ISSN(Online): 2658-4255

RUSSIAN ARCTIC

russian-arctic.info

#3(10)/2020

ARCTIC ECOLOGY

2020 SUMMARY

EDITORIAL

EXPEDITION

ESTIMATE OF TOTAL CLOUD COVER REPEATABILITY IN WHITE AND BARENTS SEAS, TRANSARCTIC EXPEDITION STAGE III MATERIALS

INNOVATIONS

ENERGY PLATFORMS USING DIGITAL MODULAR SUBSTATIONS AND POWER UNITS FOR ARCTIC

16+

RUSSIAN ARCTIC № 3(10) 2020
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))
Kokin Sergey, PhD (Harbin, China)
Mr. Rhee Han Woo, cadidate of Doctor of IR (Seoul, Korea)
Thomas Krumpen, PhD in geoscience (Bremen, Germany)
Belonenko Tatiana, Doctor of Sciences (St. Petersburg, 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 if Sciences (St.Peterburg, Russia)
Filippov Boris, Doctor of Sciences (Arkhangelsk, Russia)
Fridman Krill Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Gavrilov 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)
Kovchin Igor, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Kydruashova 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)
Prohorchuk Egor, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Repina Irina, Doctor of Sciences, Professor (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)
Slobodchikov Vladimir, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Stepanova Vera, Doctor of Sciences (Arkhangelsk, Russia)
Talykova Lyudmila, Doctor of Sciences (Kirovsk, 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.Peterburg, Russia)
Karyakin Yuri, PhD (Moscow, Russia)
Khvostova Marina, PhD (Moscow, Russia)
Klimanov Igor, PhD (Moscow, Russia)
Nikanov Alexander, PhD (St.Petersburg, Russia)
Pisarev Sergey, PhD (St.Petersburg, Russia)
Saltykova Olga, PhD (Cheboksary, Russia)
Smolyanitsky Vasily, St.Petersburg, Russia)
Tretyakov Viktor, PhD (St.Peterburg, Russia)
Yulin Alexander, PhD (St.Petersburg, Russia)

EDITORIAL STAFF
Science editor: Alexeeva Tatiana (AARI)
CEO: Makova Elena
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
FOUNDER AND PUBLISHER: LLC Center for Information and Legal Support for the Development of the Arctic
http://arctic-centre.com

CEO: Yu.V. Belikova
ISSN (online): 2658-4255

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: 28.10.2020

TABLE OF CONTENTS

4 Editor's letter

Geosciences

6 ESTIMATE OF TOTAL CLOUD COVER REPEATABILITY IN WHITE AND BARENTS SEAS, TRANSARCTIC EXPEDITION STAGE III MATERIALS
E. Zotova, T. Rumina, B. Ivanov

13 CURRENT STATE AND PERSPECTIVES OF ICE COVER STUDIES IN THE RUSSIAN ARCTIC SEAS
Ye.U. Mironov, S.V. Klyachkin, V.M. Smolyanitsky, A.V. Yulin, S.V. Frolov

30 SPECIFIC FEATURES OF ICEBERG DISTRIBUTION ACCORDING TO SHIPBORNE OBSERVATIONS IN THE KARA SEA IN 2004-2019
E.A. Pavlova, T.A. Alekseeva, E.Y. Mironov, V.M. Smolyanitsky

ELECTRICAL POWER

37 ENERGY PLATFORMS USING DIGITAL MODULAR SUBSTATIONS AND POWER UNITS FOR ARCTIC
R.N. Shulga, A.Yu. Petrov, A. Yu. Khrennikov

ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

51 ON THE ISSUE OF DIGITALIZATION IN THE FIELD OF ENSURING THE SANITARY AND EPIDEMIOLOGICAL WELL-BEING OF THE POPULATION IN THE RUSSIAN ARCTIC
A.A. Kovshov, V.N. Fedorov, N.A. Tikhonova, Yu.A. Novikova

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

2020 год останется в нашей памяти не только по причине бушующей в мире эпидемии Covid 19, но и в силу значительного числа экологических катастроф, сосредоточенных по большей части в арктической и приарктической зонах Российской Федерации.

Помимо крупного разлива нефтепродуктов на ТЭЦ-3 в Норильске, о котором мы подробно говорили в прошлом выпуске журнала, за текущий год произошло еще несколько печальных событий, оказавших сильнейшее воздействие на хрупкую природу российского Севера.

Так, 9 января в городе Ухта на нефтеперерабатывающем заводе «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтепереработка» прогремел мощный взрыв. Разгерметизация одной из ёмкостей с горюче-смазочными материалами стала причиной произошедшей аварии. В результате Ухта получила десятки тонн загрязняющих выбросов.

В ночь на 14 марта 2020 года на складе котельной «Примтеплоэнерго» в городе Находка в Приморском крае взорвался резервуар с топочным мазутом. Хлопок был такой силы, что крышка цистерны массой 16 тонн была отброшена на десятки метров. В результате аварии произошёл разлив около 2,5 тысяч тонн нефтепродуктов, часть мазута попала в озеро Солёное. Из-за возникшей экологической катастрофы в Находке был объявлен режим ЧС.

Схожая ситуация произошла в селе Рыбное Красноярского края, в результате чего режим чрезвычайной ситуации был введён по всему Мотыгинскому району. В ночь на 4-5 марта 2020 года на нефтебазе «Красноярскнефтепродукта» в селе Рыбное прорвало трубопровод. Разрыв шва трубы произошёл во время перекачки нефтяных продуктов в результате подвижки грунтов. Нефтепродукты образовали пятно площадью 8 тысяч м2, часть дизтоплива разлилась на территории реки Ангара.

В октябре 2020 года в районе поселка Новая Кежма при перекачке дизельного топлива с баржи произошел разлив около 500 литров дизельного топлива, в результате чего река Ангара снова оказалась загрязнена нефтепродуктами. В крае ввели режим чрезвычайной ситуации, последствия произошедшего для экологии до сих пор уточняются.

Во время шторма на Таймыре при перекачки сырой нефти по временному трубопроводу произошел аварийный отрыв судна от берега, в результате чего трубопровод разгерметизировался и в реке Хатанга, а также на суше оказалось 1000 литров горюче-смазочных материалов.

Наибольший резонанс получила катастрофа, произошедшая в сентябре 2020 года на Камчатке, в результате которой погибло более 95% живых организмов, обитающих на дне Авачинской бухты. До сих пор точно не установлены причины произошедшего. Есть версии и о розливе нефтепродуктов или других опасных

ядохимикатов, а также варианты естественных причин произошедшего, таких как: сейсмическая активность в данном районе Камчатки или пестициды, выделяемые определенными видами водорослей.

Очевидно, что деятельность человека неразрывно связана с причинением ущерба окружающей среде. В связи с этим, специалисты во всем мире задаются вопросами о технологиях предотвращения различного рода техногенных катастроф, а также о методах оперативной и качественной ликвидации их последствий. В особенности остро вопрос недопущения экологического ущерба стоит в Арктике, состояние окружающей среды в которой непосредственно влияет на весь земной шар.

В Указе Президента РФ от 5 марта 2020 г. N 164 "Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года" сформулированы основные направления ее реализации в сфере охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности. Ключевыми задачами обозначены:

- совершенствование системы мониторинга окружающей среды, использование современных информационно-коммуникационных технологий и систем связи для осуществления измерений со спутников, морских и ледовых платформ, научно-исследовательских судов, наземных пунктов и из обсерваторий;
- внедрение лучших доступных технологий, обеспечение минимизации выбросов в атмосферный воздух, сбросов в водные объекты загрязняющих веществ и снижения иных видов негативного воздействия на окружающую среду при осуществлении хозяйственной и иной деятельности;
- реализация комплекса мер по исключению попадания в Арктическую зону Российской Федерации токсичных веществ, возбудителей инфекционных заболеваний и радиоактивных веществ.

Остается надеяться, что механизмы реализации и контроля исполнения данного указа будут в ближайшее время тщательно проработаны и в стране будет создана эффективная система мониторинга, предупреждения и ликвидации экологических катастроф техногенного и естественного характера в Арктической зоне.

В этом выпуске журнала «Российская Арктика» мы поговорим о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения Российского Севера, передовых разработках отечественных ученых в области создания инновационных энергетических платформ для Арктики, обсудим результаты экспедиции «Трансарктика III», а также ознакомимся с последними исследованиями состояния ледяного покрова морей и особенностями распределения айсбергов в Карском море.

Приятного прочтения!

Кира Змиева
Главный редактор научного журнала "Российская Арктика"

UDC 551.58
DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12101

ОЦЕНКА ПОВТОРЯЕМОСТИ КОЛИЧЕСТВА ОБЩЕЙ ОБЛАЧНОСТИ В БЕЛОМ И БАРЕНЦЕВОМ МОРЯХ, МАТЕРИАЛЫ ЭКСПЕДИЦИИ ТРАНСАРКТИКА III ЭТАП

Е.В. Зотова[1,2], Т.Н. Рюмина[3], Б.В. Иванов[2,4]

[1] Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Наук о Земле, кафедра климатологии, г. Санкт-Петербург, Россия
[2] Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, отдел взаимодействия океана и атмосферы, г. Санкт-Петербург, Россия
[3] ФГБУ «Северное УГМС», г. Архангельск, Россия
[4] Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Наук о Земле, кафедра океанологии, г. Санкт-Петербург, Россия

✉ ekaterina.zot.zotova@list.ru, rum-arh@mail.ru, b_ivanov@aari.ru

В статье представлены оценки повторяемости количества общей облачности в акваториях Белого и юго-восточной части Баренцева морей в июле-августе 2019 года, данные для которой получены в ходе научно-образовательной экспедиции «Трансарктика-2019, 3 этап». Данные о количестве общей облачности получены в результате визуальных наблюдений. В ходе обработки все полученные данные о балле общей облачности были переведены в процентное соотношение от общего числа случаев и разбиты на пять градаций от 0-1 баллов до 9-10 баллов. Выявлена значительная повторяемость случаев пасмурного неба (облачность 9-10 баллов), в сравнении с количеством случаев ясного неба (0-1 балл). Полученные результаты сравнивались с предшествующими исследованиями повторяемости количества общей облачности в Арктическом регионе и продемонстрировали тенденцию к увеличению количества случаев пасмурного неба в сравнении с количеством случаев ясного неба в летний период.

Ключевые слова: облачность, Белое море, Баренцево море, трансарктика, профессор Молчанов.

ESTIMATE OF TOTAL CLOUD COVER REPEATABILITY IN WHITE AND BARENTS SEAS, TRANSARCTIC EXPEDITION STAGE III MATERIALS

Zotova Ekaterina[1,2], Rumina Tatiana[3], Ivanov Boris[2,4]

[1] Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Climatology department, Saint Petersburg, Russia
[2] Arctic and Antarctic Research Institute, Department of Ocean-Atmosphere Interaction, Saint Petersburg, Russia
[3] Northern Department on Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Arkhangelsk, Russia
[4] Saint Petersburg state university, Institute of Earth Sciences, Oceanology department, Saint Petersburg

This paper is focused on the estimate of total cloud cover repeatability in the areas of White and South East part of Barents Seas in July-August 2019. All data collected during the research educational expedition “Transarctic-2019, stage III”. Total cloud cover data were collected visually. All collected data were converted into a percentage of total number of all cases and divided into five gradations from 0-1 points to 9-10 points. Significant repeatability of cloudy sky cases (9-10 points) was revealed in comparison with cloudless sky cases (0-1 points). The results were compared with previous investigations on the repeatability of total cloud cover in Arctic Region and showed the tendency to increase the number of cloudy sky cases in comparison with the number of clear sky cases in the summer season.

Keywords: Cloud cover, White Sea, Barents Sea, Transarctic, Professor Molchanov

Статья получена: 04.08.2020
Принята к публикации: 20.08.2020
Опубликована онлайн: 02.09.2020

Введение

Третий этап экспедиции «ТРАНСАРКТИКА-2019» проходил с 16 июля по 2 августа 2019 г. на научно-исследовательском судне «Профессор Молчанов». Организаторы: ФГБУ «Северное УГМС» совместно с ФГБУ «ААНИИ», ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», МГУ, РГГМУ, СПбГУ, ФГБНУ «ВНИРО», ФГБУН «Федеральный Исследовательский центр Комплексного Изучения Арктики им. Академика Н.П. Лаверова» РАН. Основной целью экспедиции являлись организация и проведение образовательной компоненты программы «Трансарктика-2019» с участием ведущих ученых и сотрудников институтов и управлений Росгидромета и студентов, магистрантов и аспирантов Российских учебных заведений, в ходе выполнения комплексных экспедиционных исследований экосистем арктических морей и побережий (см. рис. 1); подготовка студентов, магистрантов и аспирантов Российских учебных заведений по специальностям арктической направленности в ходе выполнения мониторинга состояния акваторий, морских и прибрежных экосистем арктических морей в связи с глобальным изменением климата и развитие долговременного образовательного проекта «Арктический Плавучий университет» на борту научно-исследовательского судна «Профессор Молчанов», выполняемого специалистами Росгидромета и Северного (Арктического) Федерального университета.

В рамках работы экспедиции метеорологическая группа, представленная специалистами ФГБУ «Северное УГМС» и ААНИИ, занималась сбором, обработкой и первичным анализом основных метеорологических характеристик, к которым относятся: температура воздуха, относительная влажность, атмосферное давление, скорость и направление ветра, количество и форма облачности, горизонтальная дальность видимости, атмосферные явления и т.д. Наблюдения производились по всему маршруту в Белом и юго-восточной части Баренцева моря, а также во время высадок на берег для производства комплекса наземных

Рисунок 1 – Студенты и ученые во время экспедиции ТРАНСАРКТИКА-2019.

© E. Zotova, T. Rumina, B. Ivanov
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

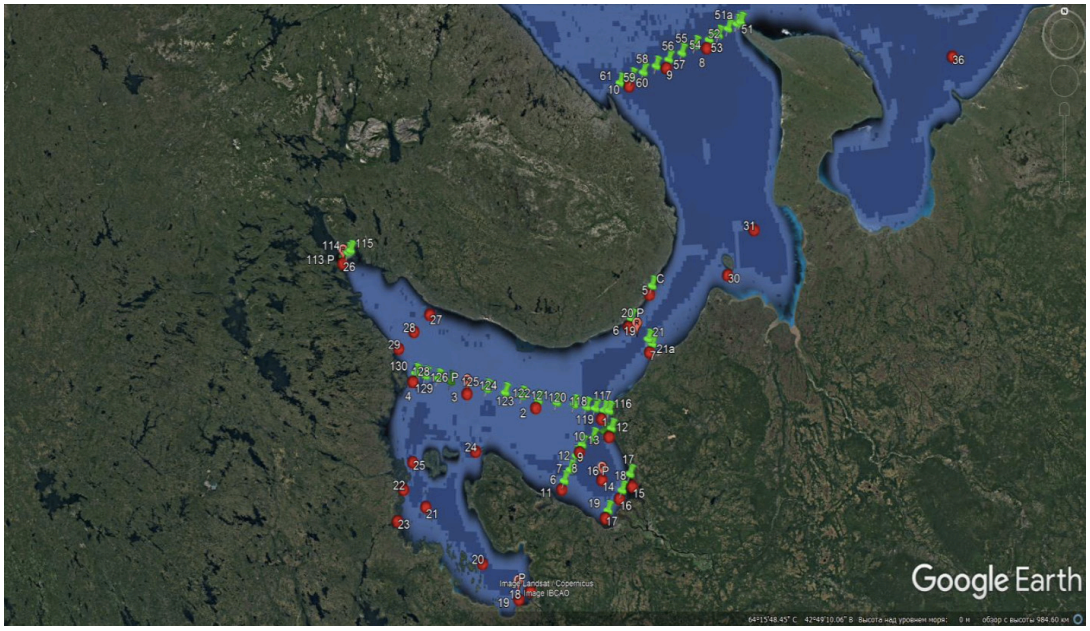

Рисунок 2 – Положение океанографических станций в Баренцевом море.

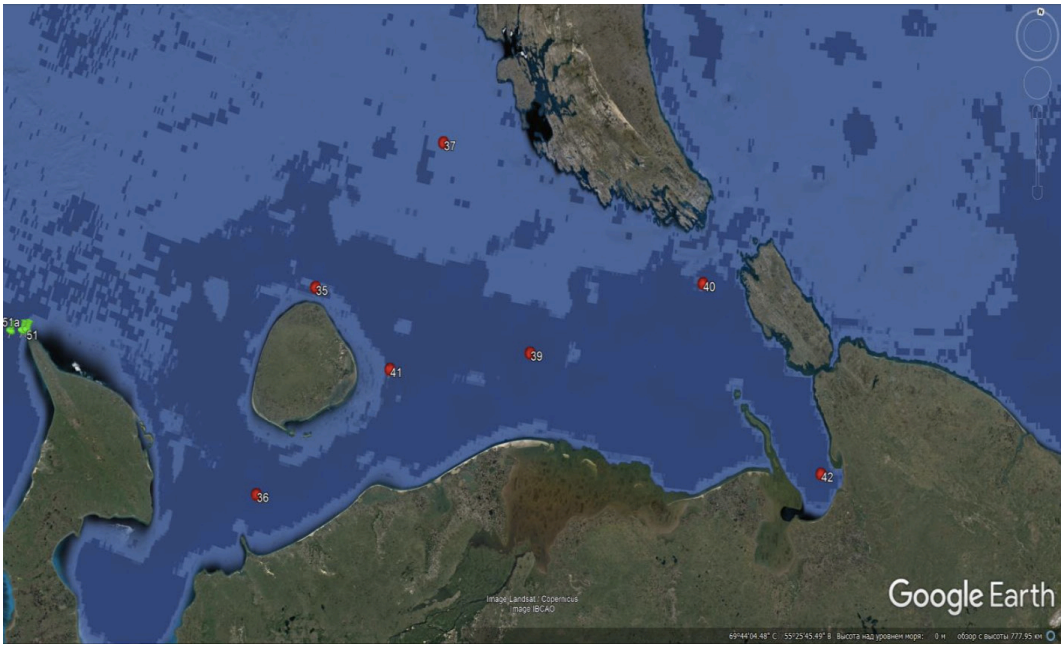

Рисунок 3 – Схема океанографических разрезов и отдельных станций в Белом море.

наблюдений. Маршрут экспедиции (положение океанографических разрезов и отдельных станций) представлен на рисунках 2 и 3.

На фоне наблюдающейся устойчивой тенденции к изменениям климата Арктики [1,2,3,4] возникает необходимость более детального исследования и других важных характеристик атмосферы, а не только привычной большинству исследователей приземной температуры воздуха. В представленной работе мы сконцентрировали свое внимание на облачности, которая является одним из основных факторов, определяющих перенос коротковолновой и длинноволновой радиации в системе атмосфера – подстилающая поверхность. Ее влияние на радиационные потоки определяется количеством, высотой, мощностью и водностью облаков [5,6]. Таким образом, целью работы было выявление общих закономерностей и региональных особенностей характеристик облачности в исследуемых районах Белого и Баренцева морей. Полученные результаты и сделанные заключения можно распространить только на летний период года, а именно на июль-август.

Для выполнения поставленной цели необходимо было выполнить следующие задачи:

- Осуществить сбор данных о количестве общей облачности по всему

маршруту исследования.

- Обработать полученные данные.
- Получить репрезентативные оценки повторяемости количества случаев с различным баллом общей облачности по выбранным градациям.
- Сравнить полученные результаты с предшествующими исследованиями о характере распределения количества общей облачности в высоких широтах.

Предшествующие исследования особенностей распределения характеристик облачности по градациям [7,8,9] выявили сезонную изменчивость в распределении количества общей облачности. В летний период отмечается значительная повторяемость пасмурного неба (более 60% от общего числа случаев) и заметное снижение повторяемости случаев ясного неба (менее 10% от общего числа случаев).

Синоптическая ситуация в районах проведения работ

Оценка синоптической ситуации по всему маршруту экспедиции необходима для информационного обеспечения работ, проводимых в Арктических регионах, путем составления и передачи прогнозов погоды и волнения моря; штормовых предупреждений о возникновении неблагоприятных и опасных гидрометеорологических явлениях.

В ночь на 17 июля в барическом гребне арктического антициклона над районом Казани образовалось ядро с давлением в центре 1015 гПа, которое в течение суток сместилось на Архангельскую область. Над Онежским заливом наблюдалось малоградиентное поле давления и малооблачная без осадков погода. 18-19 июля ядро, постепенно усиливаясь, с Архангельской области сместилось на Баренцево море (рис. 4), а затем (19-20 июля) в северо-восточном направлении. Днем 20 июля частный антициклон с давлением в центре 1020 гПа располагался между архипелагами Земля Франца-Иосифа и Северная Земля.

21 июля в тылу смещающегося на северо-восток через Карское море циклона (1007 гПа) над юго-востоком Баренцева моря образовался новый частный антициклон (1018 гПа), который, постепенно усиливаясь, 22-23 июля медленно смещался на Карское море. Наблюдалась переменная облачность;

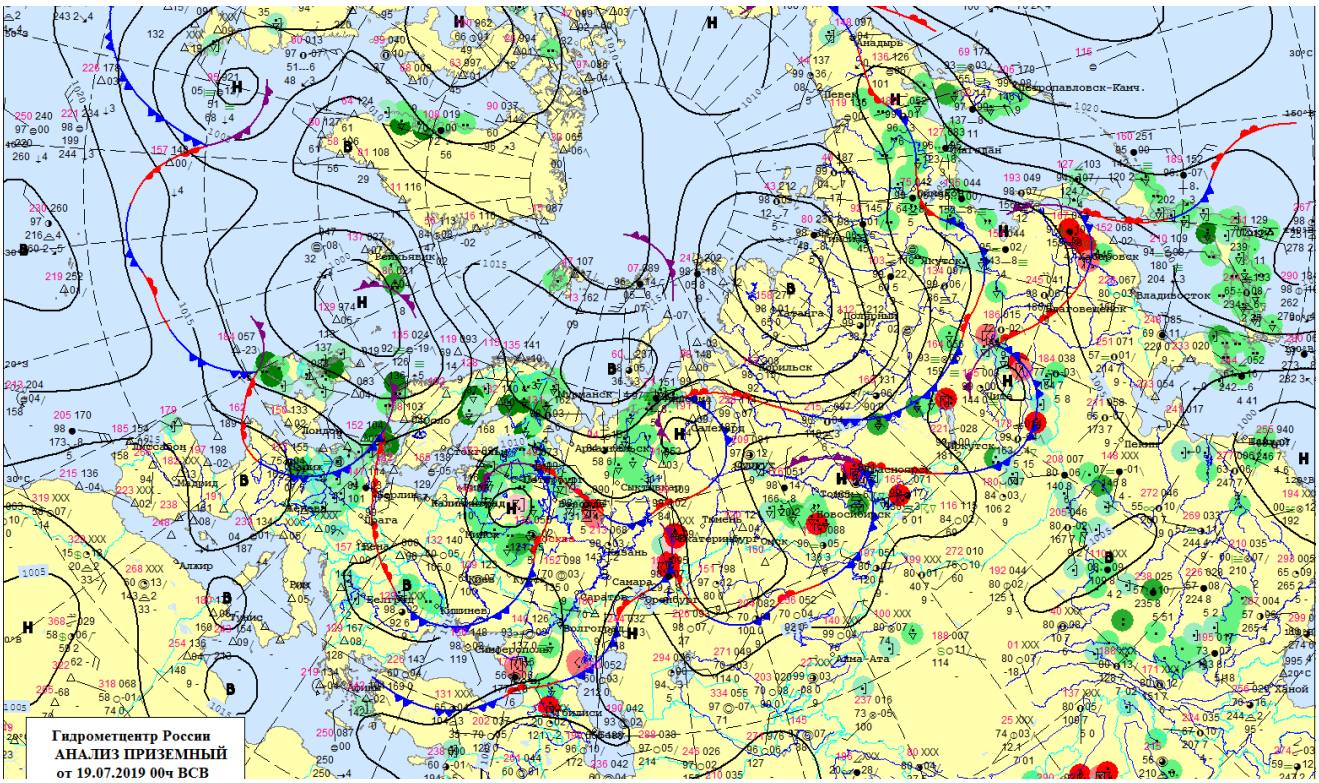

Рисунок 4 – Приземный анализ за 00ВСВ 19.07.2019г.

© E. Zotova, T. Rumina, B. Ivanov
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

утром и днем 23 июля отмечался туман.

23-27 июля 2019 года малоподвижный антициклон с давлением в центре 1022 гПа располагался над юго-западом Карского моря, где и постепенно разрушался. В ложбине атлантического циклона над северной Атлантикой 24 июля образовался частный циклон (1011 гПа), который смещался в восточном направлении через центральную часть Баренцева моря на Байдарацкую губу, где 26 июля влился в ложбину сибирского циклона (рис. 5). 23-24 июля погоду над юго-востоком Баренцева моря определяло малоградиентное поле повышенного давления, 25-27 июля прохождение атлантического заполняющегося циклона.

28 июля погоду над юго-востоком Баренцева моря определяла северная периферия циклона с центром (992 гПа) над Республикой Коми.

В целом синоптические условия, наблюдавшиеся в период проведения экспедиции, соответствуют стандартным условиям, характерным для данного региона в летний период. Большое количество дней с зафиксированными полями низкого давления в районах проведения работ, характеризующих циклонические условия, указывают на наличие высокого балла облачности, подтвержденного также наблюдениями.

Материалы и методы исследования

С 16 июля 2019 года по 2 августа 2019 года в акватории Белого и Баренцева морей были получены данные о балле общей облачности. Данные фиксировались наблюдателем визуально во время океанографических станций (рис. 1,2), синоптических (UTC 03:00, 09:00, 15:00, 21:00) и актинометрических сроков наблюдений (UTC 00:30, 02:30, 04:30, 06:30, 08:30, 10:30, 12:30, 14:30, 16:30, 18:30, 20:30, 22:30).

Полученные данные были разбиты на градации: 0-1 балл, 2-3 балла, 4-6 баллов, 7-8 баллов, 9-10 баллов и была построена функция распределения повторяемости различных баллов облачности. Данный метод был выбран на основе предыдущих исследований повторяемости количества облачности в высоких широтах [5,7].

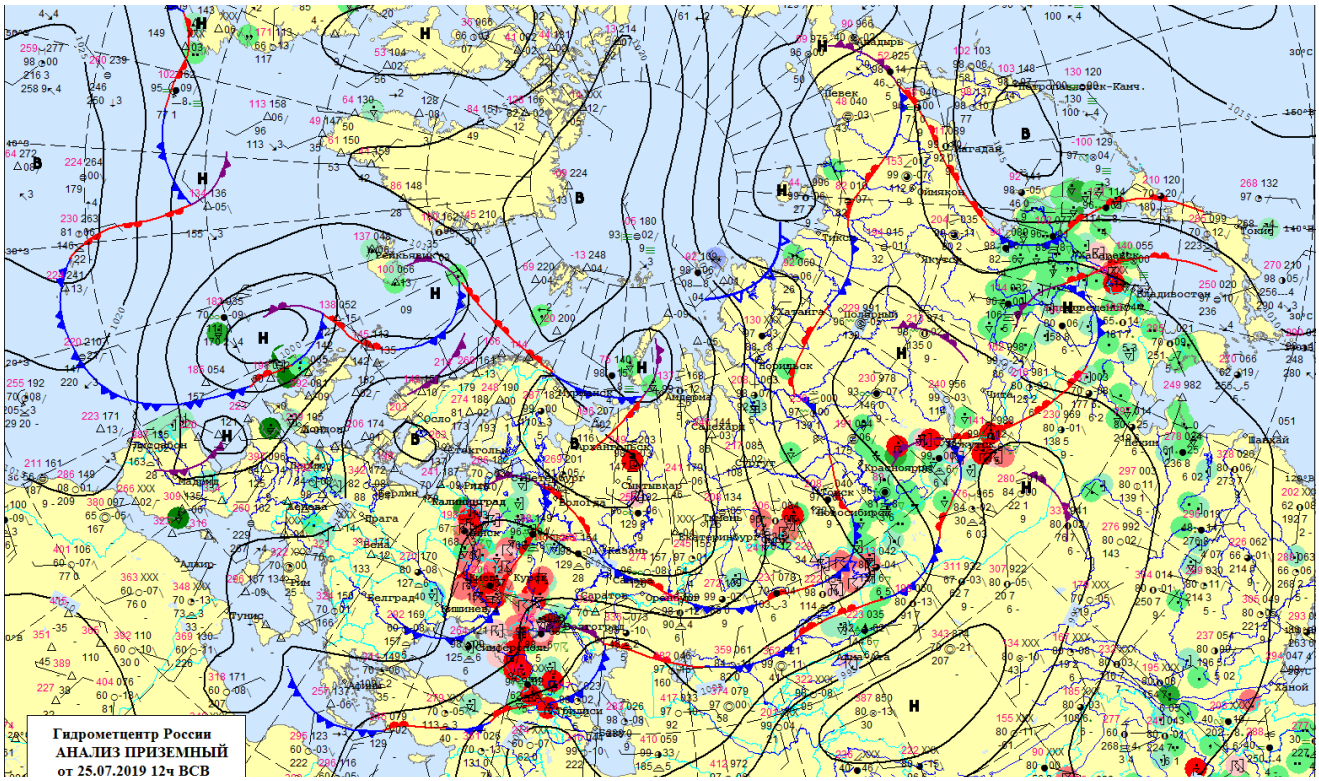

Рисунок 5 – Приземный анализ за 12ВСВ 25.07.2019г.

