассматриваются перспективы реализации принципов циркулярной экономики в топливно-энергетическом комплексе Дальневосточного федерального округа. Проведен анализ состояния топливно-энергетического комплекса Дальнего Востока и обоснована необходимость его трансформации в контексте устойчивого развития.

#6 2021

Мобильный ветрогенератор-трансформер для Арктики и Крайнего Севера

П.И. Рыженко, Р.Н. Поляков

Авторы статьи разработали новое уникальное устройство, удобное в эксплуатации, которое сэкономит деньги и обеспечит экологически чистой электроэнергией.

Региональная энергетика
и энергосбережение
№3-2021

Президент Арктической зоны РФ строит крупнейшие электростанции на базе солнечной энергии в изолированных энергорайонах России

В заполярной Якутии будет построено пять новых современных гибридных энергокомплексов - на замену дизельным электростанциям. Общий инвестиционный портфель проекта - более 470 млн руб.

The Arctic Institute

U.S. Biden Administration Launches Arctic Energy Series

Mohammad Ali Zafar

The U.S. Department of Energy has launched a series of events to explore the potential of the Arctic as a "living laboratory of clean energy innovation", U.S. News reported on November 17.

Researchgate.net

The geopolitical driving forces and mechanism on arctic energy exploitation

Li Wang

The accelerating global warming enhanced the arctic sea ice melting, which made the arctic energy exploration become possible. This study firstly analyzed the energy trade structure in the pan-arctic countries, covering arctic countries and the observer countries.

Arctic Energy Technology Development Laboratory

Sukumar Bandopadhyay, Charles Chamberlin, Robert Chaney, Gang

Chen et al

The Arctic Energy Technology Development Laboratory was created by the University of Alaska Fairbanks in response to a congressionally mandated funding opportunity through the U.S. Department of Energy (DOE), specifically to encourage research partnerships between the university, the Alaskan energy industry, and the DOE.

Availability and Feasibility of Renewable Resources for Electricity Generation in the Arctic: The Cases of Longyearbyen, Maniitsoq and Kotzebue

Magnus de Witt, Hlynur Stefansson, Agust Valfells, Joan Nymand Larsen

Currently, the dominant energy source for electricity generation in the Arctic is diesel, which is well proven for Arctic conditions. However, diesel is expensive in the Arctic, often due to long and complicated fuel transportation routes, and so inhabitants of Arctic communities can face high electricity costs. This paper investigates whether renewable energy resources can be harvested in a feasible and cost-competitive manner.

From the Failure Rate of Components to the Cost-Effectiveness of an Arctic Gas Carrier with an Electric Propulsion System

Igor Bolvashenkov, Jörg Kammermann, Alexander Rubinraut et al

This chapter presents an attempt to determine the dependence of the reliability characteristics of the electric propulsion system and the comprehensive operational efficiency of the Arctic icebreaking gas carrier "Christophe de Margerie" type when navigating along a Northern Sea Route.

The role of electric snowmobiles and rooftop energy production in the Arctic: The case of Longyearbyen

Shayan Dadman, Bernt Bremdal, Kristoffer Tangrand

The research presented here has been conducted in the Smart Charge project. It has addressed the use of renewables, e-mobility and battery charging in the Arctic as part of an effort to solicit fossil-fuelled alternatives. Of particular interest has been to determine what impact and support electric snowmobiles can provide together with local, renewable energy production.

ИНТЕРВЬЮ



Чилингаров А.Н., Гайдашов А.А. (февраль 2006)
Встреча в Госдуме РФ

Алексей Гайдашов: у России и Белоруссии огромный потенциал сотрудничества в Арктике

Алексей Александрович Гайдашов — известный советский и белорусский географ, полярный исследователь. Заместитель начальника Республиканского центра полярных исследований — Начальник Белорусской антарктической экспедиции.

- Как так получилось, что вы решили связать свою работу с Арктикой и Антарктикой?