Результаты

По результатам предшествующих исследований была выявлена значительная повторяемость пасмурного неба (более 50% от общего числа случаев) и заметно сниженная повторяемость ясного неба [10]. В работе по исследованию радиационных климатических факторов и метеорологического режима архипелага Шпицберген [7] также отмечается и определенная закономерность распределения количества общей облачности по сезонам. Например, распределение повторяемости количества общей облачности в летний период представлено на рисунке 6.

Данный график подтверждает ранее полученные результаты [10]. Наблюдается значительную повторяемость (более 60% от общего числа случаев) пасмурного неба и незначительная повторяемость ясного неба (менее 10% от общего числа случаев).

В работе [8] анализируется доля общей облачности отдельно над сушей и океаном. Согласно исследованию, наблюдается ярко выраженный годовой ход облачности на суше с максимумом в летний период. Годовой ход так же хорошо выражен; высокие значения доли общей облачности отмечаются в летний период, что совпадает с минимальной концентрацией морского льда. Минимум приходится на период с ноября по апрель при максимальной концентрации морского льда.

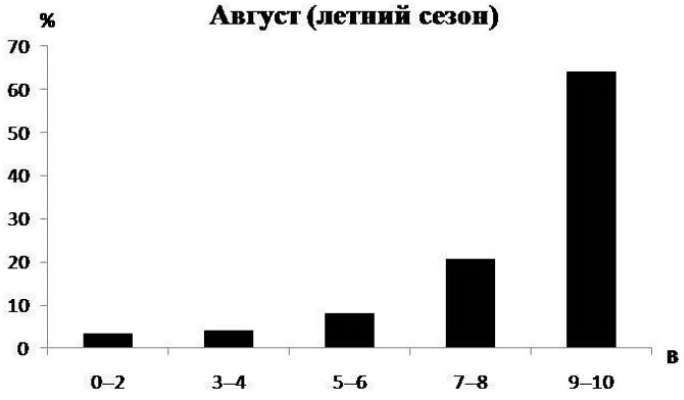

Рисунок 6 – Распределение повторяемости количества общей облачности в летний период (B - баллы облачности; % - повторяемость баллов облачности в процентах от числа дней в месяце) (Священников и др., 2011).

В работе [9] сравниваются спутниковые данные и данные наблюдений о количестве общей облачности в северной части Аляски и прилегающих акваториях Северного Ледовитого океана. Отмечается значительное увеличение количества общей облачности в летний период как по спутниковым данным, так и по данным наблюдений по сравнению с зимним периодом.

Для данных, полученных во время экспедиции ТРАНСАРКТИКА III этап, проходившего с 16 июля по 2 августа 2019 года, был проведен аналогичный анализ повторяемости количества общей облачности [7,9], наблюдаемой в период экспедиции, по градациям: 0-1 балл, 2-3 балла, 4-6 баллов, 7-8 баллов, 9-10 баллов. Результаты распределения представлены на рис. 7.

Анализируя данный график, можно отметить наибольшее число случаев с количеством общей облачности 9-10 баллов (50 % от общего числа случаев) и наименьшее количество случаев безоблачного неба (6 % от общего числа случаев).

Следует отметить, что закономерность распределения повторяемости количества общей облачности соблюдается даже при более коротких сериях наблюдений.

Выводы

- За время экспедиции ТРАНСАРКТИКА III этап были получены уникальные данные о количестве общей облачности, наблюдавшейся

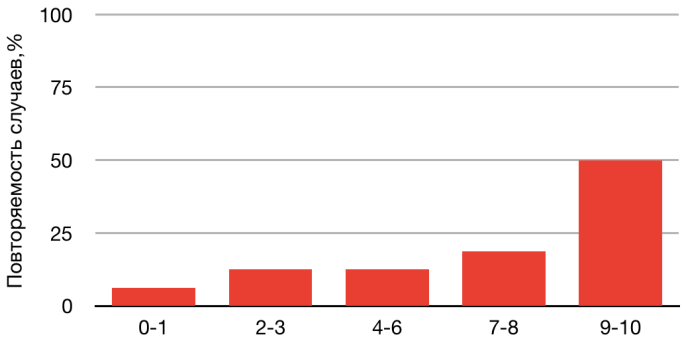

Рисунок 7 – Распределение повторяемости количества общей облачности за 18.07.2019-1.08.2019 в Белом и Баренцевом морях.

© E. Zotova, T. Rumina, B. Ivanov
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

в акваториях Белого и южной части Баренцева морей в летний период.

- Получены оригинальные результаты, демонстрирующие распределение повторяемости количества облачности и выявлена значительная повторяемость случаев пасмурного неба (облачность 9-10 баллов), в сравнении с количеством случаев ясного неба (0-1 балл).

Полученные результаты, в сравнении с предшествующими исследованиями, подтвердили выявленные ранее закономерности распределения повторяемости количества общей облачности для летнего периода. Последнее обстоятельство указывает, что эти закономерности имеют не региональный, а пан-арктический масштаб, поскольку выявлены для центральной Арктики, арктических архипелагов и арктических морей. По-видимому, это можно рассматривать как еще одно подтверждение проявления изменения климата в Арктике, поскольку связь между увеличением повторяемости пасмурного неба, изменением (увеличением) длинноволнового излучения атмосферы и увеличением температуры приземного слоя воздуха не вызывает сомнений.

Список литературы:

1. Груза Г.В. Исследование климата и его изменений // Изменение климата, 2012. №31. С. 5-8.
2. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха / Обнинск. ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012, 194 с.
3. Алексеев Г.В. Проявление и усиление глобального потепления в Арктике // Фундаментальная и прикладная климатология, 2015, т. 1. С. 11 – 26.
4. Алексеев Г.В. Арктическое измерение глобального потепления // Лед и снег, 2014. № 2. С. 53–68.
5. Васильева Д.А., Священников П.Н. Межгодовая изменчивость облачности и длинноволновой атмосферной радиации в Центральном Арктическом Бассейне // Вестник СПбГУ. 2003. Сер. Географии и геологии. Вып.4, № 31. СС. 143-148.
6. Curry J. A. and E.E. Elbert. Annual cycle of radiation fluxes over the Arctic Ocean: sensitivity to cloud optical properties // J. of Climate. 1992. Vol. 5 (N 11). PP. 1267–1280.
7. П.Н.Священников, Б.В.Иванов, П.В.Бочаров, Журавский Д.М., Тимачев В.Ф., Семенов А.В., Солдатова Т.А., Анциферова А.Р. Исследование радиационных климатических факторов и метеорологического режима архипелага Шпицберген. «Российские исследования по программе МПГ 2007/08», Том III «Метеорологические и геофизические исследования» (под ред. Алексеева Г.В. и др.), 2011.
8. Чернокульский А. В. Климатология облачности в Арктических и субарктических широтах по спутниковым и наземным наблюдениям и данным реанализа // Солнечно-земная физика. Вып. 21 (2012) С. 73–78
9. Curry J. A., Rossow W. B., Randall D. and Schramm J. L. Overview of Arctic cloud and radiation characteristics // Journal of Climate (1996) 9 (8): 1731–1764.
10. Makshtas A.P., Andreas E.L., Svyashchennikov P.N. and V.F. Timachev. Accounting for clouds in sea ice models // J. Atmosph. Res. 1999. Vol. 52. PP. 77–113.

References:

1. Gruza G.V. Study of climate and its changes. Climate change, 2012, vol.31, pp. 5-8.
2. Gruza G.V., Ran'kova E.Ya. Observed and expected climate changes in Russia: air temperature. Obninsk, FGBU "VNIIGMI-MCD", 2012, p. 194.
3. Alekseev G.V. Manifestation and intensification of global warming in the Arctic. Fundamental and Applied Climatology, 2015, vol. 1. pp.. 11 – 26.
4. Alekseev G.V. Arctic Dimension of Global Warming. Ice and snow, 2014, vol.2, pp. 53–68.
5. Vasileva D.A., Svyashennikov P.N. Interannual variability of cloudiness and long-wave atmospheric radiation in the Central Arctic Basin. Vestnik SPbGU - SPbSU Bulletin, 2003, vol. 4, no. 31, pp. 143-148.
6. Curry J. A. and E.E. Elbert. Annual cycle of radiation fluxes over the Arctic Ocean: sensitivity to cloud optical properties // J. of Climate. 1992. Vol. 5 (N 11). PP. 1267–1280.
7. P.N. Svyashennikov, B.V. Ivanov, P.V. Bocharov, D.M. Zhuravskiy, V.F. Timachev., A.V. Semenov, T.A. Soldatova, A.R. Antsiferova. Study of radiation climatic factors and meteorological regime of the Svalbard archipelago. Russian studies under the IPY 2007/08 program. Vol.. III «Meteorological and geophysical research» ed. G.V. Alekseev, 2011.
8. A.V. Chernokulskiy Climatology of cloudiness in the Arctic and subarctic latitudes according to satellite and ground observations and reanalysis data. Solar-terrestrial physics, vol. 21 (2012) P 73–78
9. Curry J. A., Rossow W. B., Randall D. and Schramm J. L. Overview of Arctic cloud and radiation characteristics // Journal of Climate (1996) 9 (8): 1731–1764.
10. Makshtas A.P., Andreas E.L., Svyashchennikov P.N. and V.F. Timachev. Accounting for clouds in sea ice models // J. Atmosph. Res. 1999. Vol. 52. PP. 77–113.

UDC 551.467.3.03(98)
DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12102

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА МОРЕЙ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Е.У. Миронов, С.В. Клячкин, В.М. Смоляницкий, А.В. Юлин, С.В. Фролов

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

mir@aari.ru, icefor@aari.ru

В статье рассмотрено современное состояние и перспективы дальнейших исследований закономерностей формирования ледового режима, разработки методов ледовых прогнозов и развития мониторинга ледяного покрова. Обоснована важность изучения как общих закономерностей ледового режима Северного Ледовитого океана, так и выявление пространственно-временной изменчивости отдельных элементов ледового режима.

Ключевые слова: арктические моря, ледовый режим, ледовый мониторинг, ледовые прогнозы, ледяной покров, моделирование.

CURRENT STATE AND PERSPECTIVES OF ICE COVER STUDIES IN THE RUSSIAN ARCTIC SEAS

Ye.U. Mironov, S.V. Klyachkin, V.M. Smolyanitsky, A.V. Yulin, S.V. Frolov

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

The article considers current state and perspectives of further studies of peculiarities of formation of the ice regime, development of the methods of ice forecasts and development of ice cover monitoring. The importance of investigation of both the general regularities of the ice regime of the Arctic Ocean and revealing of spatial-temporal variability of some ice regime elements is justified.

Keywords: ice cover, Arctic Seas, ice regime, ice monitoring ice forecasts, modeling.

Статья получена: 03.09.2020
Принята к публикации: 6.09.2020
Опубликована онлайн: 09.09.2020

Введение

Ледяной покров, сохраняющийся в Северном Ледовитом океане круглогодично, является одной из главных особенностей его гидрометеорологического режима. Морские льды, взаимодействуя с атмосферой и океаном, формируют основные компоненты климатической системы Арктики. Основой мониторинга ледяного покрова в настоящее время являются космические средства дистанционного зондирования [1].

Большой грузопоток по Северному морскому пути (СМП) в советский период и быстрое расширение объема морских перевозок, особенно минерального сырья, в современный период обуславливает большую практическую значимость исследований ледяного покрова российских арктических морей и разработку методов ледовых прогнозов. Важным аспектом повышенного интереса к особенностям ледового режима локальных районов стало освоение лицензионных участков шельфа арктических морей, включая проведение геологоразведочных и сейсмических работ на ограниченных акваториях. Решения практических

© Ye.U. Mironov, S.V. Klyachkin, V.M. Smolyanitsky, A.V. Yulin, S.V. Frolov
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

задач, включая разработку методов долгосрочных ледовых прогнозов, невозможны без регулярного мониторинга ледяного покрова и выявления общих закономерностей развития ледяного покрова Северного Ледовитого океана (СЛО). Эта стратегия развития морского ледоведения была сформулирована в основополагающей работе В.Ю. Визе [2]. В связи с вышесказанным основными направлениями исследований ледяного покрова морей российской Арктики являются:

- Мониторинг состояния ледяного покрова на основе регулярных наблюдений на гидрометеорологических станциях и в специальных экспедициях.
- Сбор, каталогизация и ведение электронного архива ледовых карт, тематических продуктов на основе данных ИСЗ.
- Экспериментальные исследования физических процессов в ледяном покрове, математическое моделирование эволюции ледяного покрова.
- Исследование закономерностей формирования ледового режима Северного Ледовитого океана и арктических морей.
- Создание и совершенствование методов и технологий диагностики и прогноза ледовых условий на акваториях арктических морей.
- Изучение ледовых условий судоходства в полярных районах, разработка методов и технологий навигационных рекомендаций.

Основные направления можно обобщить в виде концептуальной схемы исследования ледяного покрова в морях Российской Арктики (рис. 1).

В статье будет рассмотрено современное состояние и перспективы дальнейших исследований каждого основного направления исследований ледяного покрова.

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА

Каталогизация и ведение электронного архива по данным ИСЗ.

В настоящее время наиболее обширный архив цифровых данных по морскому льду Северного Ледовитого океана в стандартных форматах хранения сформирован в рамках проекта Всемирной метеорологической организации (ВМО)

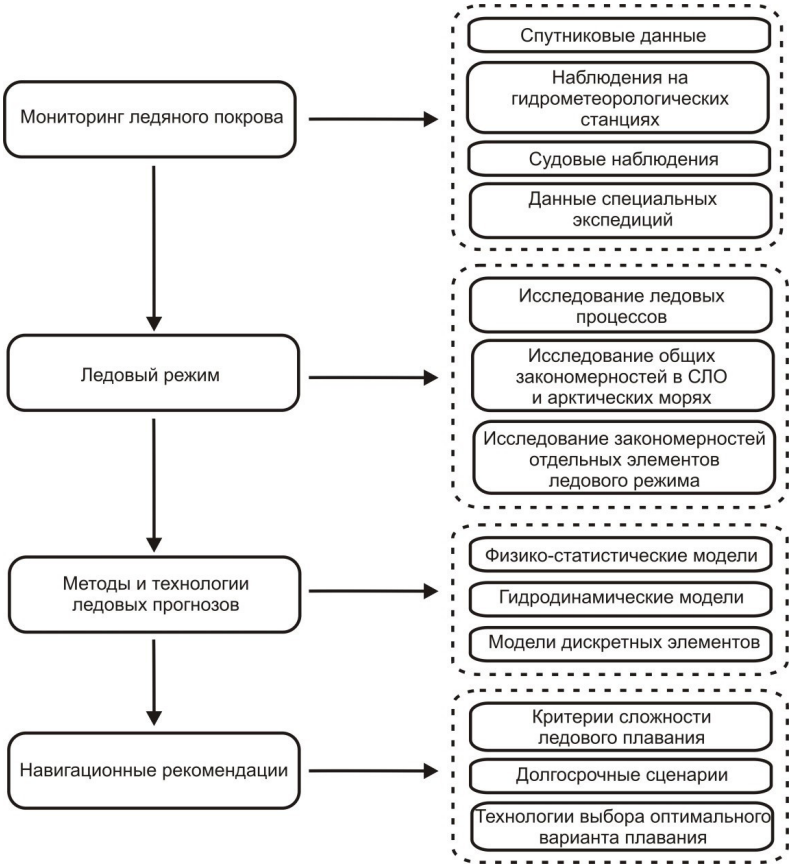

Рисунок 1 – Концептуальная схема основных направлений исследования ледяного покрова.

«Глобальный банк цифровых данных по морскому льду» (ГБЦДМЛ), поддержку которого в ААНИИ осуществляет Мировой центр данных (МЦД) по морскому льду. Основу архива данных составляют регулярные ледовые карты отдельных акваторий СЛО от национальных ледовых служб мира – России (СССР), Дании, Канады, США, покрывающие период инструментальных наблюдений с 1933 г. по настоящий момент времени с дискретностью от 7 суток до 1 месяца. Общее количество ледовых карт на май 2019 г. составило более 33 тыс. единиц хранения.

В основу формирования архива данных ГБЦДМЛ заложена концепция представления ледовых карт от различных национальных ледовых служб мира, имеющих различные периоды обобщения и покрывающие различные акватории, в единых форматах ВМО. Используется растровый формат СИГРИД [3] и СИГРИД-2, предусматривающие кодирование ледовых параметров в узлах географической сетки 15 на 15 географических минут. Кроме того, используется векторный формат СИГРИД-3 [4], предусматривающий векторное кодирование границ однородных ледовых зон с точностью 1 географическая минута или выше. Кодирование состава ледовой информации в точке растра (СИГРИД или СИГРИД-2) или зоне (СИГРИД-3) выполняется строго в соответствии с терминологией и кодовыми таблицами Номенклатуры ВМО по морскому льду [5]. Необходимая для пользователей информация об особенностях ледового картирования национальных ледовых служб мира, включая Россию, регулярно суммируется в специальной публикации ВМО [5].

Раздельная или совместная обработка массивов ледовых карт ледовых служб мира позволяет наиболее точно на сегодняшний день оценить распределение общей сплоченности и возрастного состава ледяного покрова, положения ледяных массивов, границы припайных льдов и их межгодовые изменения (рис. 2).

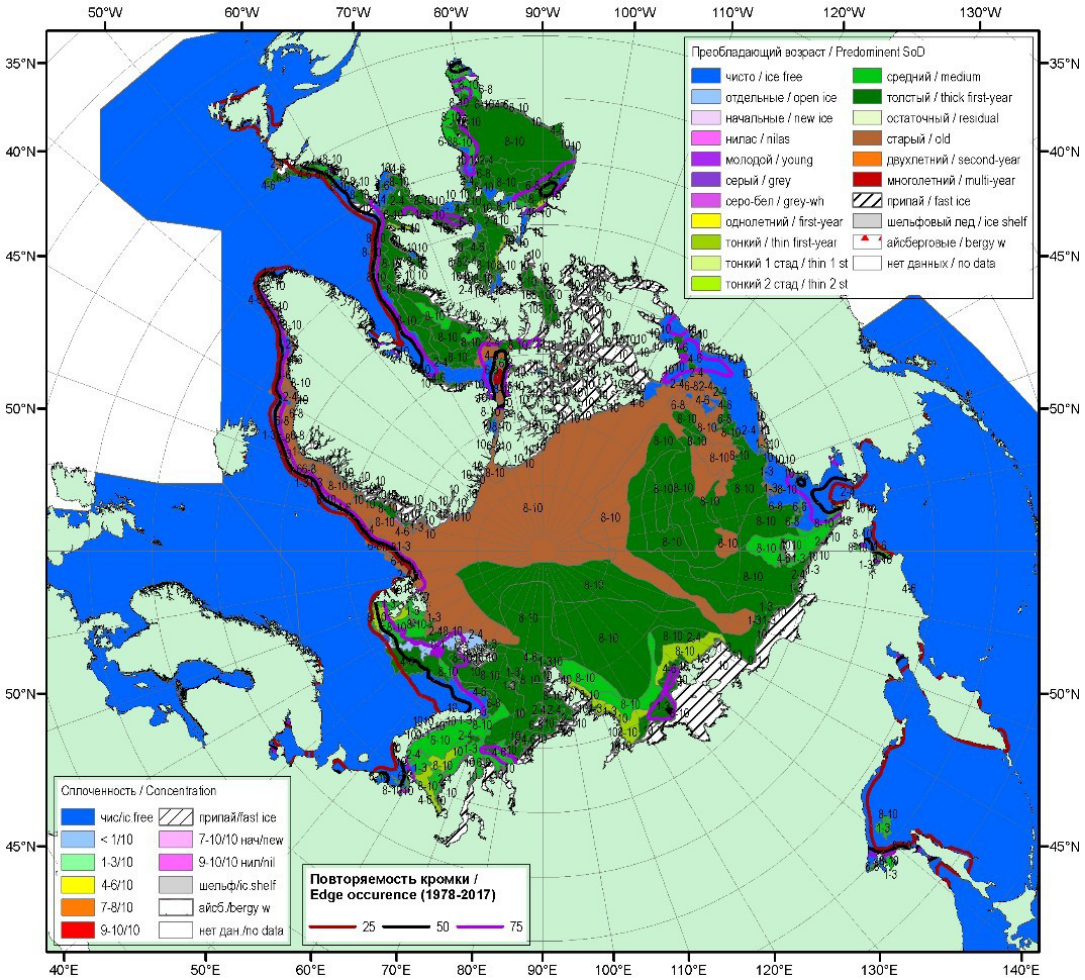

Рисунок 2 – Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту за 13-18 июня 2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

© Ye.U. Mironov, S.V. Klyachkin, V.M. Smolyanitsky, A.V. Yulin, S.V. Frolov
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

Вторым наиболее весомым массивом данных ГБЦДМЛ являются 1-2 дневные данные пассивного микроволнового зондирования Северной полярной области SSMR-SSM/I-SSMIS по алгоритму NASATEAM, копируемые МЦД МЛ из архива Национального ледового центра данных США по снегу и льду (НЦДСЛ) и охватывающие период с 26.10.1978 г. по настоящий момент времени [6]. Данная информация представляет собой матрицы оценки общей сплоченности морского льда в процентах по ячейкам сетки полярной стереографической проекции размерностью 25 на 25 км. Эти данные имеют известные ограничения и погрешности – занижение сплоченности для разрушенного льда в период таяния, полос и пятен, ложные эффекты в береговой зоне и зонах движения полярных циклонов. Однако данный массив при должном экспертном контроле предоставляет уникальные возможности для оценки вероятностных характеристик сплоченности льда, а также положения кромки льда и ледовитости.

Характеристики указанных архивных ледовых данных МЦД МЛ ААНИИ по СЛО представлены в таблице 1. В соответствии с принятой политикой обмена данными ВМО доступ пользователям предоставляется без ограничений через каталоги обменного сервера МЦД МЛ (http://wdc.aari.ru). Следует отметить, что полный архив данных МЦД МЛ не ограничивается вышеописанными массивами информации и включает данные по другим эле-

Таблица 1

Состав архивных ледовых данных МЦД МЛ ААНИИ.

№	Название массива	Период, гг./ периодичность	Наличие пропусков	Формат	Оцениваемый параметр
1а	Исправленные и уточненные 10-дневные ледовые карты ААНИИ по акватории Северного Ледовитого Океана	1933-1992 / 10-30 дней	Да	СИГРИД	Общая сплоченность, возраст, припай
1б	7-дневные комплексные карты состояния ледяного покрова в арктических и замерзающих морях России	1997 - по настоящее время / 7 дней	Нет	СИГРИД-3	Общая сплоченность, возраст, форма
2	7-дневные комплексные карты состояния ледяного покрова Северной полярной области НЛЦ США	1972 - по настоящее время / 7 дней	Нет	СИГРИД, СИГРИД-3	Общая сплоченность, возраст, форма
3	7-дневные комплексные карты состояния ледяного покрова Канадской Арктики КЛС	1968 - по настоящее время / 7 дней	Да	СИГРИД, СИГРИД-3	Общая сплоченность, возраст, форма
4	7-дневные комплексные карты состояния ледяного покрова вод Гренландии Датского метеорологического института	1999-2014 / 7 дней	Нет	СИГРИД-3	Общая сплоченность, возраст, форма
5	1-2 дневные данные пассивного микроволнового зондирования SSMR-SSM/I-SSMIS по алгоритму NASATEAM	1979 - по настоящее время / 1-2 дня	Нет	матрица	Общая сплоченность, ледовитость

ментам и параметрам природной среды полярных областей Земли в целом, в том числе данные по Южному океану, айсбергам, дрейфующим станциям «Северный полюс», дрейфующим буям и т.д.

Наблюдения на гидрометеорологических станциях и ледоисследовательские экспедиционные работы.

На береговых и островных полярных гидрометеорологических станциях измеряют толщину льда, торосистость, разрушенность льда и даты наступления осенних и весенних ледовых фаз. Преимуществом этих наблюдений является их регулярность и продолжительность. К сожалению, в 1990-е годы большая часть полярных станций была закрыта и в настоящее время этих наблюдений не хватает, особенно в восточных арктических морях.

Необходимым условием освоения континентального шельфа арктических морей является проведение ледовых исследований, которые позволяют получить инструментальные данные по морфометрическим характеристикам ледяных образований, физико-механическим свойствам льда и параметрам динамики ледяных полей. Эти характеристики невозможно получить на основе спутниковых дистанционных методов, поэтому используется вертолет или ледокол / судно ледового класса для высаживания полевой группы на лёд, которая выполняет инструментальные измерения.

Наиболее эффективным методом определения вертикальных параметров и внутренней структуры ледяных образований является установка водяного термобурения льда с компьютерной записью скорости бурения, разработанная в ААНИИ. Скорость бурения зависит от подаваемой тепловой мощности, пористости и температуры льда. Для определения рельефа верхней и нижней поверхности ледяных образований используется электронный тахеометр, подводные телеуправляемые аппараты и гидролокаторы кругового обзора [7]. Важным методом получения информации о геометрических размерах айсбергов и стамух является аэрофотосъемка, выполняемая с вертолета или беспилотного летательного аппарата (малого или среднего радиуса действия). Используемые методы позволяют с большой точностью строить трёхмерные модели ледяных образований. Результатом проведения таких исследований являются особенности пространственно-временной изменчивости морфометрических параметров гряд торосов, стамух и айсбергов.

Для определения характеристик дрейфа ледяных полей и айсбергов применяются автономные буи (радиомаяки) различных спутниковых систем (ARGOS, IRIDIUM) и различных модификаций. Получаемые с помощью этих приборов сведения позволяют определять параметры дрейфа ледяных полей и айсбергов на обширных акваториях в течение 3-4 месяцев с дискретностью 1 час [7].

Судовые наблюдения.

Современные методы дистанционного зондирования Земли из космоса не позволяют получать надежные значения важных параметров ледяного покрова, характеризующих его состояние (торосистость, сжатия, разрушенность и др.). В связи с этим, ледовые наблюдения, осуществляемые с борта судна, занимают важное место в изучении ледяного покрова. Современные судовые ледовые наблюдения осуществляются по двум направлениям – визуальные и инструментальные.

Визуальные специальные судовые ледовые наблюдения направлены на получение обширной и детальной информации на основе методических принципов, разработанных в ААНИИ. Специальные ледовые наблюдения выполняются с ходового мостика судна круглосуточно по всему маршруту следования судна во льдах вахтовым способом (6 вахт по 4 часа). Основным принципом выполнения специальных судовых ледовых наблюдений является выделение однородной ледовой зоны, характеристик ледяного покрова в ней, а также эксплуатационных показателей движения судна в пределах этой однородной зоны. Оценка стандартного комплекса характеристик ледяного покрова в однородных ледовых зонах осуществляется отдельно: по райо-

© Ye.U. Mironov, S.V. Klyachkin, V.M. Smolyanitsky, A.V. Yulin, S.V. Frolov
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

ну плавания, в зоне, ограниченной пределами горизонтальной видимости и непосредственно на пути плавания, в зоне по курсу судна, ширина которой равна 6-кратной ширине, а длина — 3-кратной длине корпуса судна. В 2004 г. разработано программное обеспечение для электронного журнала судовых специальных ледовых наблюдений.