С младших классов школы активно занимался спортом (плавание, легкая атлетика, пулевая стрельба, бокс), увлекался литературой о путешествиях и путешественниках. В последствии «объединил» все спортивные дисциплины и переключился на занятия многоборьем, прошел подготовку боевых пловцов. Учился на географическом факультете БГУ. Во время учёбы вёл научную деятельность, участвовал в экспедициях, продолжал заниматься спортом.

Трижды «Мастер спорта СССР», чемпион БССР, СССР, Вооруженных Сил по военно-прикладным видам спорта,.

После окончания университета проходил службу в государственных органах и организациях, связанную с длительными командировками, в прямом и переносном смысле, в «горячие» и «холодные» регионы и точки Планеты. В 1988 г. был командирован на зимовку на советскую антарктическую станцию Ленинградская, на которой в то время работали и специалисты Министерства обороны СССР.

В 2006 г. был приглашен для участия в разработке и реализации первой Государственной

программы по исследованию полярных районов Земли. С 2007 г. и по настоящее время работаю заместителем начальника ГУ «Республиканский центр полярных исследований», организовал, возглавил и провел 13 Белорусских антарктических экспедиций.

- Когда белорусские специалисты начали исследование Арктики и Антарктики? С чего все начиналось?

Вот лишь малый список белорусов, участвовавших в освоении и исследовании районов Арктики, Сибири и Дальнего Востока:

1. Алексей Андреевич Бялыницкий-Бируля (1864 - 1937)

Место рождения: село Бабково Оршанского уезда Могилевской губернии. Зоолог, участник полярных экспедиций, член корреспондент АН СССР. В честь него названо: залив (Бирули) на п-ове Заря берега Харитона Лапатева и река на севере о. Новая Сибирь.

2. Константин Адамович Волосович (1869 - 1919)

Место рождения: деревня Старчицы Слуцкого уезда Минской губернии. Геолог, географ, химик. Исследователь Арктики, участник полярных экспедиций. В честь него названо: мыс архипелага Северная Земля (море Лаптевых, на о. Октябрьской Революции) и остров.

3. Иосиф Антонович Гошкевич (1815 - 1874)

Место рождения: село Стреличев Речицкого уезда Минской губернии. Консул Российской империи в Японии, востоковед. В честь него названо: залив в Японском море.

5. Иван Дементьевич Черский (1845 - 1892)

Место рождения: имение Свольно Дриссенского уезда Витебской губернии. Исследователь Сибири, геолог, географ, палеонтолог. В честь



22 декабря 2007 г. Открытие первого российско-белорусского полевого лагеря 1 БАЭ (2007-08) Киселев В.В., Гайдашов А.А

него названо: хребет в Забайкалье, хребет на северо-востоке Сибири в верховьях рек Колымы, Индигирки и по правому берегу реки Яны (протяженностью 1500 км), потухший вулкан (Тункинская котловина), пик (2090 м, Комаринский хребет), гора (2588 м, высшая точка Байкальского хребта), камень (728 м, горная вершина в Иркутском районе), поселок (Якутия).

6. Отто Юльевич Шмидт (1891 - 1956)

Место рождения: город Могилев Могилевской губернии. Математик, географ, астроном, геофизик. Руководил арктическими экспедициями на пароходах «Седов», «Сибиряков», «Челюскин». В честь него названо: Мыс на побережье Чукотки, поселок в Чукотском АО, остров на архипелаге Северная Земля.

7. Андрей Ипполитович Вилькицкий (1858 - 1913)

Место рождения: Борисовский уезд, Минская губерния. Гидрограф-геодезист, полярный исследователь, начальник Главного гидрографического управления Российской империи. В честь него названо: мыс, ледник, гора и залив в Баренцевом море на архипелаге Новая Земля, острова в Карском и Восточно-Сибирском морях.

8. Борис Андреевич Вилькицкий (1885 - 1961)

Место рождения: Пулковое (Санкт-Петербург). Сын Андрея Ипполитович Вилькицкого. Контр-адмирал Российской империи, гидрограф, геодезист, исследователь Арктики, первооткрыватель Северной Земли. Первым совершил переход Северным морским путем с востока на запад. В честь него названо: Пролив между полуостровом Таймыр и Северной Землей, острова в заливе Терезы Клавенес (Море Лаптевых, п-ов Таймыр)

Также отметим:

Андрей Андреевич Громыко (1909 - 1989)

Место рождения: Старые Громыки, Гомельский уезд, Могилевская губерния. Министр иностранных дел СССР, председатель президиума Верховного Совета. В честь него названо: Остров Большой Курильской гряды из группы островов Таира (Сахалинская область).

История участия белорусских ученых и специалистов в изучении Антарктики берет начало в середине XX столетия, когда в период проведения Международного геофизического года к берегам Антарктиды отправилась Первая комплексная антарктическая экспедиция на дизель-электроходе «Обь» (30 ноября 1955 г.). В составе экспедиции было 10 участников из БССР, которые принимали участие в строительстве первой Советской антарктической обсерватории «Мирный». С 1955 г. до момента образования суверенного государства Республика Беларусь (1992 г.) в исследовании и освоении Антарктиды в составе советских

антарктических экспедиций приняли участие 102 белорусских ученых и специалиста. Помимо этого, пять раз белорусские ученые и специалисты принимали участие в работе дрейфующих станций Северный полюс (СП).

Последний белорусский специалист в составе советской антарктической экспедиции вернулся домой после зимовки в 1992 году. Вплоть до 2006-го белорусы в составе исследовательских экспедиций в Антарктике не участвовали. С инициативой присоединения Республики Беларусь к Договору об Антарктике и участия в антарктических исследованиях в 2005 г. выступили Председатель Президиума Национальной академии наук Беларуси М. В. Мясникович, ряд белорусских ученых из Национальной академии наук Беларуси, Герой Советского Союза и Герой России А.Н. Чилингаров, руководство Росгидромета и Арктического и Антарктического научно-исследовательского института, группа белорусских ветеранов-полярников, работавших в Антарктиде в советское время, а также Белорусское географическое общество. Инициатива была поддержана Президентом Республики Беларусь А. Г. Лукашенко. Важным событием на пути становления и развития белорусских антарктических исследований стало присоединение нашей страны в 2006 г. к Договору об Антарктике и создание первой Государственной целевой программы «Мониторинг полярных районов Земли и обеспечение деятельности арктических и

антарктических экспедиций на 2007–2010 годы и на период до 2015 года». Программа была пролонгирована на последующие годы; в настоящее время идет выполнение очередного пятилетнего цикла на 2021–2025 годы.

В сентябре 2007 г. было создано Государственное учреждение «Республиканский центр полярных исследований». Значимым этапом в развитии антарктических исследований в Республике Беларусь стало подписание Соглашения между Правительством Республики Беларусь и Правительством Российской Федерации о сотрудничестве в Антарктике (2013 г.). При логистической поддержке судов Российской Федерации Беларусь провела 13 антарктических экспедиций (2007–2021 гг.). За этот период времени белорусские ученые принимали участие в работе двух дрейфующих станций Северный полюс.

С момента начала работы Республики Беларусь на Антарктическом континенте (2006 г.) в антарктических экспедициях, в общей сложности, приняли участие 64 белорусских ученых и специалистов.

В 2008 г. Республика Беларусь присоединилась к Протоколу по охране окружающей среды к Договору об Антарктике, что оказало существенное влияние на дальнейшую интеграцию страны в мировое антарктическое сообщество. В последние годы (2013–2021 гг.), когда программа по исследованию Антарктики и Государственное учреждение «Республиканский центр полярных исследований» были переданы



Белорусская антарктическая станция
Гора Вечерняя. Общий вид.