Инструментальные судовые ледовые наблюдения основаны, прежде всего, на разработанном в 2003 г. в ААНИИ судовом телевизионном комплексе (СТК), предназначенном для наблюдения за характеристиками ледяного покрова на пути плавания судов. СТК – стандартная система видеоконтроля, адаптированная для специфических условий судовых специальных ледовых наблюдений. СТК регистрирует толщину льда, высоту снега, состояние ледяного покрова у борта судна, скорость сложения канала за кормой судна, характеризующая интенсивность сжатий в ледяном покрове, эксплуатационные характеристики движения судна во льдах [8]. На СТК получен патент на авторскую модель и ряд авторских свидетельств на программное обеспечение. В настоящее время разрабатываются алгоритмы использования данных беспилотных летательных аппаратов и судового ледового радара для выполнения судовых ледовых наблюдений.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ

Изучение закономерностей формирования ледового режима арктических морей

Одной из основополагающих работ в изучении закономерностей формирования ледового режима арктических морей является монография, подготовленная коллективом автором [9]. Монография стала методологической основой для развития методов долгосрочных ледовых прогнозов.

В современный период анализ многолетней изменчивости площади ледяного покрова в арктических морях льда за период с начала XX века до начала XXI века сделано в монографии [10]. В работе рассмотрены основные механизмы влияния морских арктических льдов на климатическую систему. Установлено, что многолетние изменения площади льда формировались линейными трендами и долгопериодными циклами продолжительностью 10, 20 и 50-60 лет. Показана сопряженность долгопериодных изменений ледовитости с климатическими колебаниями индексов атмосферной циркуляции, температуры воздуха и др. параметрами. На основе выявленных устойчивых циклических колебаний дана оценка возможных тенденций изменения площади морского льда.

Дальнейшие исследования ледового режима продолжались в двух направлениях – выявление общих закономерностей формирования ледового режима в СЛО или отдельных морях, а также изучение пространственно-временной изменчивости отдельных элементов ледового режима.

К первому направлению относится работа группы авторов в рамках коллективной монографии [11], в которой выполнено обобщение ледовых условий для всего Северного Ледовитого океана и отдельно для арктических морей. Рассмотрены сезонные изменения состояния ледяного покрова, крупномасштабная изменчивость дрейфа льдов, закономерности распределения ледяного покрова. Для арктических морей выявлены закономерности ледообразования и нарастания льда, ледообмена арктических морей с Арктическим бассейном, формирования припая и полыней, распределения льда в период разрушения ледяного покрова. Важный вывод сделан о пространственной и межгодовой изменчивости толщины ровного льда. В течение всего холодного периода толщина льда в центральных районах арктических морей больше, чем в южных районах Карского и Чукотского морей, подверженных влиянию атлантического и тихоокеанского региона, смягчающих суровость арктической зимы. В зависимости от суровости зимних условий скорость нарастания толщины льда испытывает межгодовые колебания. Как следует из расчетов, мно-

голетние изменения толщины льда происходят в среднем в интервале плюс-минус 30-50 см.

В монографии [12] выполнено исследование региональных особенностей и закономерностей пространственного распределения, сезонной и многолетней изменчивости основных элементов ледового режима Гренландского и Баренцева морей. Выполнено районирование морей по ледовым признакам. Выявлены основные природные факторы, определяющие формирование типа ледовых условий. Сделана оценка толщины льда с учетом гряд торосов, расчеты эффективной толщины и оценка объема льдов в исследуемых морях и в целом СЛО. В работе показана значимость региона в климатической изменчивости площади льда Северного Ледовитого океана.

В коллективной монографии [13] выполнено комплексное исследование изменчивости метеорологических, ледовых и океанологических условий в шельфовой зоне Баренцева и Карского морей. При исследовании использовались два методологических подхода:

- изучение пространственного распределения, сезонной и межгодовой изменчивости ледовых условий на основе комплексного физико-географического изучения природных объектов с применением методов статистического анализа;
- расчеты различных типовых и экстремальных сценариев на основе гидродинамических моделей вод и льдов.

В монографии рассмотрен годовой цикл естественных изменений ледовых условий, процессы замерзания акваторий, становления припая, нарастания толщины льды, пространственная неравномерность толщины и торосистости ледяного покрова, пространственно-временная изменчивость положения кромки льдов и сплоченности льда, межгодовая изменчивость сроков очищения акватории ото льдов и продолжительность безледного периода. Кроме того, даны определения и приведена характеристика изменчивости опасных и неблагоприятных ледовых явлений.

Характеристика основных элементов ледового режима морей азиатской части России, приведена в научно-справочном пособии [14] на основе данных за последние 30 лет, кроме того отдельно рассмотрены изменения, произошедшие за 15-летний период XXI века. Для каждого моря проанализированы особенности появления льда на акватории, приведены таблицы дат наступления ледовых фаз по данным ГМС, рассмотрены процессы нарастания и распространения льда, а также очищения акватории ото льдов. Получены количественные оценки изменений сроков ледовых фаз в конце XX века – начале XXI века.

Исследования пространственно-временной изменчивости отдельных элементов ледового режима выполнены в монографиях [15, 16] и режимно-справочных пособиях [17, 18].

В монографии [15] изложены результаты исследований условий формирования и разрушения припая и заприпайных полыней в морях Сибирского шельфа. Обработка данных за 1980–2010 гг., полученных с ИСЗ, позволила существенно уточнить и выделить закономерности развития припая и заприпайных полыней. Выполнен анализ сезонной изменчивости толщины и ширины припая в арктических морях. Рассмотрена межгодовая и многолетняя изменчивость площади припая и заприпайных полыней. В отдельной главе рассмотрено влияние распространение припая и заприпайных полыней на условия плавания по Северному морскому пути.

В коллективной монографии [16] обобщены результаты исследований по описанию условий формирования и пространственно-временной изменчивости комплекса опасных ледовых явлений и ледяных образований в арктических морях. Выполнена классификация опасных ледовых явлений и неблагоприятных ледовых условий и рассмотрено их влияние на безопасность судоходства. Детально рассмотрены сжатия льдов, интенсивный дрейф льдов или ледовая река, облипание корпуса судна снежно-ледяной подушкой, сужение канала в припае, аномально раннее ледообразование, вторжение сплоченных льдов

© Ye.U. Mironov, S.V. Klyachkin, V.M. Smolyanitsky, A.V. Yulin, S.V. Frolov
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

на судоходные трассы, обледенение судов, а также пространственно-временная изменчивость распространения стамух и айсбергов. Таким образом, в монографии впервые выполнено обобщение существующих знаний о комплексе ледовых явлений и ледяных образований, представляющих опасность для судоходства в Арктике.

В режимно-справочном пособие [17] на основе данных Международной программы арктических буёв (МПАБ) за 30-ти летний период подготовлены расчетные поля дрейфа льда в Арктическом бассейне при типовых барических ситуациях. Наличие связи между полем скорости дрейфа льда и полем приземного атмосферного давления позволяет корректно получать изолинии скоростей, даже в тех районах, где буи значительно удалены друг от друга. Расчет скорости дрейфа в узлах сетки 200x200 км проводился с применением метода объективной интерполяции.

В режимно-справочном пособие [18] на основе данных с ИСЗ в ТВ и ИК диапазонах за период 1982–2013 гг. выполнено обобщение крупных нарушений сплошности льда (НСЛ) или разрывов в Карском море и в северо-восточной части Баренцева моря. Показателями НСЛ принято считать следующие характеристики: удельная длина, модальное направление, протяженность разрывов в модальном интервале, обеспеченность этого интервала, среднее расстояние между разрывами. В пособие приведен комплект карт среднемноголетних характеристик разрывов, выполненный в узлах сетки 100x100 км с октября по май. Кроме средних значений характеристик определялись также диапазоны их межгодовых изменений.

Атласы, методические пособия

Сформированные в ААНИИ под эгидой МЦД МЛ массивы и каталоги данных ледового картирования позволяют выполнять обобщения ледовых параметров и создавать широкий круг Атласов и методических пособий различной полноты и географического охвата. Для региональных исследований это может быть одно из морей Российской Арктики и единственный параметр – ледовитость, для полномасштабных, общегеографических исследований – вся акватория СЛО и набор характеристик – общая сплоченность и её интервалы, кромка льда, возрастной состав, опасные явления и т.д., сформированные в форме Атласа. Примерами таких обобщений за последние годы являются серия атласов, как всего СЛО, так и морей Российской Арктики [19 – 21].

Общая концепция подготовки материала Атласов и методических пособий основана на максимально возможном использовании данных и сохранении на всех этапах обработки точности представления информации. Методически концепция включает формирование набора географически привязанных полей параметров морского льда, их обобщение в форме гистограмм с последующим расчетом полей статистических характеристик и подготовку иллюстративного материала в среде Геоинформационных систем (ГИС) типа ArcGIS и QuantumGIS.

Технологические аспекты реализации данной концепции учитывают форматы хранения исходных данных (СИГРИД, СИГРИД-2, СИГРИД-3), географическую область, наличие пропусков в данных по времени и пространству, кодировку параметра. Например, наиболее значимым источником данных о параметрах морского льда СЛО являются 7-10 дневные карты ААНИИ с 1933 года. В отличие от карт НЛЦ США, КЛС и ДМИ, в силу специфики источников информации, и первичной цели ледового картирования – обеспечение навигации по трассам СМП, карты ААНИИ в период по 1992 г. имеют существенные пропуски по времени и пространству. Соответственно, при общем периоде материала 1933 – 1992 гг. и 1997-2017 гг. при максимальном значении числа наблюдений для 3-х декад отдельного месяца порядка ~243, фактическое количество наблюдений (освещенность данными) в конкретной точке будет различно для разных месячных промежутков, акваторий и характеристик.

Решение задачи устранения пропусков данных включает совмещение данных ААНИИ с данными без пропусков,

например, НЛЦ США, с приданием, данным ААНИИ большего веса, преимущественное использование робастных статистик (например, квантилей распределения, а не среднего). Решение задачи обобщения качественных параметров включает придание им количественных характеристик. Например, формирование массива возрастных характеристик выполняется в форме выделения частных сплочённостей начальных и молодых льдов (толщина 0 – 30 см), однолетних льдов (толщина 30-120 см.), старых льдов (толщина > 120 см). Обобщение возрастного состава в многолетнем плане может быть сделано в виде средневзвешенной толщины ровного льда, причем для каждой возрастной градации используется середина интервала толщин льда по Номенклатуре ВМО [5]. При этом, выходные значения средневзвешенной толщины льда фактически будут соответствовать преобладающим возрастным характеристикам.

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ЛЕДОВЫХ ПРОГНОЗОВ

Методы долгосрочных ледовых прогнозов.

Современное развитие физико-статистических методов долгосрочных ледовых прогнозов осуществляется по следующим основным направлениям:

- создание методов выбора информативных предсказателей и построения статистических или вероятностных прогностических схем с учетом быстрого развития компьютерных технологий;
- использование типизации ледовых условий, созданной на базе анализа многолетних рядов и диагноза типа развития ледовых процессов на основе сочетания различных определяющих факторов, а также оценки вероятности типа процессов.

В работе [22] показано, что различные комбинации гидрометеорологических факторов приводят к образованию характерных ледовых условий отдельно для каждого естественного однородного района. Формируется ограниченное количество типов ледовых условий, которые устойчиво сохраняются в течение всего летнего периода. Разработан метод локально-генетической типизации, который обеспечивает выделение внутри однородного района устойчивых типов ледовых условий по определенным сочетаниям аномалий природных предикторов. На основе этой методологии был разработан метод прогноза распределения сплоченности льда во всех арктических морях в летний период с декадной дискретностью с заблаговременностью от 1 до 2 месяцев. Созданная база данных распределения льда позволяет в оперативном режиме формировать прогностические поля сплоченности льда.

За последние годы была проведена большая работа по изучению условий формирования и разрушения припая в морях Российской Арктики, результатом этой работы стала монография [15]. Выявленные закономерности позволили обновить методы прогнозов сроков разрушения и взлома припая во всех арктических морях с заблаговременностью до 30 суток [23]. Основной особенностью разработанных методов явилось разделение припайной области на ряд однородных районов с учетом особенностей взлома припая, который протекает поэтапно и начинается на его краях, постепенно переходя на основную часть припая. Методы прогноза были внедрены в оперативную практику и успешно эксплуатируются.

Основным методом, используемым для прогноза ледовитости и площади ледяных массивов, является автоматизированная прогностическая система (АПС) «Пегас» [24]. АПС «Пегас» является самообучающейся системой, учитывающей при построении прогностических схем – поля атмосферного давления, температуры воздуха, ледовитости морей и площади ледяных массивов. Это позволяет АПС «Пегас» учитывать меняющиеся количественные связей между выбранными предикторами и предиктантами. Использование АПС «Пегас» позволило сохранить достаточно высокий уровень оправдываемости прогнозов ледовитости и площади ледяных массивов российских арктических морей в летний период.

© Ye.U. Mironov, S.V. Klyachkin, V.M. Smolyanitsky, A.V. Yulin, S.V. Frolov
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

В 2014 - 2016 гг. был разработан принципиально новый вид ледовых прогнозов – методики прогноза типа ледовых условий в летний период в отдельных районах арктических морей, необходимые Администрации Северного морского пути для выдачи разрешений для плавания судов в акватории СМП. Метод долгосрочного прогноза типов ледовых условий для зимнего периода с месячной заблаговременностью был разработан только для Карского моря, ранее такие методы не разрабатывались. В процессе разработки метода были определены критерии типизации, выделены три основных типа сложности ледовых условий, выполнен поиск закономерностей их формирования [25].

Используемые в настоящий момент в оперативной работе ААНИИ методы прогнозов обладают хорошей информативностью, заблаговременностью и надежностью. Результаты этих прогнозов позволяют проводить стратегическое и тактическое планирование морских операций и их непосредственное проведение. Оправдываемость долгосрочных ледовых прогнозов в среднем составляет 80-85% и не уступает успешности прогнозирования зарубежных ледовых служб.

Математическое моделирование и технологии краткосрочного прогноза.

Краткосрочные (до 3 суток) и среднесрочные (от 3 до 7 суток) ледовые прогнозы являются важной частью специализированного гидрометеорологического обеспечения и широко востребованы организациями, осуществляющими или регулирующими морскую деятельность в Арктике. При всем разнообразии математических моделей, имитирующих ожидаемую эволюцию ледяного покрова, можно условно выделить два принципиальных подхода: динамико-термодинамический и физико-статистический.

Динамико-термодинамический подход представляет собой численное решение системы уравнений совместной динамики и термодинамики океана и ледяного покрова с соответствующими граничными условиями. Если расчетная область представляет собой достаточной обширный регион, т.е. имеет пространственный масштаб сотни или тысячи километров, то она аппроксимируется регулярной сеткой с использованием определенной картографической проекции. При этом распределение характеристик ледяного покрова в пределах ячейки сетки считается однородным. Это условие накладывает важное ограничение на пространственную детализацию аппроксимирующей сетки: размер ячейки сетки должен быть существенно больше характерного размера льдин. Если расчетная область имеет локальный характер (первые десятки километров), то в этом случае сеточная аппроксимация теряет смысл, и прогностическая модель основывается на принципе расчета характеристик каждой отдельной льдины (метод дискретных элементов).

Физико-статистический подход основан на поиске стохастических связей между характеристиками ледяного покрова и внешними факторами, и на установлении соответствующих регрессионных соотношений. Ключевым требованием для построения работоспособной физико-статистической модели прогноза эволюции ледяного покрова является наличие обширных массивов натурных наблюдений, выполненных при различных условиях: разные сезоны годового цикла, разные анемобарические, гидрологические и ледовые ситуации и т.д. Обычно физико-статистические модели используются для прогнозов в локальном пространственном масштабе, как своего рода альтернатива или дополнение к динамическим моделям, основанным на методе дискретных элементов.

В настоящее время как в ААНИИ, так в мировой практике наиболее разработанным и широко применяемым методом кратко- и среднесрочных ледовых прогнозов является динамико-термодинамическое моделирование глобального или регионального масштаба. Физико-математические и вычислительные основы моделирования эволюции ледяного покрова были сформулированы в ряде ставших уже классическими работ 1970-1990-х годов [26 – 33]. К настоящему времени они реализованы в виде компьютерных программ, хотя некоторые частные вопросы в разных моделях решаются по-разному.

Также достаточно отработаны основные аспекты информационного обеспечения моделирования: получение и дешифрирование спутниковых снимков, усвоение и комплексирование разнородной дополнительной информации (наблюдения на судах, на береговых станциях и т.п.), усвоение данных метеорологического форсинга из глобальных или региональных моделей атмосферы. В зависимости от возможностей и запросов потребителя прогностическая информация может передаваться в разных видах и формах. Это – карты-схемы, отражающие географическое распределение интересующего параметра ледяного покрова в фиксированный момент времени, графики или таблицы временного хода в выбранной точке в течение срока прогноза, траектории дрейфа интересующего объекта в течение срока прогноза, простая растровая графика, векторные файлы в форматах, совместимых с современными ГИС или Электронной картографической навигационно-информационной системой (ЭКНИС) и т.д. Необходимо отметить, что все перечисленные функции численного прогнозирования ледовых условий реализованы, в той или иной степени, в прогностических центрах многих стран [34 – 36], в том числе, и в ААНИИ [37 –39].

Достоверность ледовых прогнозов, составленных с помощью динамико-термодинамических моделей, достаточно высокая. Так, в частности, оправдываемость и эффективность 3-5 суточных ледовых прогнозов ААНИИ составляет 90-95% и 1,5-3% соответственно [38]. Примерно аналогичные результаты по достоверности краткосрочных ледовых прогнозов представлены в работе [35], описывающей деятельность канадской ледовой службы.

Таким образом, кратко- и среднесрочные численные ледовые прогнозы глобального или регионального масштаба – это действенный, проверенный и достаточно надежный инструмент получения сведений об ожидаемых ледовых условиях в Северном Ледовитом океане, в отдельном море или в крупной части моря. Востребованность такой информации настолько высока, что возникла необходимость максимально автоматизировать всю технологическую цепочку составления численных ледовых прогнозов, начиная от анализа спутникового снимка – основного источника ледовой информации – до передачи результатов прогноза на рабочее место потребителя. Такие работы проводились, в том числе, и в ААНИИ, с 1970-1980-х годов, но, в связи с быстрым развитием вычислительной техники и программных средств, задача совершенствования программно-аппаратного обеспечения численных ледовых прогнозов является постоянно актуальной. В частности, в 2014-2016 гг. в ААНИИ был разработан экспериментальный аппаратно-программный комплекс (ЭАПК) мониторинга и прогноза ледовых условий в Западной арктической зоне России [40]. Комплекс включает принципиально новую методику автоматизированного дешифрирования морского льда по спутниковым радиолокационным изображениям и снимкам видимого спектрального диапазона. Методика основана на статистических методах анализа двумерных полей, включая нейро-сетевые алгоритмы, что позволяет в автоматизированном режиме составлять электронные ледовые карты в согласованном формате с минимизацией фактора субъективного взгляда ледового эксперта.

Для подготовки с помощью ЭАПК краткосрочного прогноза ледовой обстановки разработана оригинальная численная прогностическая модель «лед–океан», позволяющая совместить представление океана в терминах σ-координат и представление ледяного покрова как набора маркеров. Важно отметить, что в рамках данного ЭАПК новая методика автоматизированного дешифрирования спутниковых снимков и прогностическая модель эволюции ледяного покрова технологически связаны и работают в единой управляющей оболочке, что дает возможность радикально повысить уровень автоматизации и надежность всего процесса составления ледового прогноза.

Однако, как и для любого другого метода анализа или воспроизведения природного явления, для численного моделирования характерны свои ограничения.

© Ye.U. Mironov, S.V. Klyachkin, V.M. Smolyanitsky, A.V. Yulin, S.V. Frolov
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

В настоящее время нет качественного, физически обоснованного метода расчета (прогноза) такого важного параметра ледяного покрова, как размеры льдин (раздробленность). Физический механизм разлома «большой» льдины на несколько «малых» и, наоборот, смерзания льдин до конца неясен. Отчасти то же относится к не менее значимому явлению, каковым является формирование и взлом припая, хотя попытки решить такую задачу известны [41]. Кроме того, принцип сеточной аппроксимации позволяет получать искомые значения параметров ледяного покрова только как средние по площади ячейки сетки, т.е. вся изменчивость внутри ячейки пропадает, хотя площадь ячейки составляет десятки-сотни квадратных километров. Наконец, как отмечалось выше, пространственное разрешение численных моделей, основанных на сеточной аппроксимации, ограничено характерными размерами льдин. Если требуется получить картину с более высокой пространственной детализацией, то необходимо переходить к прогнозированию эволюции каждой отдельной льдины (метод дискретных элементов), присутствующей на расчетной акватории, но такой подход принципиально отличается от сеточной аппроксимации и также имеет свои плюсы и минусы.

Положительной стороной этого подхода является высокая пространственная детализация получаемой прогностической картины. Это требует колоссального объема вычислений и сложной подготовки исходных данных, что ограничивает пространственно-временной масштаб моделей, основанных на методе дискретных элементов, первыми десятками километров и первыми сутками. Однако ограничение масштаба нельзя считать недостатком метода, т.к. высокая детализация необходима именно при решении локальных задач практики: погрузочно-разгрузочные работы у морских ледостойких платформ и терминалов, прохождение судов через локальные, но критически важные участки трассы и т.п. Нерешенными проблемами метода дискретных элементов являются сложность параметризации взаимодействия между льдинами, особенно при 10-балльной сплоченности, отсутствие адекватного метода расчета разлома и смерзания льдин [42]. Наибольшая проблема этого подхода заключается в отсутствии достаточного опыта его применения в оперативном режиме, как в России, так и за рубежом. По существу, все численные эксперименты с моделями дискретных элементов носят тестовый характер [42]. Это обусловливает необходимость, с одной стороны, проявлять некоторую осторожность при оценках перспективности этого метода, а с другой – радикально активизировать работы по его тестированию и доведению до уровня оперативной технологии.

Ледовые условия плавания и технологии навигационных рекомендаций

В связи с активным строительством современных судов ледового класса и ледоколов, в настоящее время выполняются работы по совершенствованию эмпирико-статистической модели движения судна в ледовых условиях, разработанной в ААНИИ в 1980-х гг. [43]. Специалисты института принимают участие в ледовых испытаниях практически всех новых транспортных судов и ледоколов, на основе полученных натурных данных, выполняется настройка модели.

Эти разработки обобщены при создании автоматического рабочего места (АРМ) «Навигационные рекомендации», которое активно применяется при составлении рекомендаций оптимального варианта плавания судна во льдах. В качестве среды разработки, способной обеспечить полноценное функционирование системы, выбрана ГИС. Основным источником ледовой информации являются данные дистанционного зондирования с ИСЗ. Основным критерием оптимальности маршрута являются минимальные затраты времени на плавание судна или каравана судов. Расчет скорости (затрат времени) плавания осуществляется с учетом прогнозируемого перераспределения ледяного покрова в период проведения морской операции [44]. За последние годы выполнены следующие разработки [45 – 47]:

- разработан алгоритм расчета наиболее вероятных и пределов возможных изменений затрат времени и средних скоростей движения, при заданных ледовых условиях плавания для обеспечения проводки крупнотоннажных танкеров;
- разработана модель количественной оценки риска повреждения танкеров в результате сжатий льда при их плавании в морях западного сектора Арктики;
- создан алгоритм определения ледово-эксплуатационных показателей движения судна в зависимости от типа прогнозируемых гидрометеорологических условий;
- разработана методика специализированного прогноза ледово-эксплуатационных характеристик безледокольного плавания современных типов судов.

В настоящее время осуществляется разработка технологии расчета сжатий и торосистости на пути плавания судов, на основе новых алгоритмов обработки данных дистанционного зондирования ледяного покрова и базы данных ледово-эксплуатационных характеристик движения судов. Продолжатся работы по модернизации модели движения судов во льдах и технологии представления информации на «ледовом терминале» в формате совмещенной с электронной навигационной картой.

Заключение

Анализ структуры архива цифровых данных по морскому льду Северного Ледовитого океана, сформированный в рамках проекта ГБЦДМЛ ВМО, показал обоснованность и необходимость комплексирования данных ледовых служб разных стран для получения наиболее полного и детального распределения ледяного покрова в СЛО. Показано, что для получения подробного состояния ледяного покрова необходимо помимо спутникового мониторинга проводить регулярные судовые наблюдения и специальные экспедиции. Обоснована важность изучения, как общих закономерностей ледового режима Северного Ледовитого океана, так и выявление пространственно-временной изменчивости отдельных элементов ледового режима в арктических морях. Обобщение выявленных закономерностей ледового режима осуществляется в виде монографий, режимно-справочных пособий и атласов.

Развитие физико-статистических методов долгосрочных ледовых прогнозов осуществляется по двум основным направлениям. Это – создание методов выбора информативных предсказателей и построения статистических прогностических схем, а также использование типизации ледовых условий, созданной на базе анализа многолетних рядов и диагноза типа развития ледовых процессов на основе сочетания различных определяющих факторов. В настоящее время наиболее разработанным и широко применяемым методом краткосрочных ледовых прогнозов является динамико-термодинамическое моделирование глобального или регионального масштаба. Разработанные методы ледовых прогнозов внедрены в оперативную практику ААНИИ, обладают хорошей информативностью, заблаговременностью и надежностью. Оправдываемость долгосрочных ледовых прогнозов в среднем составляет 80-85%, а краткосрочных 90-95% и не уступает успешности прогнозирования зарубежных ледовых служб. Успешно развивается эмпирико-статистическая модель движения судна для новых типов судов ледового класса. Разработана технология навигационных рекомендаций, критерием оптимальности маршрута являются минимальные затраты времени на плавание судна. Расчет затрат времени ледового плавания осуществляется с учетом прогнозируемого распределения ледяного покрова в период проведения морской операции.

© Ye.U. Mironov, S.V. Klyachkin, V.M. Smolyanitsky, A.V. Yulin, S.V. Frolov
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

Благодарности

Статья подготовлена по результатам проектов программы «Исследование гидрометеорологических процессов в Мировом океане, морях и устьях рек России, Арктике и Антарктике» Росгидромета.

Список литературы:

1. Захаров В.Ф. Морские льды в климатической системе. СПб.: Гидрометеоиздат, 1996. 213 с.
2. Визе В.Ю. Основы долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей. М.: Изд. Главсевморпути, 1944. 273 с.
3. SIGRID format for Gridded Sea Ice Data (СИГРИД) – WMO Commission for Marine Meteorology Abridged final report of the tenth session. Paris, 8-17 February, 1989. WMO No.716 (http://wdc.aari.ru/wmo/docs/sigrid/WMO_716_rec_11%28SIGRID%29.pdf). SIGRID-3 (СИГРИД-3): A Vector Archive Format for Sea Ice Georeferenced Information and Data. - JCOMM Technical Report Series No. 24, 2004-2014, WMO/TD-No. 1214 (http://jcomm.info/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=4439).
4. Всемирная Метеорологическая Организация, 1989-2017. Номенклатура по Морскому Льду; ВМО, Но 259.
5. Sea Ice information services in the world (Ледовые информационные службы мира). WMO/TD, 2017 - No.574.
6. Meier, W., F. Fetterer, K. Knowles, M. Savoie, M. J. Brodzik. 2006, updated quarterly. Sea ice concentrations from Nimbus-7 SMMR and DMSP SSM/I passive microwave data, [1978.10.26 -2018.05.31]. Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center. Digital media.
7. Миронов Е.У., Гудошников Ю.П., Смирнов В.Н. Современные методы ледовых исследований и изысканий на шельфе арктических морей. // Проблемы Арктики и Антарктики, 2015. № 1 (103). С. 57–68.
8. 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. М.–СПб. Paulsen. 2011. С. 374–385.
9. Гудкович З.М., Кириллов А.А., Ковалев Е.Г., Сметанникова А.В., Спичкин В.А. Основы методики долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей. Л.: Гидрометеоиздат. 1972. 348 с.
10. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Ковалёв Е.Г., Смоляницкий В.М. Научные исследования в Арктике. Том 2. Климатические изменения ледяного морей Евразийского шельфа. СПб.: Наука. 2007. 136 с.
11. Johannessen O.M., Alexandrov V.Yu., Frolov I.Ye., Sandven S., Pettersson L.H., Bobylev L.P., Kloster K., Smirnov V., Mironov Ye.U., Babich N.G. Remote Sensing of Sea Ice in the Northern Sea Route. Studies and Applications. Springer. Praxis Publishing. UK. 2007. 472 p.
12. Миронов Е.У. Ледовые условия в Гренландском и Баренцевом морях и их долгосрочный прогноз. СПб. Изд. ААНИИ 2004. 320 с.
13. Изменчивость природных условий в шельфовой зоне Баренцева и Карского морей. / Под ред. А.И. Данилова, Е.У. Миронова, В.А. Спичкина. СПб. Изд. ААНИИ. 2004. 432 с.
14. Думанская И.О. Ледовые условия морей азиатской части России. М.; Обнинск: ИГ-СОЦИН. 2017. 640 с.
15. Карелин И.Д., Карклин В.П. Припай и заприпайные полыньи арктических морей сибирского шельфа в конце XX – начале XXI века. СПб. Изд. ААНИИ. 2012. 180 с.
16. Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике. / Под ред. Е.У. Миронова – СПб. Изд. ААНИИ. 2010. 320 с.
17. Горбунов Ю.А., Лосев С.М., Дымент Л.Н. Поля дрейфа льда в Арктическом бассейне при типовых барических ситуациях. / Справочное пособие. СПб. Изд. ААНИИ. 2008. 35 с.
18. Горбунов Ю.А., Лосев С.М., Дымент Л.Н. Средние многолетние характеристики крупных нарушений сплошности льда в Карском море и в северо-восточной части Баренцева моря. / Справочное пособие. СПб. Изд. ААНИИ. 2014. 36 с.
19. Arctic Climatology Project, 2000. Environmental Working Group Joint U.S. Russian Sea Ice Atlas. Edited by F. Tanis and V. Smolyanitsky. Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center. CD.
20. Атлас гидрометеорологических и ледовых условий морей Российской Арктики: Обобщение фондовых материалов и экспедиционных исследований ООО «Арктический Научно-Проектный Центр Шельфовых Разработок» в 2012–2014 гг. – М.: Издательство «Нефтяное хозяйство», 2015. – 128 с.
21. Национальный атлас Арктики. М.: Росреестр, 2017 — 496 с.
22. Егоров А.Г., Спичкин В.А. Метод локально-генетической типизации ледовых условий // Тр. ААНИИ. 1994. Т. 432. С.146-163.
23. Карклин В.П., Карелин И.Д., Юлин А.В. Метод прогноза сроков окончательного разрушения припая в районах восточной части моря Лаптевых заблаговременностью до одного месяца. Информационный сборник. Гидрометцентр России. № 40. 2013. С.97-114.
24. Ковалев Е.Г., Третьяков В.Ю., Юлин А.В. Опыт использования модернизированного метода анализа ледовых процессов на основе совмещения ГИС-технологий с АПС "Пегас" на примере морей Северной Атлантики. Труды ААНИИ, т. 445, 2002, с. 24-30.

25. Карклин В.П., Хотченков С.В., Юлин А.В. Метод долгосрочного прогноза типа ледовых условий в зимний период для районов Карского моря. Информационный сборник. Гидрометцентр России. № 44. 2017. С.113-125.
26. Николаева А.Я., Шестериков Н.П. Метод расчета ледовых условий (на примере моря Лаптевых). - Тр. ААНИИ, 1970, т.292, с.143-217.
27. Доронин Ю.П., Хейсин Д.Е. Морской лед. Л., Гидрометеоиздат, 1975, 319 с.
28. Semtner A.J. A model for the thermodynamic growth of sea ice in numerical investigations of climate // J. Phys. Oceanogr. 1976. Vol. 6. P. 379–389.
29. Hibler, W.D., III. A dynamic thermodynamic sea ice model. J. Phys. Oceanogr. 1979, №9, p.815-846.
30. Фролов И.Е. Численная модель осенне-зимних ледовых явлений. - Тр. ААНИИ, 1981, т.372, с.73-81.
31. Макштас А.П. Тепловой баланс арктических льдов в зимний период. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 67 с.
32. Аппель И.Л., Гудкович З.М. Численное моделирование и прогноз эволюции ледяного покрова арктических морей в период таяния. - Л., Гидрометеоиздат, 1992, 143 с.
33. Hunke E.C., Dukowicz J.K. An Elastic-Viscous-Plastic Model for Sea Ice Dynamics // J. Phys. Oceanogr. 1997. Vol. 27. P. 1849–1867.
34. Lensu M., Haapala J., Lehtiranta J, Eriksson P., Kujala P., Suominen M., Merd A., Vedenpaa L., Kouts T., Lilover M.-J. Forecasting of compressive ice conditions. Proceedings of the 22nd International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC), 2013, June 9-13, Espoo, Finland, http://www.poac.com/Papers/2013/author_index.htm
35. Tang C., Dunlap E. An Ice-ocean Forecasting System for Eastern Canadian Waters. Proceedings of the 20th Conference of International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE), 2010, Beijing, China, Vol.1, p.1256-1260.
36. Posey P.G., Hebert D.A., Metzger E.J., Wallcraft A.J., Cummings J.A., Preller R.H., Smedstad O.M., Phelps M.W. Real-time Data Assimilation of Satellite Derived Ice Concentration into the Arctic Cap Nowcast/Forecast System (ACNFS) // OCEANS, 2011. – IEEE, 2011. – p. 1-4.
37. Клячкин С.В., Гудкович З.М., Гузенко Р.Б., Май Р.И. Численная модель прогноза распределения льдов в юго-западной части Охотского моря заблаговременностью 1-5 суток. Труды Гидрометцентра России, 2015, вып. 353, с.63-87
38. Клячкин С.В., Гузенко Р.Б., Май Р.И. Численная модель эволюции ледяного покрова арктических морей для оперативного прогнозирования, «Лед и снег», 2015, т.55, №3, С.83-96.
39. Клячкин С.В., Гузенко Р.Б., Май Р.И., Саперштейн Е.Б., Сергеева И.А., Ярославцева С.И. Численное моделирование динамики ледяного покрова в районе архипелага Шпицберген. «Метеорология и гидрология», 2017, №9, с.108-118.
40. Е.У. Миронов, В.Г. Смирнов, И.А. Бычкова, С.В. Клячкин, Л.Н. Дымент, Н.Ю. Захваткина, Р.И. Май, Р.Б. Гузенко, Е.Б. Саперштейн, С.В. Михальцева, Е.В. Платонова, Л.А Старцев. Экспериментальный аппаратно-программный комплекс спутникового мониторинга и прогноза ледовой обстановки. Проблемы Арктики и Антарктики, 2017, №2 (112), с.15-27.
41. Клячкин С.В. Моделирование эволюции припая в Арктических морях. Метеорология и гидрология, 2011, №1, с.92-101.
42. Olason E., Boullion S., Rampal P. Sea ice model developments in view of oil spill forecasting. Joint Industry Programme «Arctic Response Technology», February 17, 2016.
43. Бузуев А.Я. Влияние природных условий на судоходство в замерзающих морях. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 200 с.
44. Фролов С.В., Федяков В.Е., Алексеева Т.А., Пряхин С.С. Практические результаты гидрометеорологического обеспечения круглогодичного плавания судов ОАО «ГМК «Норильский никель» в Западном районе Арктики. Труды международной научно-практической конференции «80 лет с начала планомерного изучения и развития Севморпути». 2013. С. 112–118.
45. Макаров Е.И. Применение системных методов для составления специализированных прогнозов ледовых условий плавания. Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 3 (97). С. 15–20.
46. Федяков В.Е., Фролов С.В. Новые алгоритмы учета влияния ледовых образований на надежность движения судов во льдах. Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. №3 (97). С. 28–34
47. Третьяков В.Ю., Фролов С.В. Модель оценки риска транспортных операций в условиях ледяного покрова. Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 3(97). С. 21–27.

References:

1. Zakharov V.F. Sea ice in the climatic system. SPb. Gidrometeoizdat (Hydrometeorological Publ.), 1996, 213 p. [In Russian].
2. Vize V.Yu. The basis of long-range ice forecasts for the Arctic seas. Moscow, Glavsevmorput Publ. (Publ. of Main Administration of the North Sea Route), 1944, 273 p. [In Russian].
3. SIGRID format for Gridded Sea Ice Data (СИГРИД) – WMO Commission for Marine Meteorology Abridged final report of the tenth session. Paris, 8-17 February, 1989. WMO No.716 - http://wdc.aari.ru/wmo/docs/sigrid/WMO_716_rec_11%28SIGRID%29.pdf. SIGRID-3 (СИГРИД-3): A Vector Archive Format for Sea Ice Georeferenced Information and Data. - JCOMM Technical Report Series No. 24, 2004-2014, WMO/TD-No. 1214 (http://jcomm.info/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=4439).
4. World Meteorological Organization, 1989-2017. Sea ice Nomenclature; WMO, No. 259.

© Ye.U. Mironov, S.V. Klyachkin, V.M. Smolyanitsky, A.V. Yulin, S.V. Frolov
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

5. Sea Ice information services in the world. WMO/TD, 2017 - No.574.
6. Meier, W., F. Fetterer, K. Knowles, M. Savoie, M. J. Brodzik. 2006, updated quarterly. Sea ice concentrations from Nimbus-7 SMMR and DMSP SSM/I passive microwave data, [1978.10.26 -2018.05.31]. Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center. Digital media.
7. Mironov Ye.U., Gudoshnikov Yu.P., Smirnov V.N. Modern methods of ice studies and surveys at the Arctic seas offshore. Problemy Arktiki i Antarktiki (Arctic and Antarctic Research), 2015, № 1 (103). p. 57–68. [In Russian].
8. Frolov S.V., Tretiakov V.Yu., Klein A.E., Alekseyeva T.A., Pryakhin S.S. Results of ice thickness observations using the data of high-latitude Arctic marine expeditions. Russia's contribution in the International Polar Year 2007/2008. Oceanography and sea ice. Moscow-SPb,. Paulsen. 2011. P. 374–385. [In Russian].
9. Gudkovich Z.M., Kirillov A.A., Kovalev Ye.G., Smetannikova A.V., Spichkin V.A. The basis of the methodology of long-range ice forecasts for the Arctic seas. Leningrad, Gidrometeoizdat (Hydrometeorological Publ.). 1972. 348 p. [In Russian].
10. Frolov I.Ye., Gudkovich Z.M., Karklin V.P., Kovalev Ye.G., Smolyanitsky V.M. Scientific studies in the Arctic. Vol.2. Climatic changes of ice cover of the Eurasian offshore seas. SPb.: Nauka (Science). 2007. 136 p. [In Russian].
11. Johannessen O.M., Alexandrov V.Yu., Frolov I.Ye., Sandven S., Pettersson L.H., Bobylev L.P., Kloster K., Smirnov V., Mironov Ye.U., Babich N.G. Remote Sensing of Sea Ice in the Northern Sea Route. Studies and Applications. Springer. Praxis Publishing. UK. 2007. 472 p.
12. Mironov Ye.U. Ice conditions in the Greenland and Barents Seas and their long-range forecast. SPb. AARI Publ. 2004. 320 p. [In Russian].
13. Variability of natural conditions in the offshore zone of the Barents and Kara Seas. / Ed. Danilov A.I., Mironov Ye.U., Spichkin V.A. SPb. AARI Publ. 2004. 432 p. [In Russian].
14. Dumanskaya I.O. Ice conditions of the seas of Russia's Asian part. Moscow. Obninsk: IG-SOTSIN. 2017. 640 p. [In Russian].
15. Karelin I.D., Karklin V.P. Landfast ice and flaw polynyas of the Arctic seas of Siberian offshore in late XX – early XXI century. SPb. AARI Publ. 2012. 180 p. [In Russian].
16. Ice phenomena threating Arctic shipping / Ed. Mironov Ye.U. – SPb. AARI Publ. 2010. 320 p. [In Russian].
17. Gorbunov Yu.A., Losev S.M., Dyment L.N. Ice drift patterns in the Arctic Basin at typical baric situations. / Reference manual. SPb. AARI Publ. 2008. 35 p. [In Russian].
18. Gorbunov Yu.A., Losev S.M., Dyment L.N. Multi-year mean characteristics of large ice fractures in the Kara Sea and in the north-eastern Barents Sea. / Reference manual. SPb. AARI Publ. 2014. 36 p. [In Russian].
19. Arctic Climatology Project, 2000. Environmental Working Group Joint U.S. Russian Sea Ice Atlas. Edited by F. Tanis and V. Smolyanitsky. Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center. CD.
20. Atlas of the hydrometeorological and ice conditions of the seas of Russian Arctic: Generalization of the archive materials and field studies of the "Arctic Scientific-Designing Center of the Offshore Development" Ltd in 2012-2013. – Moscow.: Neftyanoye Khozyaistvo (Oil Industry). 2015. 128 p. [In Russian].
21. National atlas of the Arctic. Moscow.: Rosreyestr (Russian Registry). 2017. 496 p. [In Russian].
22. Yegorov A.G., Spichkin V.A. Method of the local-genetic classification of ice conditions // Proc. AARI. 1994. Vol. 432. p. 146-163. [In Russian].
23. Karklin V.P., Karelin I.D., Yulin A.V. Method of forecast of the landfast ice final break-up in the eastern Laptev Sea with advance period up to one month. Information sourcebook. Gidromettsentr Rossii (Russia's Hydrometeorological Center). No. 40. 2013. P.97-114. [In Russian].
24. Kovalev Ye.G., Tretiakov V.Yu., Yulin A.V. Experience of using the modified method of ice processes analysis based on combination the GIS technologies and automated forecast system "PEGAS" on the example of the North Atlantic seas. Proc. AARI. Vol.445. 2002. p.24-30. [In Russian].
25. Karklin V.P., Khotchenkov S.V., Yulin A.V. Method of the long-range forecast of ice conditions type in the Kara Sea regions in winter. Information sourcebook. Gidromettsentr Rossii (Russia's Hydrometeorological Center). No. 44. 2017. P.113-125. [In Russian].
26. Nikolayeva A.Ya., Shesterikov N.P. Method of ice conditions calculation (on the example of the Laptev Sea). Proc. AARI/ 1970. Vol. 292. p.143-217. [In Russian].
27. Doronin Yu.P., Kheisin D.Ye. Sea ice. Leningrad.: Gidrometeoizdat (Hydrometeorological Publ.). 1975. 319 p. [In Russian].
28. Semtner A.J. A model for the thermodynamic growth of sea ice in numerical investigations of climate // J. Phys. Oceanogr. 1976. Vol. 6. P. 379–389.
29. Hibler, W.D., III. A dynamic thermodynamic sea ice model. J. Phys. Oceanogr. 1979, №9, p.815-846.
30. Frolov I.Ye. Numerical model of autumn-winter ice phenomena. Proc. AARI. 1981. Vol. 372. P.73-81. [In Russian].
31. Makshtas A.P. Heat budget of the Arctic ice in winter. Leningrad: Gidrometeoizdat (Hydrometeorological Publ.), 1984, 67 p. [In Russian].
32. Appel I.L., Gudkovich Z.M. Numerical modeling and forecast of the Arctic seas ice cover evolution in melting period. Leningrad: Gidrometeoizdat (Hydrometeorological Publ.), 1992, 143 p. [In Russian].
33. Hunke E.C., Dukowicz J.K. An Elastic-Viscous-Plastic Model for Sea Ice Dynamics // J. Phys. Oceanogr. 1997. Vol. 27. P. 1849–1867.
34. Lensu M., Haapala J., Lehtiranta J, Eriksson P., Kujala P., Suominen M., Merd A., Vedenpaa L.,

Kouts T., Lilover M.-J. Forecasting of compressive ice conditions. Proceedings of the 22nd International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC), 2013, June 9-13, Espoo, Finland, http://www.poac.com/Papers/2013/author_index.htm
35. Tang C., Dunlap E. An Ice-ocean Forecasting System for Eastern Canadian Waters. Proceedings of the 20th Conference of International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE), 2010, Beijing, China, Vol.1, p.1256-1260.
36. Posey P.G., Hebert D.A., Metzger E.J., Wallcraft A.J., Cummings J.A., Preller R.H., Smedstad O.M., Phelps M.W. Real-time Data Assimilation of Satellite Derived Ice Concentration into the Arctic Cap Nowcast/Forecast System (ACNFS) // OCEANS, 2011. – IEEE, 2011. – p. 1-4.
37. Klyachkin S.V., Gudkovich Z.M., Guzenko R.B., May R.I. Numerical model of ice cover distribution forecast in the south-western Sea of Okhotsk with advance period of 1-5 days. Proc. Russia's Hydrometeorological Center. 2015. Iss. 353. p. 63-87. [In Russian].
38. Klyachkin S.V., Guzenko R.B., May R.I. Numerical model of the Arctic seas ice cover evolution for the operational forecasting. Lyod i sneg (Ice and snow). 2015. Vol.55. No. 3. p. 83-96.
39. Klyachkin S.V., Guzenko R.B., May R.I., Sapershtein Ye.B., Sergeyeva I.A., Yaroslavtseva S.I. Numerical modeling of ice cover dynamics in the region of Spitsbergen. Meteorologiya i gidrologiya (Meteorology and hydrology). 2017. No.9. p.108-118. [In Russian].
40. Mironov Ye.U., Smirnov V.G., Bychkova I.A., Klyachkin S.V., Dyment L.N., Zakhvatkina N.Yu., May R.I., Guzenko R.B., Sapershtein Ye.B., Mikhaltseva S.V., Platonova Ye.V., Startsev L.A. Experimental hardware-software complex of satellite monitoring and forecast of ice conditions. Problemy Arktiki i Antarktiki (Arctic and Antarctic Research). 2017. No.2 (112). P.15-27. [In Russian].
41. Klyachkin S.V. Modeling of landfast ice evolution in the Arctic seas. Meteorologiya i gidrologiya (Meteorology and hydrology). 2011. No.1. p.92-101. [In Russian].
42. Olason E., Boullion S., Rampal P. Sea ice model developments in view of oil spill forecasting. Joint Industry Programme «Arctic Response Technology», February 17, 2016.
43. Buzuyev A.Ya. Influence of natural conditions on the navigation in freezing seas. Leningrad, Gidrometeoizdat (Hydrometeorological Publ.). 1982. 200 p. [In Russian].
44. Frolov S.V., Fedyakov V.Ye., Alekseyeva T.A., Pryakhin S.S. Practical results of the hydrometeorological support of the year-round navigation of the "Norilsky Nikel" Public Corporation vessels in the Western Arctic. Proc. of the international scientific-practical conference "80 years of regular studying and development of the North Sea Route". 2013. P.112-118. [In Russian].
45. Makarov Ye.I. Applying of the system methods for issuing the specialized forecasts of ice conditions of navigation. Problemy Arktiki i Antarktiki (Arctic and Antarctic Research). 2013. No.3 (97). P.15-20. [In Russian].
46. Fedyakov V.Ye., Frolov S.V. New algorithms for taking into account the ice features influence on reliability of vessel motion in ice. Problemy Arktiki i Antarktiki (Arctic and Antarctic Research). 2013. No.3 (97). P.28-34. [In Russian].
47. Tretiakov V.Yu., Frolov S.V. Model of the risk assessment of transport operations in ice cover conditions. Problemy Arktiki i Antarktiki (Arctic and Antarctic Research). 2013. No.3 (97). P.21-27. [In Russian].

© Ye.U. Mironov, S.V. Klyachkin, V.M. Smolyanitsky, A.V. Yulin, S.V. Frolov
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

UDC 551.326.7
DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12103

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЙСБЕРГОВ ПО ДАННЫМ СУДОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В КАРСКОМ МОРЕ В 2004-2019 ГГ.

Павлова Е.А.[1,2], Алексеева Т.А.[1,2], Миронов Е.У.[1], Смоляницкий В.М.[1,2]

[1] Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия,
[2] Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН.

pavlova@aari.ru; taa@aari.ru; mir@aari.ru; vms@aari.aq

В статье представлен анализ данных судовых наблюдений о расположении и характеристиках айсбергов, полученных в экспедициях на акватории Карского моря с 2004 по 2019 гг. Показаны распределения повторяемости форм и размеров айсбергов и представлено их сравнение со средними многолетними данными. Рассчитана пространственная плотность распространения айсбергов для районов архипелагов Земля Франца-Иосифа и Северная Земля для ледового режима Арктики последних десятилетий. Выделены отдельные айсберги, наблюдаемые вблизи среднемноголетней южной границы распространения айсбергов, в области, где вероятность встречи с айсбергами менее 1 %.

Ключевые слова: айсберг, Арктика, судовые наблюдения, Карское море, климатические изменения.

SPECIFIC FEATURES OF ICEBERG DISTRIBUTION ACCORDING TO SHIPBORNE OBSERVATIONS IN THE KARA SEA IN 2004-2019

Pavlova E.A.[1,2], Alekseeva T.A.[1,2], Mironov E.Y.[1], Smolyanitsky V.M.[1,2]

[1] Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg,
[2] Obukhov Institute of Atmospheric Physics of Russian Academy of Sciences, Moscow

The analysis of ship observations on the location and characteristics of icebergs according to shipborne observations in the Kara Sea from 2004 to 2019 is presented. Distribution of the frequency of occurrence of particular shapes and sizes of icebergs are shown and comparison with the climatic long-term data is presented. Frequencies of iceberg occurrence were estimated for the areas of the Franz Josef Land and Severnaya Zemlya archipelagoes for the ice regime of the Arctic of the last decades. Isolated icebergs observed near the long-term mean southern boundary of icebergs' propagation distribution, have been identified for the area where the probability of iceberg occurrence is less than 1%.

Keywords: iceberg, Arctic, ship observations, Kara Sea, climate changes.

Статья получена: 07.09.2020
Принята к публикации: 11.09.2020
Опубликована онлайн: 15.09.2020

Введение

Формирование и распространение айсбергов в морях Северного Ледовитого океана (СЛО) является одним из наиболее опасных факторов, влияющих на судоходство и стационарные инженерные сооружения. В районе судоходных трасс Карского моря встречаются айсберги, откалывающиеся, главным образом, от ледников архипелагов Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, Новая Земля (о. Северный), Северная Земля и некоторых отдельно располагающихся островов [1, 2]. В Карском море айсберги обычно наблюдаются к северу от 74° с.ш., но в некоторые годы – могут встречаться и

существенно южнее. Происходящие в последние десятилетия климатические изменения приводят к деградации ледяного покрова Арктики и, соответственно, все более легким ледовым условиям плавания. В среднем, по данным ледовых карт ААНИИ [3] в арктических морях России увеличилось количество ниласовых, молодых и тонких однолетних льдов, уменьшилась площадь средних и толстых однолетних льдов, площадь двухлетних и многолетних льдов сократилась примерно в 10 раз. За последние два десятилетия наблюдается устойчивое сокращение площади старых льдов и смещение их южной границы на север [4]. Сместились сроки ледообразования и летнего таяния льдов, таким образом, увеличив продолжительность безледного периода на трассах Северного морского пути (СМП).

Ледники арктических архипелагов очень чувствительны к изменениям климата [5, 6], повышение температуры воздуха приводит к ускорению их деградации [7]. По данным различных исследований сокращается площадь и объем арктических ледников, изменяется их температурный режим. Одновременно увеличились скорости движения льда на их языках при общем отступании краев ледников, что приводит к более интенсивному продуцированию айсбергов [8]. Например, крупнейшая ледниковая подвижка из когда-либо наблюдавшихся в Российской Арктике, развивалась в последние десятилетия в западной части ледникового купола Вавилова на Северной Земле и достигла кульминации в 2016 г., когда скорость движения ледника увеличились до 9,2 км/год [9].

Таким образом, несколько факторов одновременно влияют на изменчивость распространения айсбергов в арктических морях: изменение атмосферной циркуляции, сокращение ледяного покрова, деградация ледников и ускорение айсбергообразования. Совокупность этих факторов приводит к тому, что в летний период на судоходных трассах все чаще встречаются отдельно плавающие куски и обломки айсбергов. А это представляет серьезную опасность для судов, так как небольшие куски и обломки айсбергов, в отличие от айсбергов больших размеров, сложно либо вовсе невозможно идентифицировать ни на спутниковых снимках, ни на судовых радарах.

Изучение распределения и размеров айсбергов проводится по спутниковым данным, с помощью аэрофотосъемки, радиолокационной съемки, визуальных наблюдений, наблюдений с помощью ледового радара и геодезических приборов, гидролокационной и технической подводной съемки, путем установления на айсберги автономных буев и с помощью прямых контактных измерений [10, 11]. В Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте (ААНИИ) с 1928 года накапливаются данные наблюдений за айсбергами. Опубликован ряд работ, в которых приводятся результаты обработки собранных данных экспедиций за различные периоды: наиболее масштабная работа была выполнена В.А. Абрамовым по созданию «Атласа арктических айсбергов» [12], результаты обобщения данных авиационных ледовых разведок за период 1933-1990 гг., собранных В.А. Абрамовым приведены в работах [13, 14]. База данных по айсбергам затем пополнялась в работе Бузина И.В. [2], в которой проведен анализ архивных данных и современных данных экспедиций 1992, 2003-2007 гг. в Баренцевом море. В настоящей работе представлены современные данные о распределении айсбергов, обнаруженных во время экспедиций ААНИИ на основе судовых визуальных наблюдений в районе арх. Земля Франца-Иосифа и Карском морях (районы арх. Новая Земля и Северная Земля) до 2019 гг.

Материалы и методы

В работе использовались данные судовых наблюдений о расположении и характеристиках айсбергов, накопленных в различных экспедиционных работах ААНИИ с 2004 по 2019 годы. Данные были собраны с бортов атомных и дизельных ледоколов, а также научно-исследовательских судов ледового класса. Массив данных содержит информацию о дате и месте обнаружения айсберга (высота над уровнем моря более 5 м), обломка (высота над уровнем моря

© E.A. Pavlova, T.A. Alekseeva, E.Y. Mironov, V.M. Smolyanitsky
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

1 – 5 м и площадь 100-300 м^2) или куска айсберга (высота над уровнем моря менее 1 м), его характеристиках, размерах, а также метеорологической и ледовой обстановке в районе обнаружения. Здесь и далее характеристика размеров, форм и сплоченности айсбергов приводится в соответствии с «Номенклатурой по морскому льду» Всемирной метеорологической организации (ВМО). [15]

Массив данных айсбергов содержит информацию с середины апреля по конец октября, включая периоды максимального и минимального развития ледяного покрова. На рисунке 1 представлен район исследований, который включает в себя акваторию Карского моря и район арх. Земля Франца-Иосифа Баренцева моря. Кроме того, показано положение айсбергов, содержащихся в массиве данных и участки акватории, на которых производились экспедиционные наблюдения.

Информация об айсбергах распределена в течение года неравномерно, так как большинство экспедиционных работ в Арктике выполняется в периоды наиболее лёгкой ледовой обстановки. На рисунке 2 показана повторяемость экспедиционных работ по месяцам и приведено количество айсбергов, зафиксированных в ходе этих экспедиционных работ.

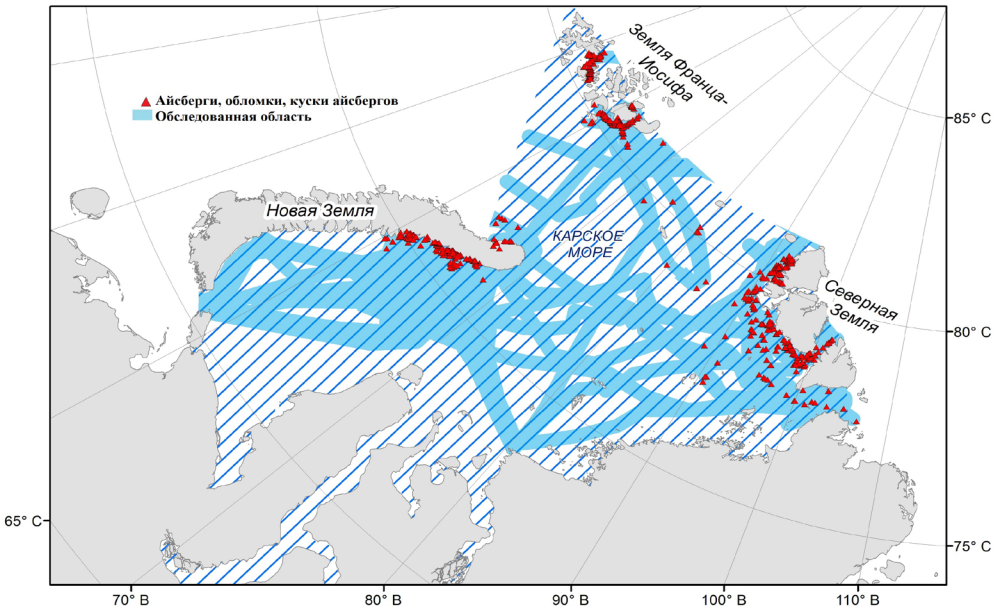

Рисунок 1 – Район исследований, в пределах которого проводились наблюдения за айсбергами.