в ведение Национальной академии наук Беларуси, при поддержке других органов государственного управления (Совет Министров Республики Беларусь, Министерство иностранных дел, Государственный комитет по науке и технологиям, Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, Министерство спорта и туризма) была укреплена национальная правовая база по вопросам деятельности в Антарктике, были приняты важнейшие решения и реализованы крупные мероприятия по созданию первой очереди Белорусской антарктической станции, развитию международного научно-технического сотрудничества в Антарктике, расширению программы научных исследований, укреплению материально-технической базы и созданию условий для круглогодичной безопасной жизнедеятельности персонала Белорусских антарктических экспедиций. С 2015 г. у горы Вечерняя на Земле Эндерби в Восточной Антарктиде ведется строительство Белорусской антарктической станции. По состоянию на 30 марта 2021 г. завершено строительство ее первой очереди. В ближайшие годы планируется перевести станцию в режим круглогодичной работы.

- Какими исследованиями Арктики и Антарктики сейчас занимается республика Беларусь?

Основные направления национальных программ исследования, которые проводит в полярных регионах Планеты Национальная академия наук Беларуси и Республиканский центр полярных исследований, следующие:

- комплексные наземные и спутниковые исследования атмосферы и земной поверхности;
- исследования озоносферы и ультрафиолетового излучения;
- геофизические и геохимические исследования земной коры;
- биологические исследования (наземные и водные природные экосистемы, разнообразие флоры и фауны, микробиология и т. д.);
- геоэкологические исследования и мониторинг (химический состав природных сред, метеорология, антропогенное воздействие и т. д.);
- медицинские исследования.

В выполнении научных исследований принимают участие институты и организации НАН Беларуси (Институт природопользования, Научно-практический центр по биоресурсам, Институт физики), Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы Белорусского государственного университета.

Мы успешно работаем в интересах национальной космической программы. Именно на основе наших данных производится

корректировка оптических инструментов на борту Белорусского космического аппарата и российского спутника КАНОПУС. Мы изучаем прибрежные морские ресурсы, чтобы оценить их масштабы в прибрежных морских акваториях. Или вот взять микробиологию: на основе уникальных свойств бактерий, которые способны выживать при аномально низких температурах, наши ученые уже разрабатывают средство для борьбы с болезнями сельскохозяйственных культур. А есть еще мониторинг озонового слоя, метеорология (все-таки Полярные регионы Земли – своего рода кухня погоды земного шара), геология, геофизика и много всего другого, что со временем может принести нашей стране и мировому сообществу значимые научные и практические результаты.

- Какие приоритетные направления сотрудничества России и Белоруссии вы видите в Арктике и Антарктике?

С 2006 г. и по настоящее время научно-исследовательская деятельность белорусских ученых в полярных регионах осуществляется в тесном сотрудничестве и взаимодействии



Отбор проб морских донных организмов с помощью беспилотного подводного аппарата.



Палеогеографический керн из озера Нижнее март 2020 г.

со многими научными организациями из Российской Федерации: ФГБУ Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт (АНИИ), Институт географии РАН, ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского» (ВСЕГЕИ), Зоологический институт РАН, Ботанический институт РАН, Институт морских исследований им. А. О. Ковалевского РАН, ФГБУ «Полярная морская геологоразведочная экспедиция», Мурманский и Архангельский государственные университеты, Сибирское отделение РАН.

С 2006 по 2021 г. в выполнении совместных программ научных исследований в составе Российских арктических и антарктических экспедиций принимали участие 35 ученых из Республики Беларусь, 6 российских ученых и специалистов работали в составе Белорусских антарктических экспедиций. На самом деле, направлений сотрудничества России и Беларуси в Арктике и Антарктике значительно больше. Помимо научных исследований, наши страны в Арктике и Антарктике активно сотрудничают в сфере разведки полезных ископаемых, логистике, укрепления обороноспособности Союзного государства, строительства, машиностроения, приборостроения, разработки и внедрения новых технологий и материалов, космической отрасли, взаимно поддерживают друг друга на международной арене по вопросам Арктики и Антарктики. Потенциал у нашего сотрудничества огромен. Актуальным, также, на сегодняшний день вопросом остается возможность подготовки

белорусских инженерных и научных кадров на базе специализированных российских ВУЗов, магистратур и аспирантур, готовящих научно-технические кадры для работы в полярных регионах.

- Как вы считаете, возможно ли наладить сотрудничество других стран-участниц Евразийского экономического союза в Арктике и Антарктике? Поддерживаете ли вы общение с коллегами из этих стран?

С учетом возрастающих мировых экономических и геополитических вызовов более тесное сотрудничество и кооперация стран-участниц Евразийского экономического союза в Арктике и Антарктике представляется логичной и необходимой. Наиболее тесное и эффективное сотрудничество в этом направлении у нас развивается с коллегами и государственными организациями из Российской Федерации. Мы также поддерживаем профессиональное общение с коллегами и государственными организациями из Казахстана, из государств-наблюдателей ЕАЭС (Молдова) и из государств, находящихся в стадии переговоров ЕАЭС (Индия, Китай). Со многими из них у нас имеются двусторонние договоры о научно-техническом сотрудничестве в полярных регионах Земли. На самом деле, формат сотрудничества стран-участниц и стран-наблюдателей ЕАЭС в Арктике и Антарктике еще достаточно скромный и имеет огромный потенциал. Для этого нужна добрая воля и административное решение заинтересованных Сторон ЕАЭС.



India's Arctic Push: "Thought through" or "A Remedial process to address an Insecurity"

Vikram Suhag

Visiting Fellow Security & Geopolitics | The Arctic Institute, Washington DC
Teaching Professor | IBDA RANEPa, Moscow | Baikal School of BRICS, Irkutsk

Today's China considers itself a "Near-Arctic" country despite being a thousand miles away from the Arctic. China and India both became members of the Arctic Council in 2013 as observer members along with the European Union, Singapore and others. Since 2014 after the Western Sanctions were imposed on Russia amidst the Ukraine crisis, the strategic partnership between Russia and China has deepened with detailed cooperation in the oil and gas pipeline projects in the Russian Far East. The concept of One Belt One Road (OBOR) from a Chinese perspective has given way to the development of the Polar belt concept. The concept envisages the development of ports and support infrastructure along the coast of the Arctic Ocean's North East passage. It is also called the Northern Sea Route (NSR). China has been making serious inroads into this remote area whereas India is yet to formulate a government level Charter on the

Arctic, although in early 2021, the government did reveal a draft "Arctic Policy" with its own flaws of declaring Arctic as a "Global common" and exporting "Democratic institutions", both of which would not resonate with the largest partner in the region India has, Russia. India and China are both observer members of the Arctic Council since 2013. The progress made by the Chinese side in the Arctic is considerably ahead of India. The steps made by China in the region leaves limited options for India, not just in the Arctic but also in the overall Russia-India relations and the larger Indian Foreign relations. China being a powerful neighbor and an adversary has over the last few years has grown closer to Russia, which leaves certain important options for India to consider. The Arctic region of Russia is one such area which demands the consideration of the Indian side.

Both China and India are dynamically transforming economies which are important for Russia in the long run. Main destinations for Russian exports have traditionally been Europe, the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) and the Commonwealth of Independent States (CIS), but recent years have seen a Russian pivot towards new dynamic markets of India and China. In recent years net FDI inflows from China into Russia have increased substantially as net inflows from the rest of the world declined due to the Ukraine crisis and American and European sanctions and Russian counter sanctions. Net FDI from India to Russia also remains low. The gap in exports from Russia to China and India is wide as the Chinese economy as compared to the Indian economy is larger and the present geographical proximity between Russia and China. China is able to benefit from Russian commodity exports due to proximity and support logistics whereas India is at a disadvantage. Also, it is fair to mention the low level of Russian integration in the global value chains of China and India. In the Global market, China follows the United States as the second largest importer and in certain commodities it represents more than half of the Global demand. Russia being rich in commodities and having a geographical proximity with China becomes a natural choice for China for its commodity demands.