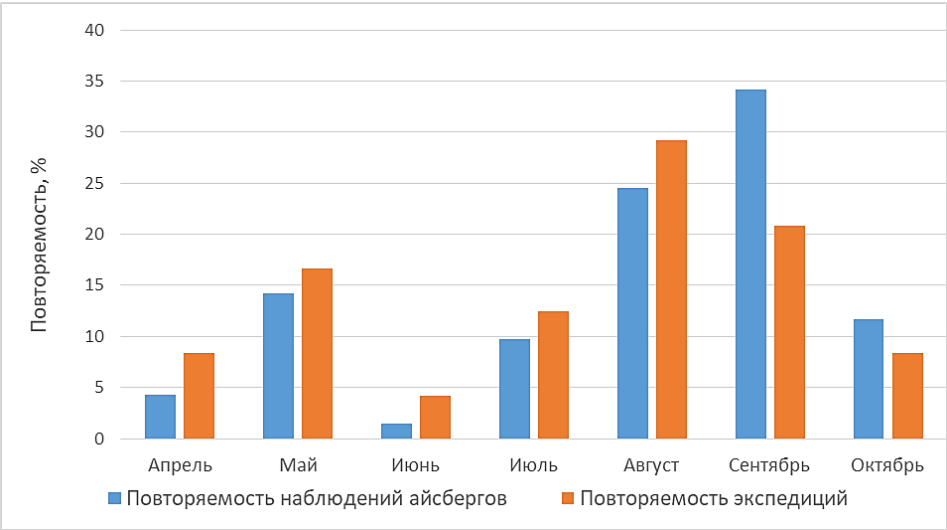

Рисунок 2 – Повторяемость экспедиций и наблюдений за айсбергами.

На рисунке 2 видно, что количество зафиксированных айсбергов до августа месяца изменяется пропорционально объёму наблюдений, однако в сентябре повторяемость наблюдений айсбергов достигает максимальных значений в силу естественных природных факторов — летнего периода разрушения ледников архипелагов Земля Франца-Иосифа, Новая Земля и Северная Земля. Несмотря на то, что количество зафиксированных айсбергов зависит не только от периода экспедиционных работ, но и от места прохождения судна, данный график всё же отражает общую тенденцию.

Результаты

В монографии [16] приведено распределение повторяемости форм айсбергов в Баренцевом и Карском морях за период с 1928 по 1991 годы. В данной работе рассмотрено преимущественно Карское море, однако искажения общей картины, связанные с вкладом айсбергов архипелагов Шпицберген и ЗФИ представляются нам значительно меньшими, чем намеченные тенденции в изменении размеров и типов айсбергов и объектов в последние годы.

Результаты по данным последних лет существенно отличаются от среднемноголетних. Если количество кусков айсбергов и пирамидальных айсбергов форм различаются в пределах 1 %, то количество наклонных и разрушающихся – окатанных и докообразных айсбергов (за последние годы 11 и 6,5 % соответственно) в исторических данных было незначительным и входило в градацию «Прочие». Несмотря на большое количество айсбергов, форма которых была не определена, можно сделать вывод о меньшем количестве обломков айсбергов, что с одной стороны может характеризовать различие режима Баренцева и Карского морей, а с другой — климатические изменения, происходящие в последние 30 лет. На рисунке 3 показано распределение повторяемости форм айсбергов в Баренцевом и Карском морях (1928 — 1991 гг.) и в рассматриваемом районе (2004 — 2019 гг.).

Ранее, в работе [17] нами был предложен метод оценки пространственной плотности распространения айсбергов по судовым наблюдениям. Суть метода заключается в том, что количество наблюдаемых айсбергов (кусков/обломков) приводится к площади проведённых наблюдений. За площадь проведённых наблюдений взята наблюдаемая акватория при движении судна — область вокруг пути следования судна, величина, которой зависит от метеорологической дальности видимости (в случае отсутствия данных использовано значение максимальной дальности видимости — 10 морских миль). В работе [17] было рассчитано количество айсбергов на 10 000 км2 для юго-западной и северо-восточной части Карского моря. В данной работе эта характеристика рассчитана для районов архипелагов Земля Франца-Иосифа и Северная Земля.

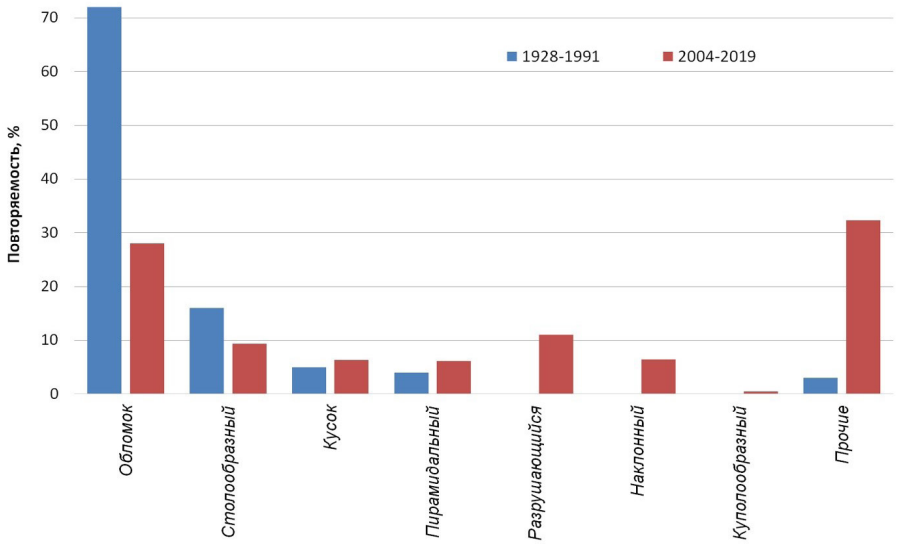

Рисунок 3 – Распределение повторяемости форм и размеров айсбергов в Баренцевом и Карском морях (1928 — 1991 гг.) и в рассматриваемом районе (2004 — 2019 гг.).

© E.A. Pavlova, T.A. Alekseeva, E.Y. Mironov, V.M. Smolyanitsky
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

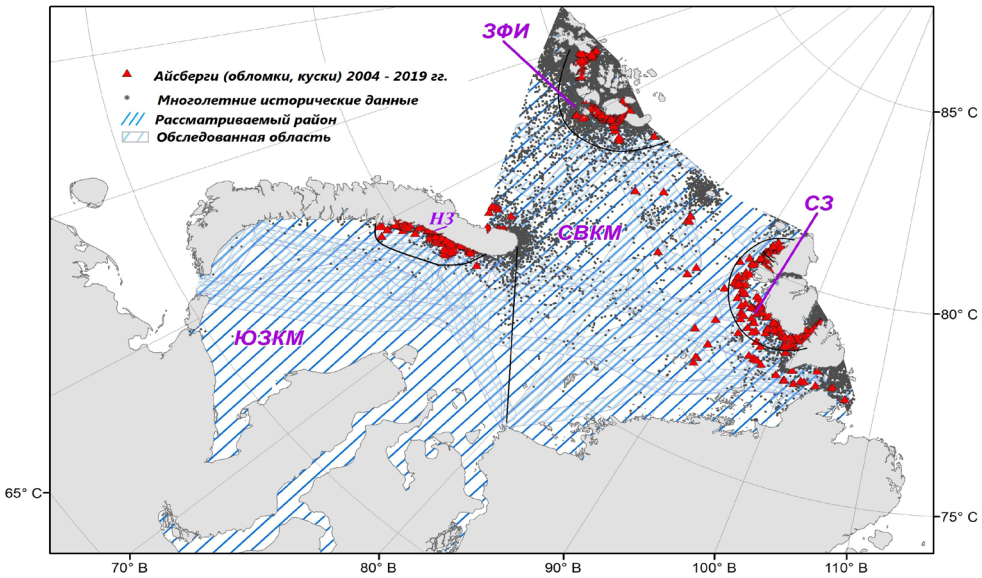

Рисунок 4 – Области, в пределах которых производились расчёты частоты встречи с айсбергами.

На рисунке 4 показаны области, в пределах которых производились расчёты, а в таблице 1 приведены результаты для сентября, так как это период наибольшего количества данных в районах рассматриваемых архипелагов.

В таблице 1 показано, что, несмотря на то, что наибольшее количество айсбергов было зафиксировано в районе архипелага Северная Земля, пространственная плотность распространения айсбергов в этом районе и в районе архипелага Новая Земля со стороны Карского моря значительно меньше, чем в районе архипелага Земля Франца-Иосифа. Данная характеристика зависит от конфигурации выделенного района, однако, позволяет качественно оценить пространственную плотность распространения айсбергов. Из таблицы 1 также следует, что все четыре указанных района характеризуются как акватории со сплоченными айсбергами с соответствующими рекомендациями для судоходства [15].

На рисунке 4 показаны многолетние данные о местоположении айсбергов, собранные в ходе различных экспедиций и авиаразведок. На рисунке видно, что даже в климатический период, когда сдерживающим фактором для дрейфа айсбергов была более тяжёлая ледовая обстановка, отдельные айсберги наблюдались в центральной части Карского моря, и доходили до 75 ° с.ш. При современной климатической обстановке основными сдерживающими факторами для дрейфа айсбергов от района их образования являются ветровые и термические факторы, способствующие их более быстрому разрушению.

В Карском море за последние 15 лет экстремальные случаи распространения отдельных айсбергов в южную часть наблюдались в 2006, 2008 и 2014 годах.

Таблица 1

Количество айсбергов/10 000 км2 в сентябре по данным экспедиций 2004 – 2019 гг.

Район	Количество айсбергов/10 000 км^2
Карское море, юго-западная часть, включая район архипелага Новая Земля (ЮЗКМ)	20
Карское море, северо-восточная часть, включая районы архипелагов Земля Франца-Иосифа и Северная Земля (СЗКМ)	29
Район архипелага Земля Франца-Иосифа (ЗФИ)	100
Район архипелага Северная Земля (СЗ)	42
Район архипелага Новая Земля со стороны Карского моря (НЗ)	13,5

*Ввиду условности выбранных районов представленные расчёты носят качественных характер

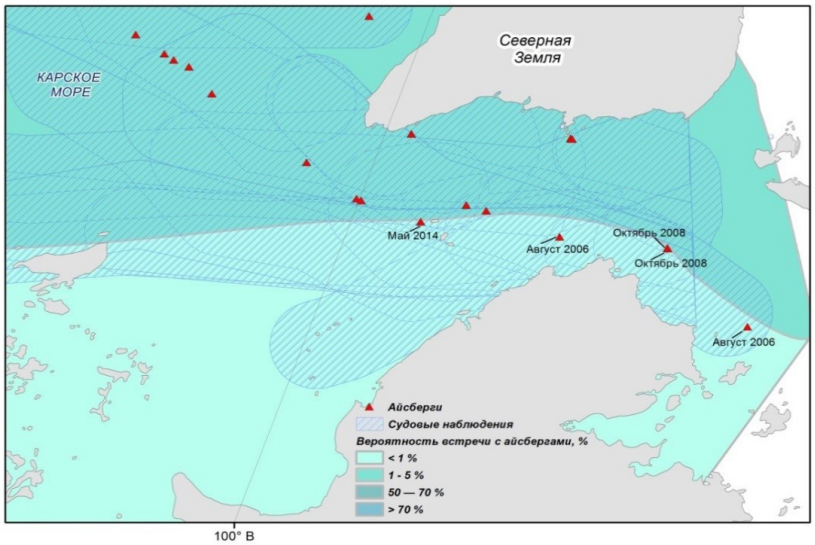

Рисунок 5 – Отдельные айсберги, наблюдаемые вблизи среднемноголетней южной границы распространения айсбергов.

На рисунке 5 показаны айсберги, наблюдаемые вблизи южной границы распространения айсбергов, в области, где по средним многолетним данным вероятность встречи с айсбергами менее 1 % [18]

Заключение

Климатические изменения, происходящие в последние десятилетия, отражаются на процессе формирования и особенностях структуры и динамики айсбергов Арктики. Анализ данных о морфометрии и местоположении айсбергов, полученные в ходе экспедиционных работ с 2004 по 2019 годы, показывают, что в последние годы увеличилось число разрушающихся айсбергов, и возросло количество отдельных айсбергов, наблюдаемых в районе среднемноголетней южной границы их распространения.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования грант №05.616.21.0109 (RFMEFI61619X0109).

Список литературы:

1. Ледники Арктики. / Корякин В. С. – М.: Наука, 1988. – 160 с.
2. Бузин И. В., Глазовский А. Ф., Гудошников Ю. П., Данилов А. И., Дмитриев Н. Е., Зубакин Г. К., Кубышкин Н. В., Наумов А. К., Нестеров А. В., Скутин А. А., Скутина Е. А., Шибакин С. И. Айсберги и ледники Баренцева моря: исследования последних лет. Часть 1. Основные продуцирующие ледники, распространение и морфометрические особенности айсбергов. // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2008. № 1 (78). – С. 66-80.
3. Егоров А. Г. Изменение возрастного состава и толщины зимнего ледяного покрова Арктических морей России в начале XXI в. // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2020. – Т. 66, № 2. – С. 124-143.
4. Виноградняя Е. С., Егорова Е. С., Шевелева Т. В., Юлин А. В. Изменчивость положения границ старых льдов в весенний период и остаточных льдов в осенний период в Северном Ледовитом океане в текущем климатическом периоде // Российская Арктика. – 2020. – Т. 2 (9). – С. 41-55.
5. Hagen J. O., Melvold K., Pinglot F., Dowdeswell J. A. On the Net Mass Balance of the Glaciers and Ice Caps in Svalbard, Norwegian Arctic // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. – 2003. – Т. 35, № 2. – С. 264-270.
6. Grant K. L., Stokes C. R., Evans I. S. Identification and characteristics of surge-type glaciers on Novaya Zemlya, Russian Arctic // Journal of Glaciology. – 2009. – Т. 55, № 194. – С. 960-972.
7. Мавлюдов Б. Р., Саватюгин Л. М., Соловьянова И. Ю. Реакция ледников Земли Норденшельда (арх. Шпицберген) на изменение климата // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2012. № 1 (91). – С. 67-77.
8. Strozzi T., Paul F., Wiesmann A., Schellenberger T., Kääb A. Circum-Arctic Changes in the Flow of Glaciers and Ice Caps from Satellite SAR Data between the 1990s and 2017 // Remote Sensing. – 2017. – Т. 9, № 9.
9. Бушуева И. С., Глазовский А. Ф., Носенко Г. А. Развитие подвижки в западной части ледникового купола Вавилова на Северной Земле в 1963-2017 гг. // Лед и снег. – 2018. – Т. 58, № 3. – С. 293-306.
10. Наумов А. К., Скутина Е. А. Методики оценки параметров ледяных образований // Пробле-

© E.A. Pavlova, T.A. Alekseeva, E.Y. Mironov, V.M. Smolyanitsky
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

мы Арктики и Антарктики. – 2019. – Т. 65, № 1. – С. 77-91.
11. Бычкова И. А., Смирнов В. Г. Использование спутниковой информации для обнаружения айсбергов и оценки айсберговой угрозы // Лед и снег. – 2018. – Т. 58, № 3. – С. 537-551.
12. Atlas of Arctic icebergs. / Abramov V.; Под ред. Company B. P., 1996. – 70 с.
13. Abramov V. A. Russian iceberg observations in the Barents Sea, 1933– 1990 // Polar Research. – 1992. – Т. 11, № 2. – С. 93-97.
14. Абрамов В. А. Айсберги в Баренцевом море // Труды ААНИИ. – 1994. – Т. 432. – С. 194-201.
15. Атлас ледяных образований (Часть II. Терминология. WMO/OMM/BMO. №259). – СПб.: ААНИИ, 2019, 2019.
16. Айсберги Баренцева и Карского морей // Ледяные образования морей западной Арктики. Под ред. Зубакина Г. К. – СПб.: ААНИИ, 2006.
17. Павлова Е. А., Миронов Е. У. Особенности распределения айсбергов по данным судовых и вертолетных наблюдений // Гидрометеорология и экология: научные достижения и перспективы развития. Труды II Всероссийской конференции. – Санкт-Петербург, 19-20 декабря 2018. – С. 507-510.
18. Атлас гидрометеорологических и ледовых условий море российской Арктики: обобщение фондовых материалов и результаты экспедиционных исследований ООО "АНЦП" в 2012-2014 гг.; Под ред. Павлова В. А. и др.: Изд. Нефтяное хозяйство, М., 2015.

References:

1. Abramov V. A. Russian iceberg observations in the Barents Sea, 1933– 1990 // Polar Research. – 1992. – V. 11, № 2. – P. 93-97.
2. Abramov V. A. Ajsbergi v Barencevom more [Icebergs in the Barents Sea] // Trudy AANII. – 1994. – V. 432. – P. 194-201.
3. Ajsbergi Barenceva i Karskogo morej [Icebergs of Barents and Kara Seas] // Ledyanye obrazovaniya morej zapadnoj Arktiki. Pod red. Zubakina G. K. – SPb.: AANII, 2006.
4. Atlas gidrometeorologicheskih i ledovyh uslovij more rossijskoj Arktiki: obobshchenie fondovyh materialov i rezul'taty ekspedicionnyh issledovanij OOO "ANCP" v 2012-2014 gg.; Pavlov V. A. i dr.: Izd. Neftyanoe hozyajstvo, M., 2015.
5. Atlas of Arctic icebergs. / Abramov V.; Company B. P., 1996. – 70 p.
6. Atlas ledyanyh obrazovanij [Atlas of ice formations] (CHast' II. Terminologiya. WMO/OMM/VMO. №259). – SPb.: AANII, 2019.
7. Bushueva I. S., Glazovskij A. F., Nosenko G. A. Razvitie podvizhki v zapadnoj chasti lednikovogo kupola Vavilova na Severnoj Zemle v 1963-2017 gg. [Surge development in the western sector of the Vavilov Ice Cap, Severnaya Zemlya, 1963–2017] // Led i sneg. – 2018. – V. 58, № 3. – P. 293-306.
8. Buzin I. V., Glazovskij A. F., Gudoshnikov YU. P., Danilov A. I., Dmitriev N. E., Zubakin G. K., Kubyshkin N. V., Naumov A. K., Nesterov A. V., Skutin A. A., Skutina E. A., SHibakin S. I. Ajsbergi i ledniki Barenceva morya: issledovaniya poslednih let. CHast' 1. Osnovnye produciruyushchie ledniki, rasprostranenie i morfometricheskie osobennosti ajsbergov [Icebergs and glaciers of the Barents Sea: research of the last years]. // Problemy Arktiki i Antarktiki. – 2008. № 1 (78). – P. 66-80.
9. Bychkova I. A., Smirnov V. G. Ispol'zovanie sputnikovoj informacii dlya obnaruzheniya ajsbergov i ocenki ajsbergovoj ugrozy [Use of satellite data for detecting icebergs and evaluating the iceberg threats] // Led i sneg. – 2018. – V. 58, № 3. – P. 537-551.
10. Egorov A. G. Izmenenie vozrastnogo sostava i tolshchiny zimnego ledyanogo pokrova Arkticheskih morej Rossii v nachale XXI v. [Change of age and thickness of winter ice cover in the Russian Arctic Seas in the beginning of XXI century] // Problemy Arktiki i Antarktiki.. – 2020. – V. 66, № 2. – P. 124-143.
11. Grant K. L., Stokes C. R., Evans I. S. Identification and characteristics of surge-type glaciers on Novaya Zemlya, Russian Arctic // Journal of Glaciology. – 2009. – V. 55, № 194. – P. 960-972.
12. Hagen J. O., Melvold K., Pinglot F., Dowdeswell J. A. On the Net Mass Balance of the Glaciers and Ice Caps in Svalbard, Norwegian Arctic // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. – 2003. – V. 35, № 2. – P. 264-270.
13. Ledniki Arktiki [Glaciers of the Arctic]. / Koryakin V. S. – M.: Nauka, 1988. – 160 p.
14. Mavlyudov B. R., Savatyugin L. M., Solov'yanova I. YU. Reakciya lednikov Zemli Nordenshel'da (arh. SHpicbergen) na izmenenie klimata [Response of glacierce of the Nordenscheld Island (Svalbard) on the climate changes] // Problemy Arktiki i Antarktiki. – 2012. № 1 (91). – P. 67-77.
15. Naumov A. K., Skutina E. A. Metodiki ocenki parametrov ledyanyh obrazovanij [Methods of parameters estimate of ice formations] // Problemy Arktiki i Antarktiki. – 2019. – V. 65, № 1. – P. 77-91.
16. Pavlova E. A., Mironov E. U. Osobennosti raspredeleniya ajsbergov po dannym sudovyh i vertoletnyh nablyudenij [Pecularities of distribution of icebergs by ship and helicopter data] // Gidrometeorologiya i ekologiya: nauchnye dostizheniya i perspektivy razvitiya. Trudy II Vserossijskoj konferencii. – Sankt-Peterburg, 19-20 December 2018. P. 507-510.
17. Strozzi T., Paul F., Wiesmann A., Schellenberger T., Kääb A. Circum-Arctic Changes in the Flow of Glaciers and Ice Caps from Satellite SAR Data between the 1990s and 2017 // Remote Sensing. – 2017. – V. 9, № 9.
18. Vinogradnyaya E. S., Egorova E. S., SHeveleva T. V., YUlin A. V. Izmenchivost' polozheniya granic staryh l'dov v vesennij period i ostatochnyh l'dov v osennij period v Severnom Ledovitom okeane v tekushchem klimaticheskom periode [Variability of location of old ice boundary in winter period and residual ice in autumn period in the Arctic in current climate period // Rossijskaya Arktika. – 2020. – V. 2 (9). – P. 41-55.

UDC 621.311.21: 621.314.222.6.045.064
DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12104

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПЛАТФОРМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ МОДУЛЬНЫХ ПОДСТАНЦИЙ И ЭНЕРГОБЛОКОВ ДЛЯ АРКТИКИ

Р.Н. Шульга[1], А.Ю. Петров[1], А.Ю. Хренников[2]

[1] ВЭИ-филиал ФГУП «РФЯЦ ВНИИТФ», г. Москва, Россия
[2] АО «НТЦ ФСК ЕЭС», г. Москва, Россия

rnshulga@vei.ru, ak2390@inbox.ru

Представлено описание энергетических платформ в виде системы автономного энергоснабжения (САЭ) с использованием цифровых модульных подстанций (ЦМП) и энергоблоков для Арктики. Приведены образцы электротехнического оборудования, применяемого для реализации указанных подстанций. Рассмотрены два направления реализации: ЦМП *AC* на переменном токе и ЦМП *DC* на постоянном токе. В части ЦМП *AC* описана структура по протоколу IEC 61850, приведены образцы цифровых датчиков тока и напряжения, комплектных распределительных устройств, контейнеров статических компенсаторов. В части ЦМП *DC* приведена структура, описаны статические преобразователи, накопители электроэнергии водородного и электрохимического типов. Рассмотрены области применения обеих типов подстанций и отмечены преимущества реализации ЦМП *DC* для обеспечения надежного энергоснабжения в условиях природных и техногенных аварий.

Ключевые слова: энергетическая платформа; цифровая модульная подстанция; переменный ток; постоянный ток.

ENERGY PLATFORMS USING DIGITAL MODULAR SUBSTATIONS AND POWER UNITS FOR ARCTIC

R.N. Shulga[1], A.Yu. Petrov[1], A.Yu. Khrennikov[2]

[1] VEI-branch of FSUE RFNC VNIITF, Moscow, Russia
[2] S&R Centre of FGC UES, Moscow, Russia

The description of energy platforms in the form of SAE using digital modular substations and power units is presented. Samples of electrical equipment used for the implementation of these substations are given. Two directions of implementation are considered: CMP as AC and DC CMP in DC. The part of the DSM as describes the structure according to the IEC 61850 Protocol, samples of digital current and voltage sensors, complete switchgears, containers of static compensators are given. In the part of the DC CMC, the structure is given, static converters, and electric power storage devices of hydrogen and electrochemical types are described. The scope of application of both types of substations is considered and the advantages of implementing DC CMC for providing reliable power supply in the conditions of natural and man-made accidents are noted.

Keywords: energy platform; digital modular substation; alternating current; direct current.

Статья получена: 15.09.2020
Принята к публикации: 05.10.2020
Опубликована онлайн: 07.10.2020

© *R.N. Shulga, A.Yu. Petrov, A. Yu. Khrennikov*
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

Электроэнергетика России и мира, хотя и является наиболее консервативной и одной из старейших отраслей промышленности, переживает существенные изменения, связанные с использованием не только новых технологий, но и идеологий построения и развития, объединяя традиционную (ТЭС, ГТЭС, ГПЭС) и нетрадиционную энергетику (ВИЭ, АЭС, АСММ и др.) в составе централизованных и локальных энергосетей [1, 2], переходя от автоматизации в виде АСУТП к цифровизации, а затем к нейронным сетям [3], от стационарных к модульным (контейнерным) подстанциям в виде цифровых подстанций и электростанций [4]. Нетрадиционная энергетика, несмотря на определенные ограничения по надежности, стоимости, землеотводу, позволяет отчасти ограничить риск потепления на планете. Цифровизация должна облегчить трудозатраты, заменить человека на рабочем месте искусственным интеллектом, повысить надежность, ликвидировав ошибки персонала, недопустимые особенно в энергетике и на других ответственных производствах. Модульность любых объектов, причем и конструктивная, и технологическая, и функциональная, становится приоритетной в части не только снижения затрат, но и создания унифицированных блоков энергосистемы, которые могут придать ей новые качества.

Например, прогресс силовой электроники в конце XX в. привел к созданию FACTS – гибких электропередач переменного тока, которые, пусть и немного, но повысили управляемость и устойчивость электросетей [4]. Функциональные модули в виде накопителей электроэнергии (НЭЭ) являются основой применения ВИЭ, наряду с традиционными базисными источниками электроэнергии. Конструктивная модульность блоков позволяет существенно удешевить и ускорить строительство и ввод в эксплуатацию энергоблоков (до 20%) [5], а также унифицировать конструктивно-технические решения на этапах разработки, проектирования и эксплуатации с использованием цифровых двойников любого изделия и комплекса. Например, применение функциональных модулей дает возможность унифицировать и стандартизировать любую разработку путем формирования цифровых двойников. Это хорошо согласуется с созданием боевых наземных, воздушных, надводных и других платформ с разного рода функциональными модулями.

Энергетической платформой для автономной и распределенной энергетики является система автономного энергоснабжения (САЭ), а функциональными модулями – источники генерации (энергоблоки) и подстанции либо их разновидности в виде отдельных устройств контейнерного (заводского) исполнения. САЭ предполагают любую степень базирования и связь между собой силовыми воздушными (ВЛ), кабельными линиями (КЛ), а также сигнальными и/или оптоволоконными линиями для управления, защиты, автоматики, мониторинга и др.

Цель настоящей статьи состоит в формировании облика САЭ в составе цифровых модульных подстанций переменного (ЦМП *AC*) и постоянного тока (ЦМП *DC*), а также энергоблоков с традиционными и возобновляемыми источниками для Арктики. Структура САЭ и виды оборудования приведены на рис. 1 и касаются в основном мощностей до 10–100 МВт напряжением до 10–100 кВ, т.е. малой и распределенной энергетики. Если традиционные и возобновляемые источники достаточно подробно описаны в литературе, то ЦМП *AC*, и особенно ЦМП *DC* недостаточно освещены.

Преимущества и недостатки ЦМП *AC* и ЦМП *DC* приведены на рис. 2. Они широко описаны в литературе [см., напр., 6] и отражают мировую тенденцию возврата к построению сетей постоянного тока (см. материалы последних сессий CIGRE, статью В.М. Перминова, М.Г. Тягунова [1] и доклад Н.Д. Рогалёва, В.В. Молодюка [2]).