The success of the relationship between Russia and China is highly dependent on the economic and trade relation between the two countries. This has been emphasized by increasing trade volume between the two countries. However, it is important to notice the structure of the trade relationship between Russia and China. China is the largest trade partner for Russia and the largest Asian investor into the Russian economy. The two countries expect to see bilateral trade reach 110 Billion USD in 2019. The Chinese FDI into the Russian economy in 2010 stood at 570 Million USD and has been increasing ever since. The gap between the two countries in the economic relation can be envisaged from the fact that trade with China forms a substantial percentage of overall Russian foreign trade, whereas for China, the trade with Russia is only a fraction of its overall trade. India as compared to China has been less relevant in the larger Russian trade picture. In 2015, Russian exports to India were worth 5 Billion USD and imports from India were 2.3 Billion USD. The same figures in 2019 rose to 6.76 Billion USD and 3.15 Billion USD respectively.

However, it is worth noting that the trade quality between India and Russia shows a divergence from Overall Russian Trade. Russian exports to India do not consist mainly of fuels unlike China. It has a large Defense Machinery/Weapons component. This relevance of the military nature of imports from Russia creates a different complexity for Indian strategists. Any diversification into the Military equipment supplier base makes India deviate from

the Status-quo economic partner position for the Russians. The active engagement in the Arctic for its wide Hydrocarbon resources can be one area in which India can participate to maintain its relevance as a stable strategic partner. With the growth of the Indian economy in the years ahead Russia can tap into the hydrocarbon market of India. The Sanctions placed by United States, most notably the Countering America's Adversaries through Sanctions Act (CAATSA) and the financial exposure of the Indian Business enterprises to the US economy only seem to weaken the Indian resolve to pick up speed and catch up with the Chinese in this strategically important region of the world.

At the moment India imports most of its oil from West Asia due to ease of logistics. It is simply easier to transport the oil from the Suez Canal into the Arabian Sea with India having strong control of the Sea Lanes of communication (SLOC's). This is another reason why China is pursuing the inland land-based routes under the One Belt One Road (OBOR) initiative. The strait of Malacca is one such pressure point for China where Indians, Americans and the Japanese all have strong control on the SLOC's. China wants free access to markets in Europe and in the current geo-political situation and the south China sea disagreements related to island claims and counter claims by some of China's neighbors, the strait of Malacca forms a certain degree of insecurity within the Chinese policy machinery. The strong presence of the US navy and American posturing towards the Indo-Pacific region only makes matters worse in this regard. Recent trade disagreements between the US and China on one hand, and the US-Russia on the other play the role of a closer Russia- China dialogue. OBOR and the Northern Sea Route through the Russian waters in the high North thus gives justification for cooperation to both Russia and China. China desires access to European ports in addition to securing its energy needs by tapping into the vast arctic oil reserves through the route, whereas Russia views it as an opportunity to revive the high north which has been neglected for decades and also secure Chinese financial support to exploit Arctic resources in the wake of western sanctions.

The Indian side views the Chinese push towards the High North as a strategic loss due to the prevailing focus on "Malacca Containment" as a way of containing China. The focus of the United States on the Indo-Pacific region provides containment and counter-weight to this view and security philosophy of the Indian strategy formulators. India fears an ever-increasing Chinese push towards the North may force the United States to move its main attention from the Indo-Pacific region to the circumpolar North. Without counterweight China inevitably will expand its power in both directions. Indian activity in the Arctic is mainly a reaction to the Chinese extension in the Circumpolar North to eliminate its dependence on the Malacca Strait, which is one of the main Indian leverage on the Chinese Policy.