Рисунок 1 – Структура САЭ с использованием источников, ЦМП AC и ЦМП DC для Арктики
Обозначения: AC – переменный ток; ДГУ – дизель-генераторное устройство;
ГТУ – газотурбинное устройство; ГПУ – газопоршневое устройство;
АСММ – атомная станция малой мощности; DC – постоянный ток; ТР – трансформатор;
КРУ – комплектное распределительное устройство;
ЦДТН – цифровой датчик тока и напряжения; РЗА – релейная защита и автоматика;
СТК – статический тиристорный компенсатор; ВЭУ – ветровая электроустановка;
ФЭУ – фотоэлектрическая установка; В, И – выпрямитель, инвертор;
НЭЭ – накопители электроэнергии;
С, СК – конденсатор, суперконденсатор; АБ – аккумуляторная батарея;
ЛИА – литий-ионный аккумулятор; ТЭ – топливный элемент;
САУК – система автоматического управления комплекса;
ЛО, КО – лазерное и кинетическое оружие.

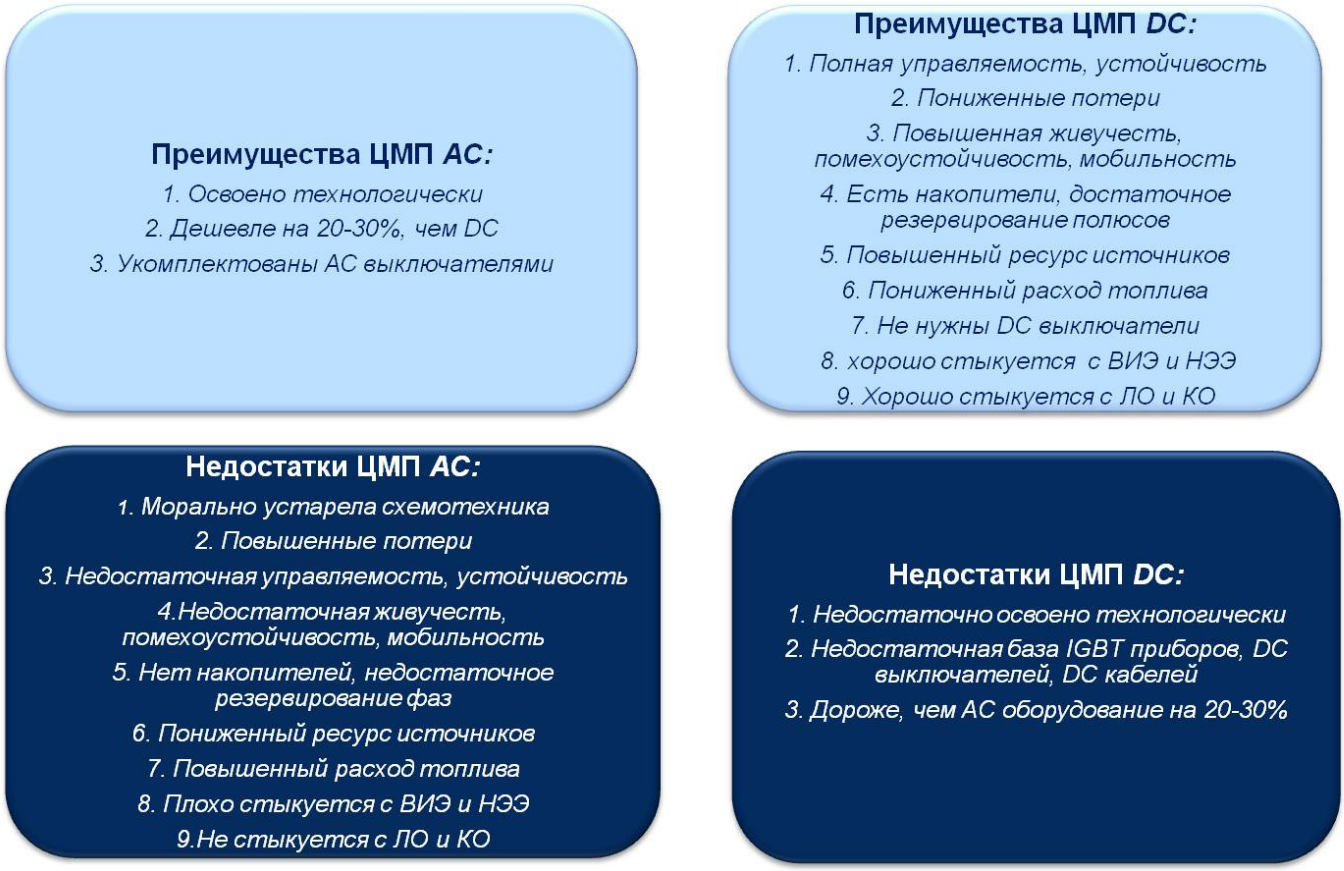

Рисунок 2 – Преимущества и недостатки ЦМП AC и ЦМП DC
Обозначения: см. рис. 1.

© R.N. Shulga, A.Yu. Petrov, A. Yu. Khrennikov
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

Задачи настоящей статьи показаны на рис. 3, причем первый пункт касается наработок ВЭИ в части САЭ, второй пункт – реализации типичного одного присоединения комплектного распределительного устройства (КРУ) к шине процесса по IEC 61850. Второй пункт связан с измерением, управлением и передачей сигналов на шину станции, последующие пункты отражают реализацию наработок ВЭИ и других организаций относительно ЦМП *DC* контейнерного исполнения, включая преобразователи тока, напряжения, частоты, НЭЭ водородного и электрохимического типа. Из-за ограниченного объема статьи наработки по выключателям постоянного тока, системам управления и другим элементам САЭ не представлены.

ЦМП АС

ЦМП *АС* базируются на внедренной в практику ОАО «Россети» концепции «Цифровая подстанция» [7], учитывающей стандарты IEC 61850, smart-технологии, ГОСТы, РД, СТО, приказы и руководящие документы РАО «ЕЭС России» и АО «ФСК ЕЭС». За прошедшее десятилетие указанная концепция внедрена на многих подстанциях и станциях РФ и за рубежом, претерпела ряд трансформаций [8, 9] и продолжает изменяться в части резервирования, применения устройств FACTS, НЭЭ, интеллектуальных устройств LED и др. Наиболее перспективным направлением цифровизации представляется замена устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) на компьютерное программное обеспечение (ПО). Например, ПО с использованием ПК, разработано в НГТУ им. Р.Е. Алексеева, однако, требования надежности, безопасности, резервирования пока ограничивают реализацию подобного подхода.

На рисунке 4 приведена архитектура шин по протоколу IEC 61850 для одного присоединения с применением традиционных датчиков тока и напряжения, электромагнитного типа [8], использующих преобразователи тока и напряжения (соответственно ПТ, ПН), объединяющие устройства измерения и команд (соответственно ОУИ и ОУК) для управления работой выключателя (В).

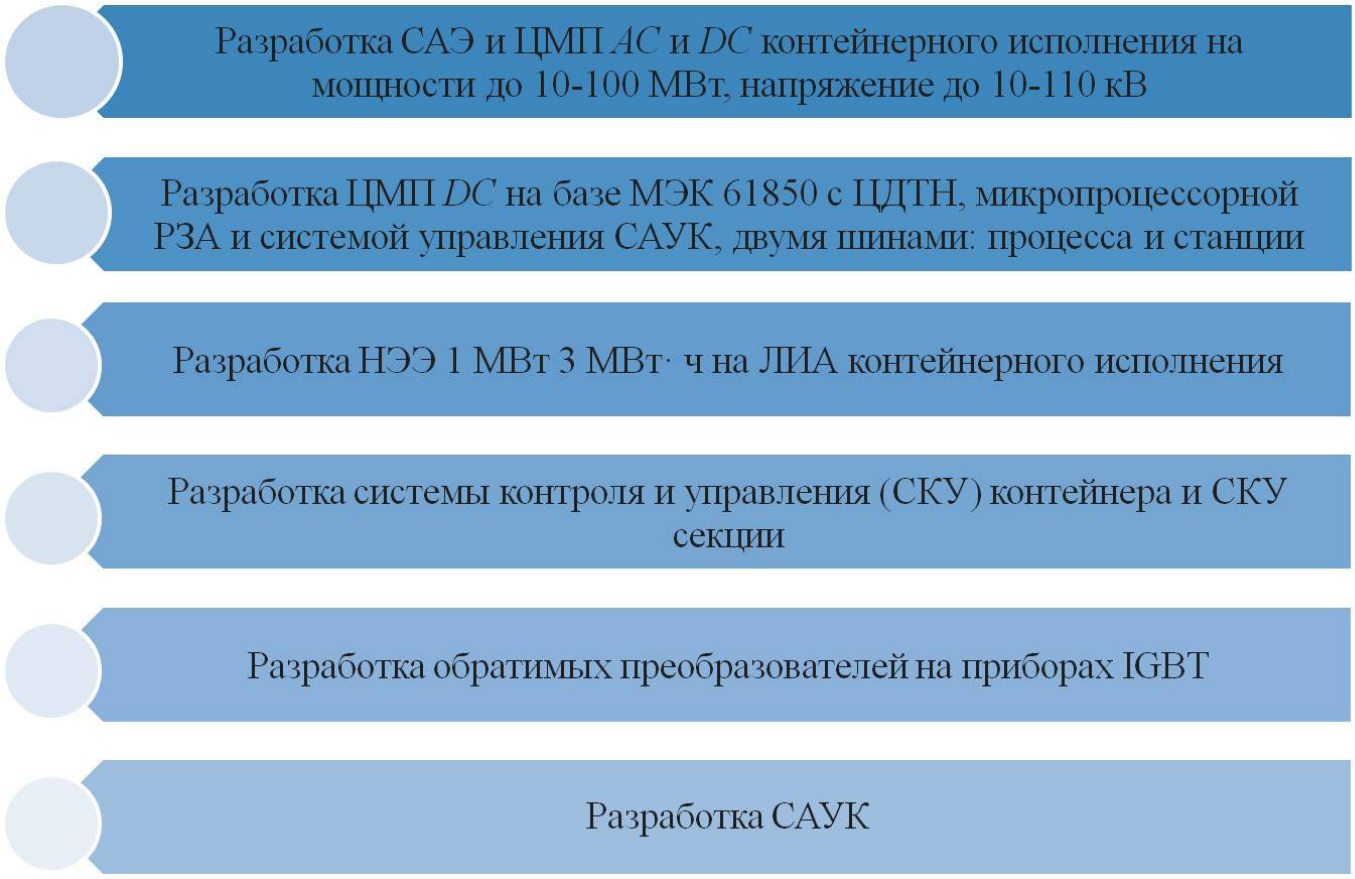

Рисунок 3 – Задачи в части разработки САЭ (1), ЦМП АС (2), ЦМП DC (3), НЭЭ с ЛИА (4), НЭЭ с ТЭ (5). Обозначения: см. рис. 1.

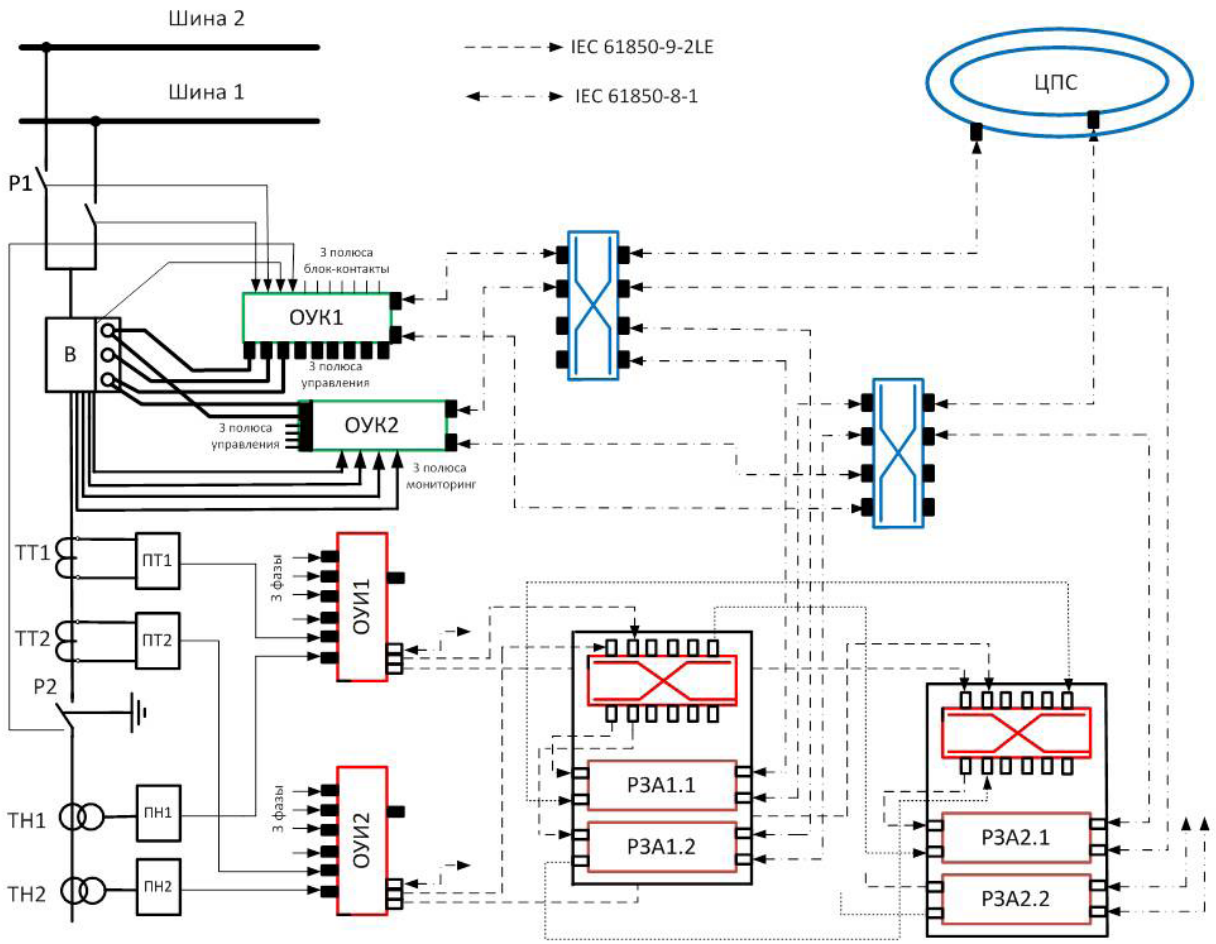

Рисунок 4 – Архитектура шин по протоколу IEC 61850 для одного присоединения
Обозначения: В – выключатель; ЦПС – цифровая подстанция; Р1 – разъединители; Р2 – заземлитель; ТТ1, ТТ2 – трансформаторы тока; ТН1, ТН2 – трансформаторы напряжения; ПТ1, ПТ2 – преобразователи тока; ПН1, ПН2 – преобразователи напряжения; ОУИ1, ОУИ2 – объединяющие устройства измерения; ОУК1, ОУК2 – объединяющие устройства команд; РЗА1.1, РЗА1.2 – терминалы шкафа 1РЗА; РЗА2.1, РЗА2.2 – терминалы шкафа 2РЗА.

Структурная схема и фотография разработанных и изготовленных в ВЭИ цифровых датчиков тока и напряжения (ЦДТН) на классы напряжения 35–110 кВ приведены на рис. 5 [10]. ЦДТН состоит из трех модулей: измерительного модуля (ИМ) на высоком потенциале, опорного изолятора со встроенным датчиком напряжения (ДН) и коммуникационного устройства (КМ) на потенциале земли. ИМ содержит оптический источник питания (фотодиод), аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) и блок питания (аккумулятор). Датчиками тока являются катушки Роговского (для цепей измерения и релейной защиты), а датчиком напряжения – RC-делитель напряжения, сигналы которых поступают на входы АЦП. ИМ и КМ связаны оптическим каналом, по которому на ИМ передаются питание АЦП (мощность до 2 Вт) и сигналы управления, а от ИМ на КМ – измеренные значения тока и напряжения. Последние по протоколу IEC 61850-9-2 LE передаются на шину процесса ЦПС (см. рис. 4). КМ содержит лазерный источник питания, коммуникационный контроллер, блок синхронизации и блок питания и является объединяющим устройством для трех фаз одного присоединения.

Основным устройством первичного оборудования ЦМП *АС* являются КРУ напряжением 10–35 кВ. На рис. 6 показано модульное КРУ 10 кВ типа *Premset* [11] с использованием твердой экранированной изоляции токопроводов и комплектующих элементов. Главный элемент КРУ – коммутационный аппарат, обычно в виде вакуумного выключателя с пружинным приводом, совмещенного с разъединителем и заземлителем. Датчики тока и напряжения преимущественно электромагнитного или электронного типа присоединяются через адаптеры к коммутационному аппарату. В верхней части КРУ устанавливается ми-

© R.N. Shulga, A.Yu. Petrov, A. Yu. Khrennikov
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

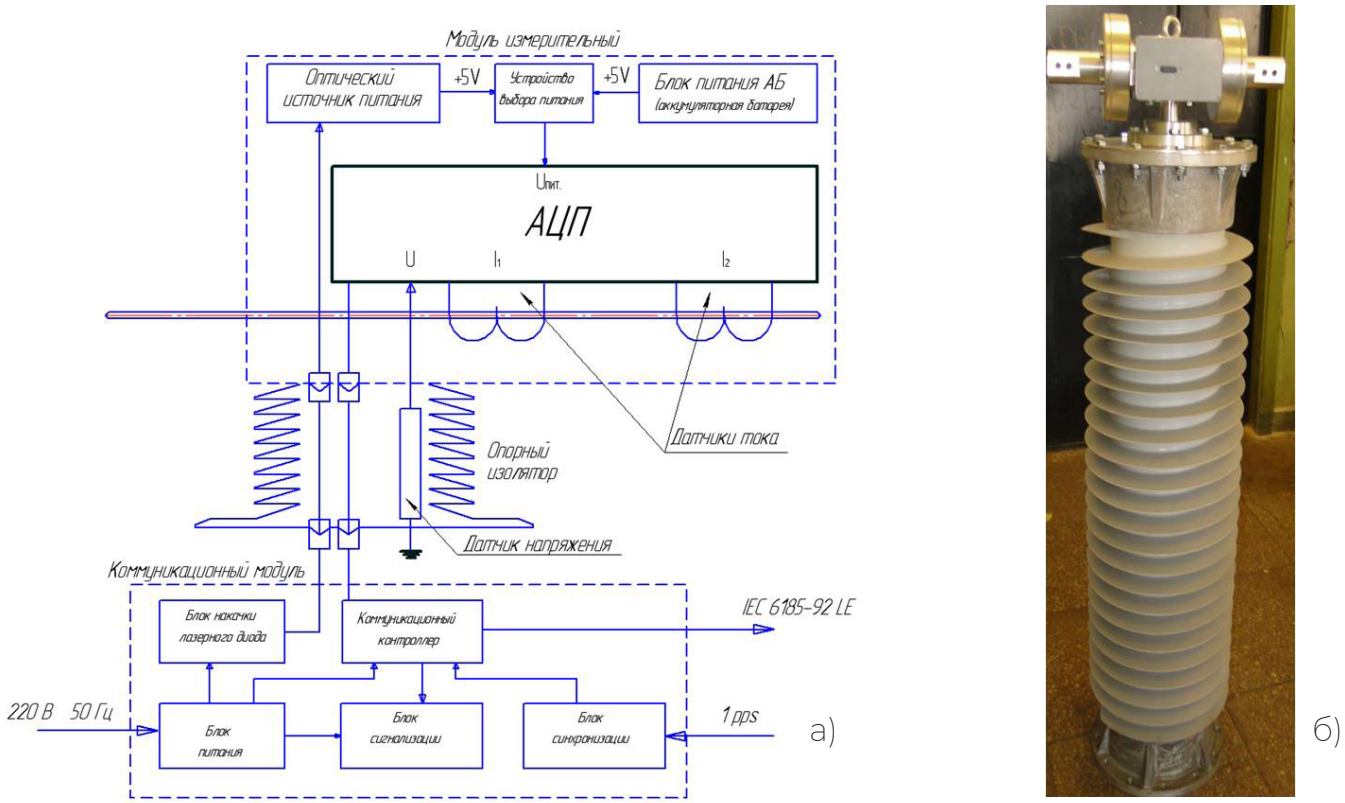

Рисунок 5 – ЦДТН: а) структурная схема; б) фотография [10].

кропроцессорный терминал управления и защиты, а также блоки мониторинга и испытания кабелей. Модульные КРУ выпускаются всеми известными фирмами и широко применяются для контейнерной установки благодаря компактности, удобству обслуживания, безопасности и ремонтопригодности. Наиболее важными проблемами обеспечения надежности работы таких КРУ являются контроль комбинированной изоляции кабелей, токопроводов и элементов, особенно в КРУ 35 кВ [12, 13].

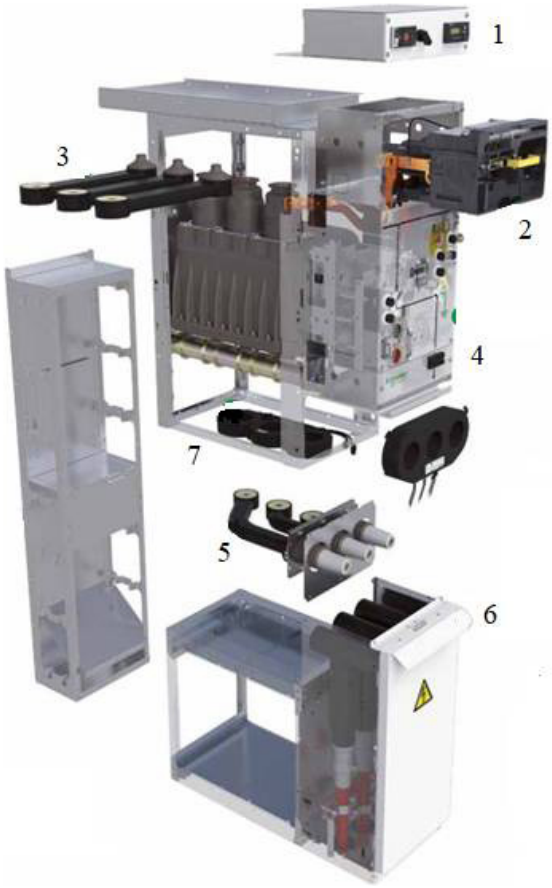

Рисунок 6 – Модульное КРУ 10–35 кВ с твердой экранированной изоляцией [11].
1 – отсек низкого напряжения;
2 – блок испытания кабелей;
3 – верхнее присоединение;
4 – коммутационный аппарат;
5 – нижнее присоединение;
6 – нижний отсек;
7 – измерительные датчики тока и напряжения.

На рисунке 7 в виде примера показан внешний вид контейнера СТК 35 кВ с использованием вышеописанных КРУ, а также устройств *FACTS* на основе тиристоров и приборов *IGBT* [14]. Указанные устройства позволяют устранить недостатки в части компенсации реактивной мощности, стабилизации и симметрирования напряжения, повышения пропускной способности, устойчивости и управляемости, особенно присущих локальным сетям при наличии ВИЭ.

ЦМП *DC*

ЦМП *DC* по принципу действия являются дискретными и цифровыми с использованием микропроцессорных систем управления, регулирования, защиты и автоматики (СУРЗА). Если раньше на их основе строились передачи и вставки *DC*, то в настоящее время для организации надежного энергоснабжения больших систем проектируются сети *DC* вплоть до напряжений 500 кВ, создаваемые в Китае. Для локальных сетей, особенно с использованием ВИЭ, приходится применять НЭЭ разных типов и мощностей, которые могут работать только на постоянном токе, что стимулирует применение ЦМП *DC*.

На рисунке 8 приведена структура модульной стационарной САЭ, которая питается от внешней сети АС 35–110 кВ и через управляемый выпрямитель (В), нагруженный на биполярный кабель *DC*, питает внутреннюю систему энергоснабжения (ВСЭ), которая может быть как наземной, так и подземной (подводной). Наряду с основным в составе ВСЭ имеется резервное энергоснабжение в виде модульной микрогазотурбинной электростанции (МГТЭС) либо модульной дизельной электростанции (МДЭС), которые через преобразователи *AC/DC* подключены к биполярному кабелю наряду с НЭЭ в виде аккумуляторной батареи и обеспечивают питание нагрузок при нарушении питания от внешней сети и источников ВСЭ. В состав САЭ могут также входить мобильные модульные САЭ, питаемые от источников ВИЭ (ВЭС, ФЭС) или традиционных источников (МГТЭС или МДЭС). МГТЭС в силу компактности лучше подходят для

Рисунок 7 – Контейнерное исполнение на примере СТК 35 кВ [14].

© R.N. Shulga, A.Yu. Petrov, A. Yu. Khrennikov
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

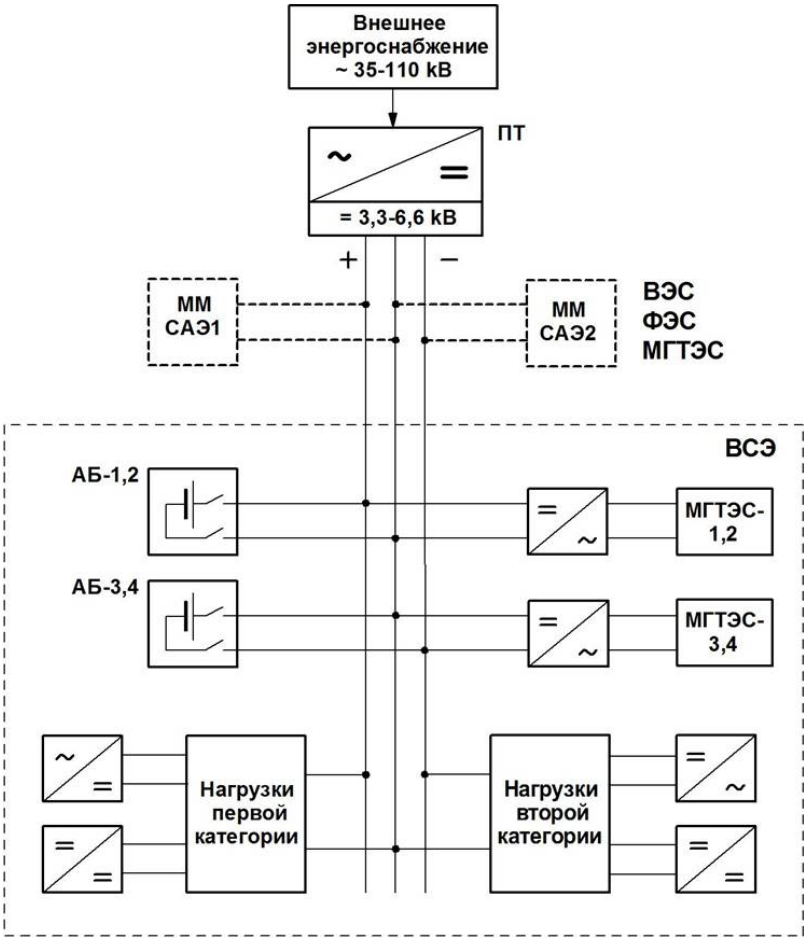

Рисунок 8 – Структура модульной стационарной САЭ для Арктики.
Обозначения: ММ – мобильный модуль;
ВЭС – ветровая электростанция; ФЭС – фотоэлектрическая станция;
МГТЭС – микрогазотурбинная электростанция;
АБ – аккумуляторная батарея;
ВСЭ – внутренняя система электроснабжения;
ПТ – управляемый выпрямитель постоянного тока.

мобильных САЭ, однако повышенный расход топлива зачастую ограничивает их применение. Использование системы *DC* позволяет снизить потери в кабелях, длина которых может быть любой, а главное, обеспечивает гарантированное питание нагрузок, так как при пропадании одного из полюсов другой полюс форсируется по току, сохраняя бесперебойное энергоснабжение. Нагрузки ВСЭ, в свою очередь, могут подключаться либо через преобразователи *DC/AC* (инверторы) и преобразователи *DC/DC*, что позволяет упростить схемы собственных нужд и оперативного питания ВСЭ.

На рисунке 9 в компактной форме приведены характеристики живучести, помехоустойчивости и мобильности САЭ на основе ЦМП *DC*, которые позволяют, несмотря на большие затраты сравнительно с ЦМП *AC*, обеспечить практически бесперебойное и качественное энергоснабжение потребителей.