India's Strategic Environment – No more limited just to the Indian ocean. India & Russia to sign the Reciprocal Exchange of Logistics Agreement (RELOS)

Vikram Suhag

Visiting Fellow Security & Geopolitics | The Arctic Institute, Washington DC

Teaching Professor | IBDA RANEP, Moscow | Baikal School of BRICS, Irkutsk

India's new strategic environment is being shaped by a rising China, particularly in the Indian Ocean region and South Asia. Till now, India has managed to keep a check due to a strategic lever and containment philosophy based around the control of choke points on the Sea lanes of communications (SLOC's) in the Indian Ocean namely, The Malacca Strait. Any Chinese misadventure in the disputed himalayan region up north could be negotiated in the Indian Ocean, as most of China's energy security is ensured by the said route from the Gulf countries through the Malacca Strait into the South China sea. A growing Chinese economy, a huge gap both in numbers and capability of the Naval assets has started to surface between the two Asian giants. Although, India is still better placed in terms of capability and spread of the Naval bases in the Indian ocean, growing Chinese naval capability and

the exploration of alternate routes to bypass the Malacca route through Belt and Road Initiative (BRI) and Northern Sea Route (NSR) have in the recent years policy makers in India slightly concerned. While priorities and capabilities remain different, Beijing's expanding presence across the Indo-Pacific presents a common strategic challenge for Canberra, New Delhi, Tokyo, and Washington, all of whom have adopted their own interpretation of the Indo-Pacific strategy to manage a rising China in the region. Containment of China in the Indian Ocean region is paramount for the Indian establishment.

The increasing Chinese presence in the region makes partnerships with other countries in the Indo-Pacific region a key aspect to close the capability gap for the Indian Naval establishment. With partnerships being the central pillar of New Delhi's strategy, Australia, France, Japan, and the



United States emerged as New Delhi's natural choice. But the crucial point to consider here is India's management of its relationships with Iran, Russia, and the United Arab Emirates. Russia and India both have a different perception of Indo-Pacific and Russia being a key partner for India's security needs views this concept from a neo realist point of view, a concept put forth by the United States to change the otherwise normal regional order targeted towards China, China being a key strategic partner to Russia. One of the areas of Naval cooperation is Marine Domain Awareness (MDA) for India launched Information Management and Analysis Centre (IMAC), managed by the Indian Navy and Coast Guard. India also launched the Information Fusion Center for the Indian Ocean Region (IFC-IOR), which acts as a regional MDA hub for the Indian ocean region (IOR) in December 2018. But all these are just pieces of the larger MDA puzzle. The real time interaction between platforms of different naval assets of different partner countries is important for an optimum solution. That is where logistics agreements like the Logistics Exchange Memorandum of Agreement (LEMOA, 2016), the Communications Compatibility and Security Agreement (COMCASA, 2018), and the Basic Exchange and Cooperation Agreement for Geospatial Cooperation (BECA, 2020) with the United States. Several such agreements in the past, concluded with countries including France, Australia and Japan.

The initiative to check the growing Chinese activity in the IOR is based on the overlapping interest of the United States and other partners.

But, with the Northern Sea Route (NSR) and the growing closeness of Russia and China in the economic and security domain, the increasing militarization of the Arctic, the threat perception of the partners involved in the Indo-Pacific may move to a different plain in the Northern Atlantic and the Arctic. India is uncomfortable with the proliferation in the Arctic, which may lead to a lack of focus from the United States in the Indo-Pacific. This in India's view may lead to China growing in capabilities unchecked both in the Indo-Pacific and the Arctic region. Till now, Russia has been the gatekeeper to the Arctic in the military sense when it comes to China. But, that may very well change based on the emerging US-Russia and US-China security environment and threat perception. For India, it's not just the US-China relationship, but also the US-Russia, EU-Russia, US-EU and Russia-China equation which is worth analysing. It is for these reasons from a security perspective that we can see India making a push for the Arctic not only from a scientific or climate related agenda or to secure its share of natural resources through Bilateral arrangements with the Arctic Littoral states. But, from a national security perspective, mainly to be present in every theatre where China is gaining a foothold, even if it is as far away as the Arctic. One such example of which can enable India to maintain rotational Naval presence in the Arctic to acquire domain awareness of the Arctic can be the Reciprocal Exchange of Logistics Agreement (RELOS), which will enable India to access Russian Naval facilities in the Arctic region and the Indian Naval ports could be accessed by the Russian Navy.

«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.