На рисунке 10 показаны фотографии преобразователей частоты (ПЧ), напряжения и тока в приборах *IGBT*, а также акустические характеристики ПЧ мощностью 212 кВт, позволяющих существенно снизить шумы в мобильных модулях, что важно в гражданских и военных приложениях.

На рисунке 11 применительно к водородному топливному элементу (ТЭ), который может использоваться в качестве НЭЭ, приведены: а) внешний вид; б) структурная схема. Применение ТЭ оправдано высоким КПД на уровне 50%, отсутствием вредных выбросов, возможностью работы при низких температурах, быстрым стартом, однако недостатки связаны с высокой степенью очистки водорода от примесей, ограниченным ресурсом мембраны в твердополимерном ТЭ[15].

Живучесть	Помехоустойчивость	Мобильность
Разнесение ММ САЭ от ВСЭ на большое удаление (1–10 км) и отключение внешнего энергоснабжения при его отказе	Кабели подземные (подводные) экранированные и заземленные	Все элементы – контейнеры на колесах или на плотах
При коротком замыкании одного полюса его отключение и форсировка по току другого полюса	Отключение любого источника в одном из полюсов или целого полюса, компенсируется форсировкой по току другого полюса	Разнесение наземных (надводных), подземных (подводных) объектов
При электромагнитном импульсе, ядерном взрыве и др. перевод ВСЭ на внутреннее питание и отключение внешнего энергоснабжения		Связь по ВОЛС (вмонтирована в силовой кабель) дублируется другими радиоканалами
Мониторинг состояния разнесенных объектов по ВОЛС		Кабели стыкуются герметичными разъемами

Рисунок 9 – Характеристики живучести, мобильности и помехоустойчивости САЭ.

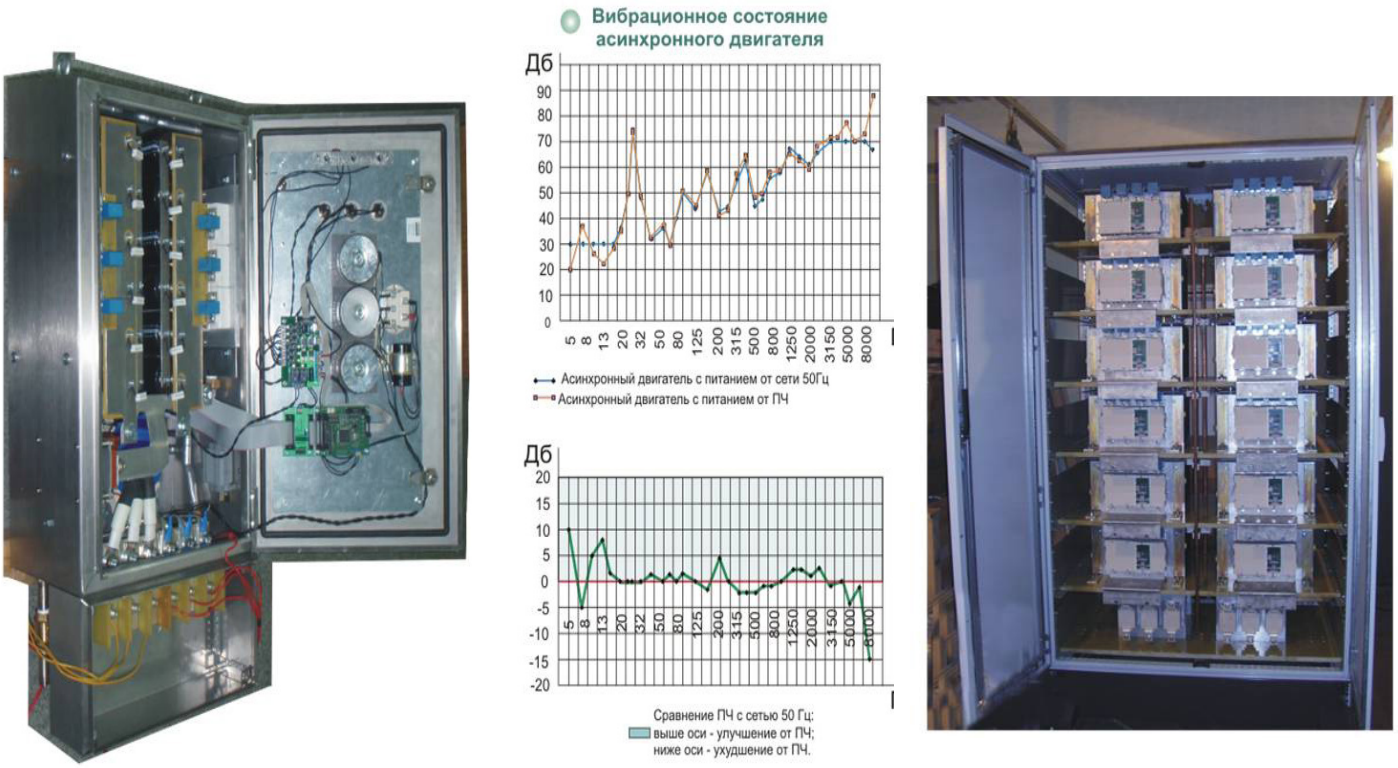

Рисунок 10 – Образцы преобразователей напряжения, тока и частоты (ПЧ) разной мощности, а также акустические характеристики асинхронных двигателей с учетом ПЧ 212 кВт.

© R.N. Shulga, A.Yu. Petrov, A. Yu. Khrennikov
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

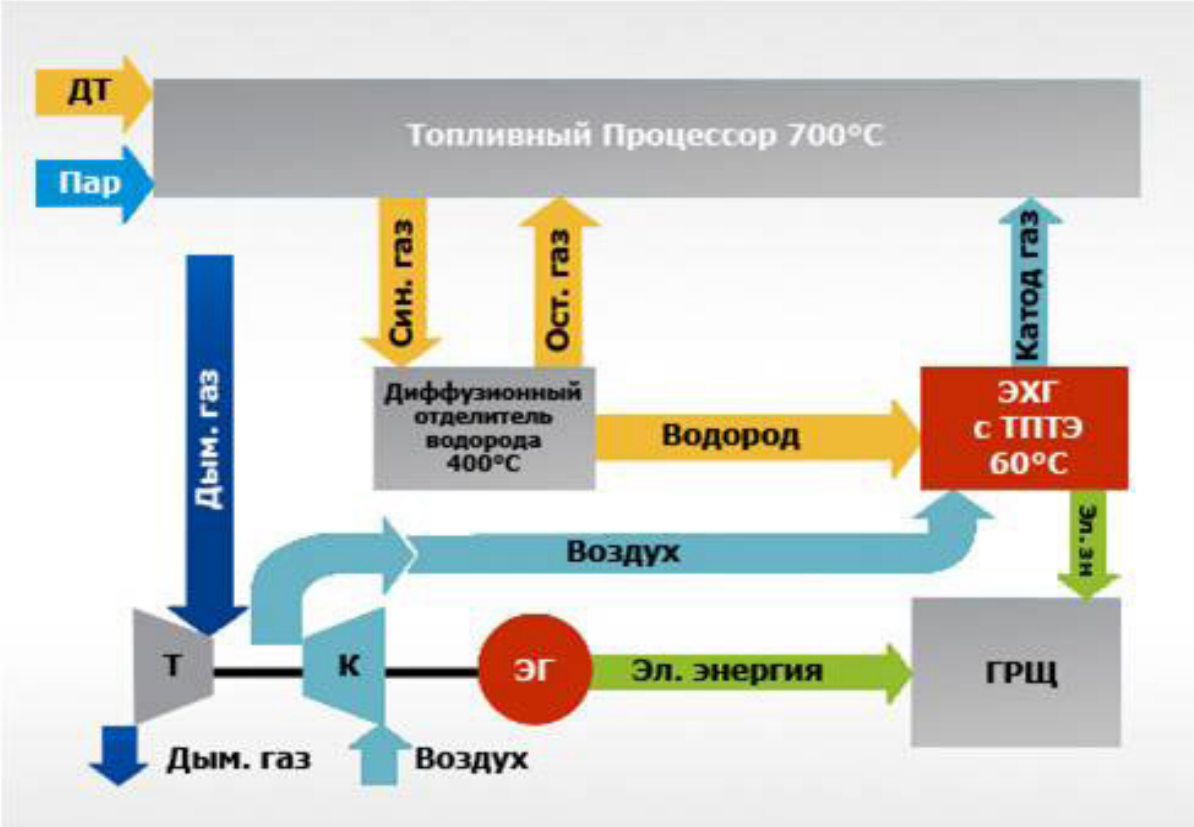

Рисунок 11 – Образец водородного ТЭ в качестве НЭЭ:
а) внешний вид; б) структура ТЭ (разработка НИЦ СЭТ [15])
Обозначения: ДТ – дизельное топливо;
Т – турбина;
К – компрессор;
ЭГ – электрогенератор;
ГРЩ – групповой распределительный щит;
ЭХГ – электрохимический генератор;
ТПТЭ – твердополимерный топливный элемент

На рисунке 12 приведена структурная схема контейнерного НЭЭ на основе литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) мощностью 1 МВт энергоемкостью 3 МВт·ч, которые обеспечивают гарантированное энергоснабжение САЭ при исчезновении питания. Основными элементами являются модули ЛИА-1 мощностью 200 кВт, которые контролируются и управляются с помощью блоков СКУ (2). Согласование напряжений шины питания и модулей ЛИА (1) осуществляется с помощью преобразователей *DC-DC* (3), выход которых связан с входом инвертора *DC-AC* (4). Измерители (5) контролируют выдаваемую мощность, напряжение и ток НЭЭ, который через трансформатор (6) связан с нагрузкой переменного тока. Если НЭЭ работает по схеме, где инвертор и трансформатор отсутствуют, то это существенно упрощает и удешевляет НЭЭ.

Важной проблемой повышения надежности разрабатываемого электротехнического оборудования является проведение испытаний, диагностика и мониторинг, которым посвящены публикации [17-20].

Области применения ЦМП *AC* и ЦМП *DC* характеризуются областями, показанными на рис. 13. Они зависят от наличия рынка комплектующих и заказчиков. При этом важное значение приобретают вопросы цифровизации, создания цифровых двойников, унификации и стандартизации, наличия испытательной базы и др.

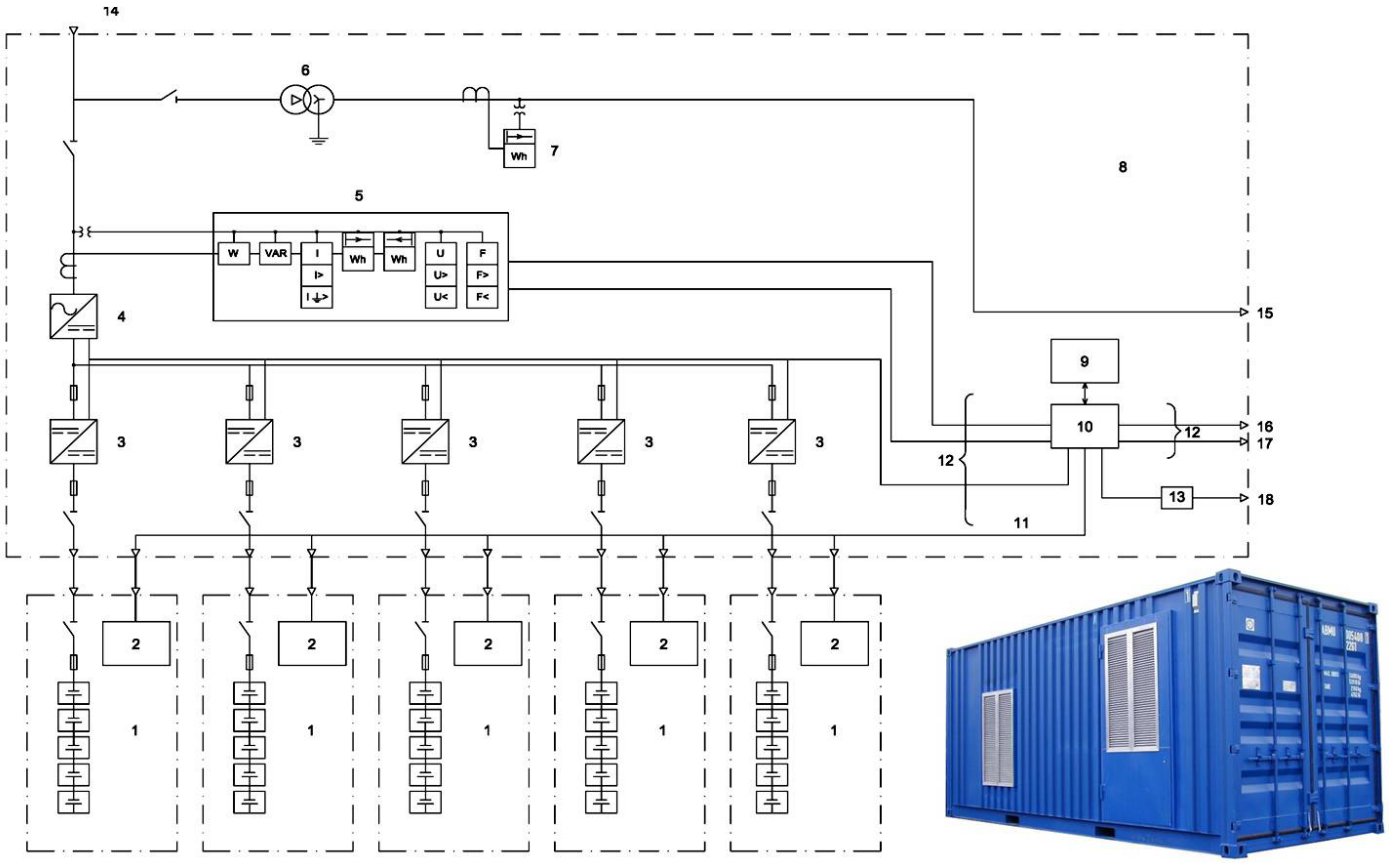

Рисунок 12 – Структурная схема контейнерного НЭЭ на основе ЛИА
Обозначения: 1 – модуль ЛИА;
2 – система контроля и управления СКУ-модуля;
3 – преобразователь DC-DC;
4 – преобразователь DC-AC;
5 – измерители;
6 – трансформатор; 7 – счетчик;
8 – контейнер;
9 – уставка;
10 – контроллер; 11, 12 – кабели;
13 – защита;
14–18 – внешние присоединения.

© R.N. Shulga, A.Yu. Petrov, A. Yu. Khrennikov
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

Рисунок 13 – Области применения ЦМП AC и ЦМП DC.

Выводы

1. Предлагается универсальная энергетическая платформа мощностью 10–100 МВт, напряжением 10–110 кВ на базе ЦМП *DC* с внедрением в системы внутреннего и внешнего энергоснабжения гражданского и военного применения для Арктики.
2. Использование ЦМП *DC* позволяет в два раза повысить надежность энергоснабжения, пропускную способность, управляемость и устойчивость по сравнению с ЦМП *AC*.
3. Применение ЦМП *DC* позволяет осуществить мобильное исполнение и реализовать САЭ повышенной устойчивости, применительно к природным и техногенным воздействиям, а также к электромагнитному импульсу.
4. Тиражирование ЦМП *DC* воздушного, надводного и наземного исполнения для разной мощности и разного напряжения позволит существенно удешевить производство и эксплуатацию за счет унификации и стандартизации комплектующих.
5. ЦМП *DC* обеспечит повышенную живучесть, помехоустойчивость, мобильность.
6. ЦМП *DC* позволит создать единую энергетическую платформу наземного, водного и воздушного базирования, в том числе арктического исполнения.

Список литературы:

1. Перминов В.М., Тягунов М.Г. К вопросу о структуре энергетики будущего // Энергия единой сети. 2019, № 5(48), с.10–28.
2. Рогалев Н.Д., Молодюк В.В. Проблемы развития электроэнергетики России и пути их решения // XXVIII Международная научно-техническая конференция ТРАВЭК «Перспективы развития электроэнергетики и высоковольтного электротехнического оборудования». Москва, 7–8 ноября 2018 г.
3. Шульга Р.Н., Путилова И.В. Мультиагентные системы постоянного тока с использованием ВИЭ и водородных топливных элементов // Альтернативная электроэнергетика и экология (ISJAEE), 2019, № 4–6, с. 65–82.
4. Kappenman J.G. Space weather and vulnerabitily of electric power grids. – Effect of space weather on technology infrastructure, 2004.
5. Шульга Р.Н. Распределенная генерация с использованием ВИЭ в составе мультиагентных систем постоянного тока // Энергосбережение и водоподготовка, 2017, № 5 (109), с. 58–69.
6. Pirjola R., Vilijanen A., Pulkkinen A., Kilpua S., Amm O. Space weather effects on electric power transmission grids and pipelines. GeoForschungsZentrum Potsdam. D-14473, Germany. – Effect of space weather on technology infrastructure, 2004.
7. Дорофеев В.В., Моржин Ю.И. Разработка концепции «Цифровая подстанция». М., 2010, с. 238.
8. Мокеев А.В., Ульянов Д.Н., Бовыкин Б.Н., Хромцов Е.И. Многофункциональные устройства для цифровых подстанций // Энергия единой сети, 2019, № 6 (49), с. 8–16.
9. Шаров Ю.В. и др. Цифровизация контроля текущего состояния и предиктивной диагностики турбогенераторов на электростанциях // Энергия единой сети, 2019, № 6 (49), с. 18–30.
10. Шульга Р.Н., Змиева К.А., Должиков Е.Ю., Тимофеев Е.М. Датчики тока и напряжения для цифровых подстанций нового поколения // Электро, 2012, № 5, с. 33–36.
11. Каталог Preset распределительных устройств среднего напряжения. URL: http:/www.se.com.ru (дата обращения 20.02.2020).
12. Шульга Р.Н., Шульга А.Р., Ковалев Д.И., Хренов С.Н. Разработка концепции систем управления и мониторинга комплектных распределительных устройств среднего напряжения с твёрдой изоляцией // Электротехника, 2017, № 8, с. 39–45.
13. Шульга Р.Н., Шульга А.Р., Ковалев Д.И., Мирзабекян Г.З., Вариводов В.Н. Некоторые особенности применения твёрдой изоляции из сшитого полиэтилена на постоянном и переменном токе // Электротехника, 2016, № 8, с. 39–45.
14. Аксенов В.В., Чуприков В.С. Устройства симметрирования напряжения в электрических сетях // Энергоэксперт, 2019, № 3, с. 40–45.
15. Опыт создания энергоустановки с топливными элементами. URL: http://www.sozvezdye-forum.ru/assets/files/Presentation_2016/Session%202/Alekseev.pdf (дата обращения 20.02.2020).
16. Ефимов В.Б., Селиванов В.Н. Комплексные исследования внешних воздействий на электрические сети Кольской энергосистемы. – Труды Кольского научного центра РАН. – Энергетика, 2015, Вып. 10, № 2(28).
17. Khrennikov A. Yu., Kuvshinov A.A., Shkuropat I.A. Providing Reliable Operation of Electric Networks. New York: Nova Publishers, 2019. 308 p.
18. Хренников А.Ю. Высоковольтное оборудование в электротехнических системах: диагностика, дефекты, повреждаемость, мониторинг. Учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2019. 186 с.
19. Хренников А.Ю., Александров Н.М. Оценка механического состояния обмоток силовых трансформаторов // Материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции «Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем». Чебоксары, 7 июня 2019 г., с. 378–382.
20. Ефимов Б., Сахаров Я., Селиванов В. Геомагнитные штормы. Исследование воздействий на энергосистему Карелии и Кольского полуострова. – Новости Электротехники, 2013, №2(80)

References:

1. Perminov V.M., Tyagunov M.G. On the structure of the energy of the future // Energy of a unified network. 2019. No. 5 (48), pp. 10–28.
2. Rogalev N.D., Molodyuk V.V. Problems of the development of the electric power industry in Russia and ways to solve them // XXVIII International Scientific and Technical Conference TRAVEK «Prospects for the development of the electric power industry and high-voltage electrical equipment». Moscow, 2018, November 7–8.
3. Shulga R.N., Putilova I.V. Multiagent DC systems using renewable energy and hydrogen fuel cells // Alternative Power and Ecology (ISJAEE), 2019, № 4–6, p. 65–82.
4. Kappenman J.G. Space weather and vulnerabitily of electric power grids. – Effect of space weather on technology infrastructure, 2004.
5. Shulga R.N. Distributed generation using renewable energy as part of multiagent DC systems // Energy Saving and Water Treatment, 2017, № 5 (109), p. 58–69.
6. Pirjola R., Vilijanen A., Pulkkinen A., Kilpua S., Amm O. Space weather effects on electric power transmission grids and pipelines. GeoForschungsZentrum Potsdam. D-14473, Germany. – Effect of space weather on technology infrastructure, 2004.
7. S Dorofeev V.V., Morzhin Yu.I. Development of the

© R.N. Shulga, A.Yu. Petrov, A. Yu. Khrennikov
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

concept of «Digital substation». M., 2010, p. 238.
8. Mokeev A.V., Ulyanov D.N., Bovykin B.N., Khromtsov E.I. Multifunction devices for digital substations // Energy of a unified network, 2019, № 6 (49), pp. 8–16.
9. Sharov Yu. V. et al. Digitalization of monitoring the current state and predictive diagnostics of turbogenerators in power plants // Energy of a unified network, 2019, № 6 (49), p. 18–30.
10. Shulga R.N., Zmieva K.A., Dolzhikov E. Yu., Timofeev E.M. Current and voltage sensors for new generation digital substations // Electro, 2012, № 5, pp. 33–36.
11. Preset catalog of medium voltage switchgears. URL: http:/www.se.com.ru (access date 02/20/2020).
12. Shulga R.N., Shulga A.R., Kovalev D.I., Khrenov S.N. Development of the concept of control systems and monitoring of medium-sized switchboards with solid insulation // Electrical Engineering, 2017, № 8, pp. 39–45.
13. Shulga R.N., Shulga A.R., Kovalev D.I., Mirzabekyan G.Z., Varivodov V.N. Some features of the use of solid insulation made of cross-linked polyethylene at direct and alternating current // Electrical Engineering, 2016, № 8, pp. 39–45.
14. Aksenov V.V., Chuprikov V.S. Voltage Balancing Devices in Electric Networks // Energoekspert, 2019, № 3, pp. 40–45.
15. The experience of creating a power plant with fuel cells. URL: http://www.sozvezdye-forum.ru/assets/files/Presentation_2016/Session%202/Alekseev.pdf (accessed 02/20/2020).
16. Efimov V.B., Selivanov V.N., Comprehensive studies of external influences on the electrical networks of the Kola energy system. - Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. - Energy, 2015, Issue. 10, no. 2 (28). (In Russian).
17. Khrennikov A. Yu., Kuvshinov A.A., Shkuropat I.A. Providing Reliable Operation of Electric Networks. New York: Nova Publishers, 2019. 308 p.
18. Khrennikov A. Yu. High-Voltage equipment in electrical systems: diagnostics, defects, damage, monitoring. Textbook. Moscow: INFRA-M, 2019. 186 p.
19. Khrennikov A. Yu., Alexandrov N. M. Evaluation of the mechanical state of power transformer windings // Materials of the XIII all-Russian scientific and technical conference "Dynamics of nonlinear discrete electrical and electronic systems". Cheboksary, June 7, 2019, pp. 378-382.
20. Efimov B., Sakharov Ya., Selivanov V. Geomagnetic storms. Study of impacts on the energy system of Karelia and the Kola Peninsula. - News of Electrical Engineering, 2013, No. 2 (80).

UDC 614.3:616(985)
DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12105

К ВОПРОСУ ЦИФРОВИЗАЦИИ В СФЕРЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ НАСЕЛЕНИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А.А. Ковшов[1,2], В.Н. Федоров[1], Н.А. Тихонова[1], Ю.А. Новикова[1]

[1] ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, Санкт-Петербург, Россия
[2] ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

kovshov@s-znc.ru, vf1986@mail.ru, tihonova@s-znc.ru, novikova@s-znc.ru

На протяжении более чем 20 лет одним из приоритетных научных направлений ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» остается исследование состояния среды обитания и здоровья населения в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ). Итогами такой работы стало создание в 2017 году «Атласа санитарно-эпидемиологической обстановки на территории Арктической зоны Российской Федерации» и издание в 2018 и 2019 гг. информационных бюллетеней о состоянии здоровья населения и факторов среды обитания населения Арктической зоны Российской Федерации. Полученные результаты позволяют сделать выводы о динамике показателей санитарно-эпидемиологической обстановки населения за период с 2007 по 2018 гг. применительно как к АЗРФ в целом, так и в разрезе входящих в ее состав муниципальных образований. С целью принятия управленческих решений, направленных на улучшение санитарно-эпидемиологической обстановки населения АЗРФ, представляется необходимым создание и внедрение в практическую деятельность органов и учреждений Роспотребнадзора цифровых проектов на основе геоинформационных систем.

Ключевые слова: санитарно-эпидемиологическое благополучие; геоинформационные системы; здоровье населения; факторы среды обитания; Арктическая зона Российской Федерации, цифровой проект.

ON THE ISSUE OF DIGITALIZATION IN THE FIELD OF ENSURING THE SANITARY AND EPIDEMIOLOGICAL WELL-BEING OF THE POPULATION IN THE RUSSIAN ARCTIC

A.A. Kovshov[1,2], V.N. Fedorov[2], N.A. Tikhonova[2], Yu.A. Novikova[2]

[1] North-West State Medical University named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg, Russia
[2] North-West Public Health Research Center, St.-Petersburg, Russia

One of the priority research areas of the North-West Scientific Center for Hygiene and Public Health (St. Petersburg, Russia) during more than 20 years has been the study of the state of health and the living environment of the population in the Russian Arctic. The result of this work was the creation in 2017 of the Atlas of the Sanitary and Epidemiological Situation on the Territory of the Russian Arctic and the publication of information bulletins on the state of public health and environmental factors of the population of the Russian Arctic in 2018 and 2019. The results obtained make it possible to draw conclusions about the dynamics of indicators characterizing the sanitary and epidemiological well-being of the population for a given period in relation to both the Russian Arctic as a whole and in the context of particular municipalities of Arctic zone. In order to make management decisions aimed at improving the sanitary and epidemiological well-being of the population of the Russian Arctic, it seems necessary to introduce modern software products based on geographic information systems into the practical activities of agencies and institutions of the Russian Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing.

© A.A. Kovshov, V.N. Fedorov, N.A. Tikhonova, Yu.A. Novikova
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

Keywords: sanitary epidemiologic wellbeing; geographic information system; population health; human environment factors; Russian Arctic, digital project.

Статья получена: 02.10.2020
Принята к публикации: 22.10.2020
Опубликована онлайн: 28.10.2020

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

На протяжении более чем 20 лет одним из приоритетных научных направлений ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» остается исследование состояния среды обитания и здоровья населения в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ), в т.ч. гигиена и эпидемиология окружающей среды Арктики, гигиенические аспекты безопасности местной пищи и питьевой воды, онкоэпидемиология, экотоксикология стойких загрязняющих веществ (СЗВ) – стойких органических загрязнителей и тяжелых металлов, оценка экспозиции к СЗВ различных групп населения Арктики, включая коренное, оценка эффектов воздействия СЗВ на организм и рисков здоровью с учетом специфики комплекса «арктических факторов», разработка профилактических мероприятий по сокращению и предотвращению загрязнения среды обитания арктических территорий и минимизации влияния вредных факторов среды на здоровье населения [1, 2].

За годы исследований накоплен обширный научный материал, который позволяет проводить комплексный анализ санитарно-эпидемиологической обстановки населения АЗРФ с учетом влияния различных факторов на состояние здоровья населения. Итогом такой работы стало создание «Атласа санитарно-эпидемиологической обстановки на территории Арктической зоны Российской Федерации» (Атлас) как информационно-аналитического материала к научно-практической конференции с международным участием «Проблемы сохранения здоровья и обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Арктике» в 2017 году [3].

Атлас содержал аналитическую и статистическую информацию о здоровье и факторах среды обитания населения за период с 2007 по 2016 гг. в разрезе всех субъектов, входящих в АЗРФ, по 10 разделам:

- «Социально-экономические показатели»,
- «Медико-демографические показатели»,
- «Неинфекционная заболеваемость населения»,
- «Инфекционная и паразитарная заболеваемость населения»,
- «Состояние питьевого водоснабжения»,
- «Состояние водных объектов в местах водопользования населения»,
- «Уровни загрязнения атмосферного воздуха»,
- «Характеристика состояния почвы населенных мест»,
- «Источники неблагоприятных физических факторов»,
- «Гигиеническая характеристика продовольственного сырья и пищевых продуктов».

Пример оформления и визуализации информации в Атласе представлен на рисунке 1.

В качестве основных источников информации были использованы данные форм федерального и отраслевого статистического наблюдения:

- № 18 «Сведения о санитарном состоянии субъекта Российской Федерации»,
- № 2 «Сведения об инфекционных и паразитарных заболеваниях»,
- № 23 «Сведения о вспышках инфекционных заболеваний»,
- № 12-15 «Сведения о результатах токсикологического мониторинга».

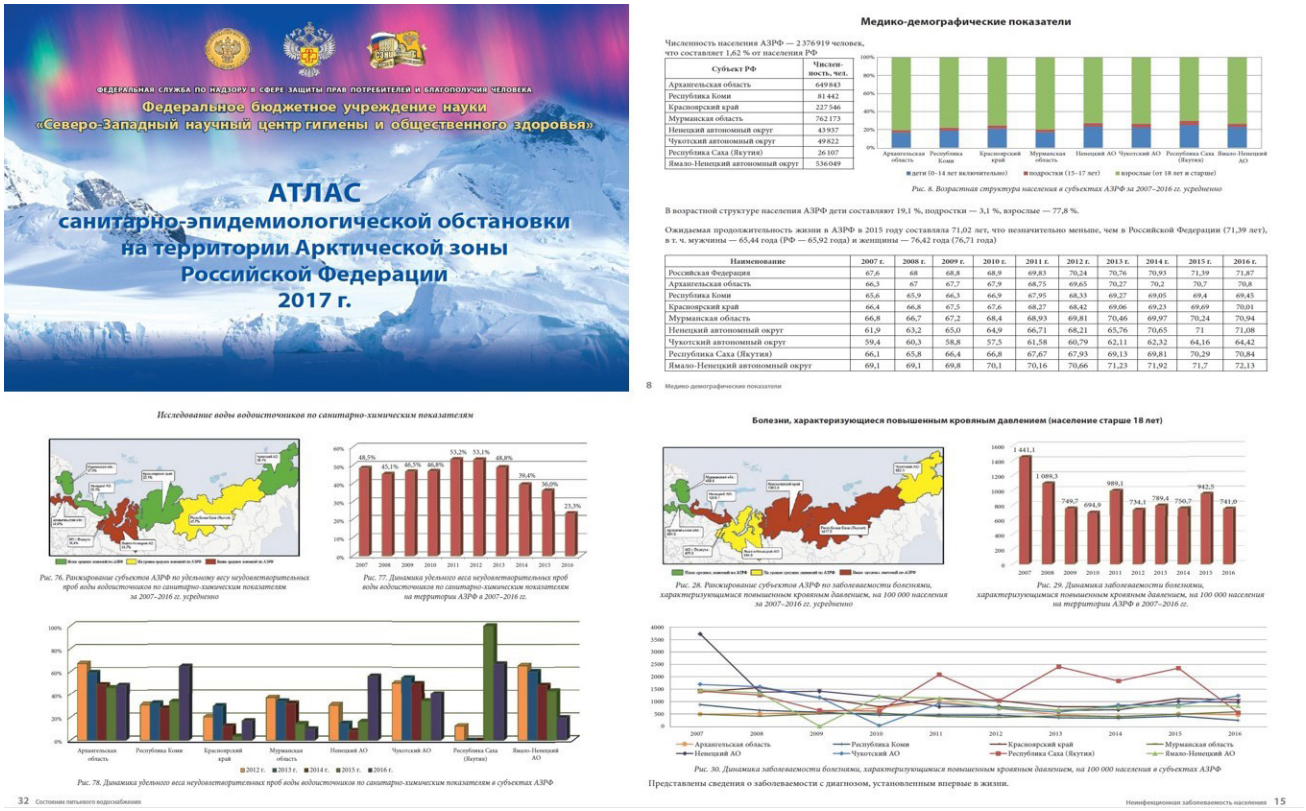

Рисунок 1 – Пример оформления и визуализации информации в Атласе санитарно-эпидемиологической обстановки на территории Арктической зоны Российской Федерации.

Кроме того, анализировались данные федерального информационного фонда данных социально-гигиенического мониторинга (СГМ).

Территории АЗРФ объединены общей географической характеристикой – близостью к Северному Ледовитому океану, однако климатические условия крайне неоднородны: как относительно комфортные применительно к северным районам Республики Карелия и экстремальные – к арктическим территориям Республики Саха (Якутия). Помимо этого, имеются существенные отличия и в социально-экономическом развитии. Можно выделить индустриально развитые и урбанизированные территории (г. Норильск Красноярского края, арктические территории Архангельской области, Мурманская область, Ямало-Ненецкий автономный округ), а также малонаселенные территории с низкой плотностью населения, небольшим количеством промышленных предприятий и проблемами с транспортной доступностью (Ненецкий, Чукотский автономные округа, арктические территории Республики Саха (Якутия). Это определяет не только специфику рисков здоровью населения, но и необходимость особых подходов к проведению наблюдения за состоянием факторов среды обитания на территории АЗРФ.

Важной чертой Атласа является длительный временной отрезок охваченных анализом изучаемых показателей и определения причинно-следственных связей – более 10 лет. Полученные результаты позволяют сделать выводы о динамике показателей, характеризующих санитарно-эпидемиологическую обстановку населения, за данный период применительно как к АЗРФ в целом, так и в разрезе отдельных муниципальных образований, входящих в ее состав.

Сравнительная характеристика социально-экономических показателей в разрезе различных территорий АЗРФ показывает, что наименьшее соотношение среднедушевого дохода к прожиточному минимуму и наибольшая доля лиц с доходами ниже прожиточного минимума наблюдается в арктических территориях Архангельской области, Красноярского края и Республики Саха (Якутия). Тенденция к снижению реальных доходов населения и увеличению доли лиц с доходами ниже прожиточного минимума, наметившаяся в последние 3 проанализированных года, в

© A.A. Kovshov, V.N. Fedorov, N.A. Tikhonova, Yu.A. Novikova
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

целом совпадает с общероссийскими тенденциями [4].

Медико-демографические показатели в АЗРФ характеризуются, с одной стороны, снижением уровней общей и младенческой смертности, увеличением ожидаемой продолжительности жизни, с другой стороны, регистрацией роста смертности от злокачественных новообразований. Кроме того, можно выделить ряд регионов, в которых медико-демографическая ситуация по-прежнему вызывает беспокойство. В частности, в Чукотском автономном округе ожидаемая продолжительность жизни среди мужчин, проживающих в сельской местности, на протяжении последних лет существенно не изменилась и составляет, в среднем, от 45 до 50 лет. Самые высокие уровни младенческой смертности в АЗРФ также регистрируются в Чукотском автономном округе, на втором месте – арктические территории Республики Саха (Якутия). Территориями риска по общей смертности являются арктические территории Архангельской области и Республики Саха (Якутия), Мурманская область и Чукотский автономный округ, арктические территории Архангельской области и Мурманская область также являются территориями риска по смертности от злокачественных новообразований. Следует отметить, что за счет высокой рождаемости численность постоянного населения Чукотского автономного округа существенно не меняется за последние годы, даже несмотря на выраженный миграционный отток некоренного населения, тогда как численность населения Мурманской области, арктических территорий Республики Саха (Якутия) и Архангельской области за последние 10 лет неуклонно снижается.

Уровни заболеваемости болезнями с диагнозами, установленными впервые в жизни, не имеют четкой динамики. Оценивая общую неинфекционную заболеваемость следует признать, что ее показатели за последние 10 лет существенно не изменились. Наиболее высокие уровни первичной заболеваемости регистрируются в Ненецком и Чукотском автономных округах. Территориями риска по бронхиальной астме и астматическому статусу являются Ненецкий автономный округ, Мурманская область и арктические территории Архангельской области, по болезням, характеризующимся повышенным кровяным давлением, – Ненецкий автономный округ, арктические территории Красноярского края и Республики Саха (Якутия). Наиболее высокие уровни врожденных аномалий (пороков развития) отмечаются в Ненецком и Ямало-Ненецком автономных округах, арктических территориях Архангельской области и г. Воркута Республики Коми. Заболеваемость злокачественными новообразованиями, в отличие от вышеуказанных нозологий, имеет четкую тенденцию к росту за последние 10 лет, при этом территориями риска являются Мурманская область и арктические территории Архангельской области. Первичная заболеваемость хроническим алкоголизмом, начиная с 2011 года, находится на относительно стабильном уровне, однако половина территорий АЗРФ (арктические территории Республики Саха (Якутия), Чукотский, Ненецкий и Ямало-Ненецкий автономные округа) являются территориями риска, причем на протяжении многих лет наибольший уровень выявляемости хронического алкоголизма отмечается в Чукотском автономном округе.

Территориями риска по заболеваемости активными формами туберкулеза являются Чукотский автономный округ, арктические территории Республики Саха (Якутия) и Красноярского края, Ямало-Ненецкий автономный округ, г. Воркута Республики Коми. Следует также сказать, что в отличие от АЗРФ в целом, где наблюдается отчетливая тенденция к снижению заболеваемости активным туберкулезом, в Чукотском автономном округе, напротив, отмечается выраженная тенденция к росту. Наиболее высокие уровни заболеваемости вирусными гепатитами А, В и С регистрируются в Ненецком автономном округе и г. Воркута. Территориями риска по заболеваемости сифилисом является Чукотский автономный округ, арктические территории Республики Саха (Якутия), Мурманская область и арктические территории Архангельской области.

Наиболее высокие уровни заболева-

емости энтеробиозом регистрируются в Ненецком автономном округе, арктических территориях Республики Саха (Якутия) и Архангельской области, описторхозом – в Ямало-Ненецком автономном округе и г. Воркута Республики Коми, дифиллоботриозом – в Ненецком автономном округе арктических территориях Республики Саха (Якутия) и Красноярском крае. Отмечается тенденция к снижению заболеваемости описторхозом и дифиллоботриозом в целом по АЗРФ, заболеваемость энтеробиозом не имеет тенденции к существенному росту или снижению.

Оценивая обеспеченность населения централизованным водоснабжением, следует обратить внимание, что с учетом огромных территорий Чукотского, Ненецкого автономных округов, Республики Саха (Якутия) и низкой плотности населения, организация должным образом централизованного водоснабжения является сложной технической и технологической задачей, особенно с учетом вечной мерзлоты. Помимо этого, существуют проблемы и с обеспечением сельского населения качественной питьевой водой: это подтверждается показателями доли проб питьевой воды, несоответствующих гигиеническим требованиям. Вместе с тем, следует принять во внимание положительную тенденцию к снижению данного показателя за последние 10 лет [5].

Загрязнение атмосферного воздуха населенных мест АЗРФ существенно отличается от степени урбанизации и индустриального развития территории, используемых видов топлива в котельных, теплоэлектростанциях и в индивидуальном жилищном строительстве. Наиболее существенное загрязнение атмосферного воздуха ожидаемо отмечается в промышленных центрах АЗРФ, в первую очередь, в г. Норильск Красноярского края и г. Воркута Республики Коми [6].

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о необходимости совершенствования системы сбора данных в области «среда-здоровье» в разрезе муниципальных образований АЗРФ и с учетом специфики этого макрорегиона.

Отдельного внимания заслуживают вопросы совершенствования системы СГМ, охват которым территорий АЗРФ представляется недостаточным.

Подготовленный в 2017 году Атлас показал свою актуальность в свете прошедшей конференции, что обосновало необходимость продолжения работы по сбору, анализу санитарно-эпидемиологической и медико-демографической информации в разрезе отдельных территорий АЗРФ, а также дополнительной детализации этой информации.

С учетом вышесказанного было принято решение продолжить формирование ежегодных информационно-аналитических материалов, поэтому в 2018 году был подготовлен информационный бюллетень «Состояние здоровья населения и факторов среды обитания населения Арктической зоны Российской Федерации». При составлении данного бюллетеня был учтен предыдущий опыт создания Атласа.

Бюллетень содержал разделы:

- «Медико-демографические показатели»,
- «Неинфекционная заболеваемость населения»,
- «Инфекционная и паразитарная заболеваемость населения»,
- «Организация мониторинга факторов среды обитания»,
- «Характеристика состояния атмосферного воздуха»,
- «Характеристика состояния питьевого водоснабжения»,
- «Социально-экономические показатели».

Пример оформления и визуализации информации в Бюллетене 2018 г. представлен на рисунке 2.

Обновленный и актуализированный в 2019 году Бюллетень содержал весь объем ранее собранной информации, актуализированной и разделенной на 4 основных блока:

- «Медико-демографические показатели»,
- «Состояние заболеваемости населения АЗРФ»,
- «Состояние факторов среды обитания в АЗРФ»,
- «Социально-экономические показатели».

В Бюллетене 2019 г. особенно выделены

© A.A. Kovshov, V.N. Fedorov, N.A. Tikhonova, Yu.A. Novikova
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

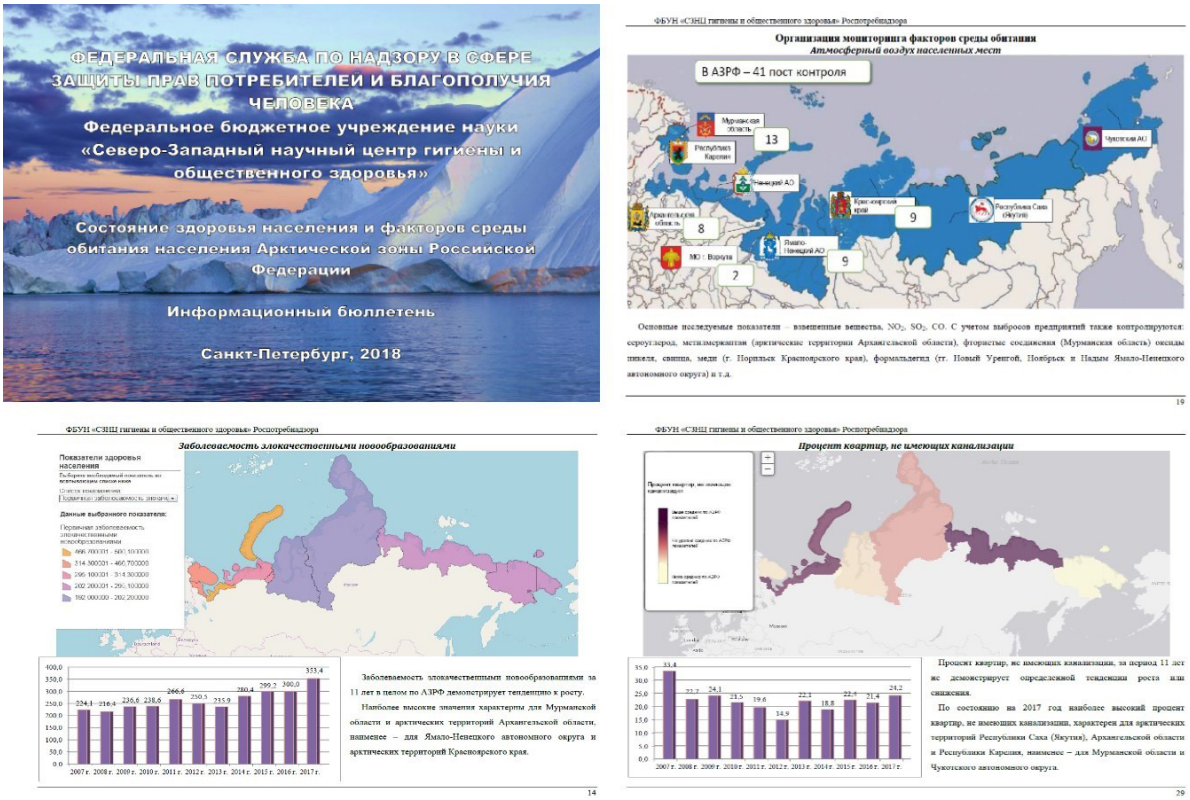

Рисунок 2 – Пример оформления и визуализации информации в информационном бюллетене «Состояние здоровья населения и факторов среды обитания населения Арктической зоны Российской Федерации» (2018 г.)

показатели, позволяющие выявить и оценить причинно-следственные связи между состоянием факторов среды обитания и здоровья населения и, таким образом, более точно оценить состояние санитарно-эпидемиологического благополучия населения в АЗРФ.

Пример оформления и визуализации информации в Бюллетене 2019 г. представлен на рисунке 3.

Учитывая цели и задачи национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», особую актуальность приобретает цифровизация различных отраслей экономики, науки и технологии. Для решения поставленных целей и задач необходима системная цифровая трансформация, позволяющая объединить множество фрагментарных цифровых решений по сбору и анализу больших объемов данных. При этом представляется необходимым разработка комплексного решения, при котором различные системы работают совместно для достижения общих целей [7, 8].

Применительно к целям и задачам санитарно-эпидемиологического благополучия населения в АЗРФ таким решением может служить единая цифровая платформа по сбору, систематизации и анализу медико-демографических, социально-экономических и санитарно-эпидемиологических данных, которая позволила бы оперативно анализировать большие объемы пространственно-привязанных данных с формированием управленческих решений. Наиболее подходящей основой для подобных решений представляется создание геоинформационной системы с современным веб-интерфейсом для широкого круга доступа [9, 10].

В 2018 году специалисты ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» начали работу по созданию информационного портала на основе геоинформационной системы, получившего название «Геоинформационный портал «Санитарно-эпидемиологическое благополучие населения в Арктической зоне Российской Федерации» [11, 12, 13].

Концепция информационного портала – Геопортала – построена на основе геоинформационной системы (ГИС), сервера базы данных и массива информации о факторах среды обитания населения, состояния здоровья населения, социально-экономических и медико-демогра-

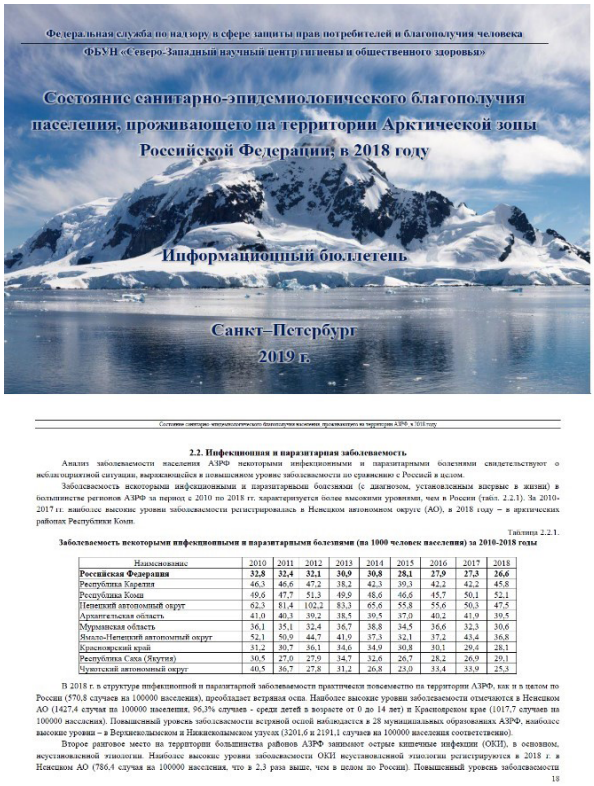

Рисунок 3 – Пример оформления и визуализации информации в информационном бюллетене «Состояние здоровья населения и факторов среды обитания населения Арктической зоны Российской Федерации» (2019 г.)

фических показателей с применением информационно-аналитического инструментария и методов пространственной обработки данных.

Геопортал создается как многоуровневая система сбора, хранения и анализа данных, которая реализуется на картографической основе и включает в себя:

- собственно картографическую часть («атлас» в традиционном понимании);
- различные пространственные объекты, связанные с картой;
- набор аналитических и расчетных методов;
- управленческие и экспертные решения на основе анализа данных.

В качестве программной среды для реализации технических возможностей геопортала и визуализации информации на картографической основе используется ГИС ArcGis в серверной версии ArcGis Server v.10.7 Advanced Enterprise. Для хранения и подгрузки баз данных (БД) в ГИС использована система управления базами данных (СУБД) серии SQL.

Визуальное представление Геопортала будет реализовано в виде веб-сайта сети Интернет с доступом через окно веб-браузера с настраиваемыми разноуровневыми правами.

В Геопортале будут реализованы слои (уровни представления) данных:

- АЗРФ в целом;
- субъекты в составе АЗРФ;
- муниципальные образования субъектов АЗРФ;
- населенные пункты;
- отдельные объекты: инфраструктурные, точечные и площадные (полигональные).

С учетом программных и аппаратно-технических возможностей планируется наполнение Геопортала следующим объемом и перечнем данных:

- демографические показатели - 19 показателей;
- состояние здоровья населения - свыше 2100 показателей;
- состояние среды обитания населения - свыше 1200 показателей;
- социально-экономические показатели территорий - более 20 показателей;
- качество продуктов питания - более 60 показателей;

© A.A. Kovshov, V.N. Fedorov, N.A. Tikhonova, Yu.A. Novikova
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

- природно-климатических данные и территориально-географические показатели;
- инфраструктурные и экономические показатели развития территорий.

Возможности Геопортала позволят осуществлять с учетом реальной и прогнозируемой санитарно-эпидемиологической обстановки:

1. Разработка генеральных схем развития территорий АЗРФ.
2. Планирование инвестиционных проектов.
3. Разработка мер по профилактике и снижению заболеваемости населения, в том числе профессиональной.
4. Разработка адресных социальных программ для различных групп населения.
5. Создание программ комплексного оздоровления территорий и обеспечения гигиенической и экологической безопасности населения.
6. Совершенствование системы ведения СГМ.
7. Возможность оперативного доступа к перечню медико-демографической и социально-экономической информации в режиме «онлайн» через интернет-портал для широкого круга уполномоченных организаций (органы власти, медицинские организации, органы и учреждения Роспотребнадзора и др.).

Учитывая значительный объем данных, планируемый к размещению, хранению и визуализации, настоящая работа предполагается как многолетняя, направленная на систематический сбор новых сведений, анализ имеющихся данных и расширение перечня показателей, что, по мнению авторов, должно позволить выявлять причинно-следственные связи и корреляции между различными факторами (группами факторов) и состоянием здоровья населения.

Создаваемый Геопортал должен стать, с одной стороны, информационно-аналитической системой с обширной базой данных факторов среды обитания и состояния здоровья населения, а с другой – эффективным инструментом оценки санитарно-эпидемиологической обстановки населения АЗРФ в целом и на отдельно взятых территориях с широким перечнем функций пространственного анализа, что в совокупности будет служить инструментом для обоснования принятия управленческих решений [13].

В настоящее время ведется активная работа по созданию программной структуры Геопортала на сервере ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья». Параллельно продолжается сбор данных о среде обитания и состояния здоровья населения.

Заключение.

Дальнейшее совершенствование системы СГМ на территории АЗРФ требует включения в программу мониторинга дополнительных показателей, характеризующих экспозицию и восприимчивость наиболее уязвимых групп арктического населения к вредным и опасным факторам арктической среды обитания. Очевидна также необходимость разработки математических моделей оценки, прогнозирования и управления рисками нарушений здоровья арктического населения и его санитарно-эпидемиологической безопасности.

Поэтому представляется необходимым внедрение в практическую деятельность органов и учреждений Роспотребнадзора современных программных продуктов на основе геоинформационных систем, формирование и реализацию межрегионального социально-гигиенического мониторинга. Это также позволит осуществлять оценку качества и интегрирование информации, получаемой из различных информационных ресурсов и выработать комплексный подход к разработке конкретных мероприятий по улучшению здоровья населения и среды обитания.

Список литературы:

1. Горбанев С.А. Основные направления и задачи научных исследований ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия на территории Арктической зоны Российской Федерации // Проблемы сохранения здоровья и обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Арктике. Материалы научно-практической конференции с международным участием / под ред. д.м.н. С.А. Горбанева, д.м.н. Н.М. Фроловой. СПб.: Изд-во ООО «ИПК «Коста», 2017. С. 8-13.
2. Атлас санитарно-эпидемиологической обстановки в Арктической зоне Российской Федерации / под ред. С.А. Горбанева. URL: http://s-znc.ru/wp-content/uploads/2017/05/%D0%90%D1%82%D0%BB%D0%B0%D1%81.pdf (02.10.2020).
3. Чащин В.П., Гудков А.Б., Попова О.Н., и др. Характеристика основных факторов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике // Экология человека. 2014. № 1. С. 3–12.
4. Говорова Н.В. Российская Арктика: социально-демографический профиль // Народонаселение. 2017. №2 (76). С. 112-118. (02.10.2020).
5. Шестакова Е.Н. Проблема доступа к чистой питьевой воде в Арктической зоне Российской Федерации // Третьи Виноградовские чтения. Грани гидрологии. Сб. докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского гидролога Юрия Борисовича Виноградова / Под ред. О.М. Макарьевой. СПб.: Изд-во «Наукоемкие технологии», 2018. С. 488–492.
6. Смиренникова Е.В., Уханова А.В., Воронина Л.В. Оценка состояния окружающей среды и обеспечения экологической безопасности в российской Арктике // Управленческое консультирование. 2018. №9 (117). С. 59-78.
7. Онищенко Г.Г., Зайцева Н.В., Май И.В. и др. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития /под общ. ред. Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцевой. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. 738 с.
8. Зайцева Н.В., Май И.В., Кирьянов Д.А., и др. Социально-гигиенический мониторинг на современном этапе: состояние и перспективы развития в сопряжении с рискориентированным надзором. Анализ риска здоровью. 2016; 4. Available at: http://journal.fcrisk.ru/sites/journal.fcrisk.ru/files/ upload/article/197/health-risk-analysis-2016-4-1.pdf (26.08.2020).
9. Кузьмин С.В., Гурвич В.Б., Диконская О.В., и др. Социально-гигиенический мониторинг – интегрированная система оценки и управления риском для здоровья населения на региональном уровне // Гигиена и санитария. 2013. № 1. С. 30-32.
10. Карелин А.О., Ломтев А.Ю., Горбанёв С.А., и др. Применение географических информационных систем для совершенствования санитарно-эпидемиологического надзора и социально-гигиенического мониторинга // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96, № 7. С. 620-622.
11. Горбанев С.А., Федоров В.Н., Ковшов А.А. Геоинформационный портал «Санитарно-эпидемиологическое благополучие населения в Арктической зоне Российской Федерации» как перспективный инструмент для комплексной оценки состояния факторов среды обитания и здоровья населения российской Арктики // Российская Арктика. 2019. № 6. С. 8-13.
12. Горбанев С.А., Куличенко А.Н., Федоров В.Н., и др. Организация межрегиональной системы мониторинга с использованием ГИС-технологий на примере арктической зоны Российской Федерации // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97, № 12. С. 1133-1140.
13. Горбанев С.А., Федоров В.Н., Тихонова Н.А. О состоянии и совершенствовании управления санитарно-эпидемиологическим благополучием в Арктической зоне Российской Федерации // Экология человека. 2019. № 10. С. 4-14.

© A.A. Kovshov, V.N. Fedorov, N.A. Tikhonova, Yu.A. Novikova
This in an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

References:

1. Gorbanev S.A. The main directions and tasks of scientific research of the North-West Scientific Center for Hygiene and Public Health to ensure sanitary and epidemiological well-being in the Arctic zone of the Russian Federation. Problems of maintaining health and ensuring sanitary and epidemiological well-being of the population in the Arctic. Materials of the scientific-practical conference with international participation. Ed. S.A. Gorbanev, N.M. Frolova. St. Petersburg.: Publishing OOO IPK Kosta, 2017. P. 8-13. (in Russian)
2. Atlas of the sanitary and epidemiological situation in the Arctic zone of the Russian Federation. Ed. S.A. Gorbanev. URL: http://s-znc.ru/wp-content/uploads/2017/05/%D0%90%D1%82%D0%BB%D0%B0%D1%81.pdf (02.10.2020). (in Russian)
3. Chashchin V.P., Gudkov A.B., Popova O.N., et al. Description of main health deterioration risk factors for population living on territories of active natural management in the Arctic. Human Ecology. 2014; 1:3-12. (in Russian)
4. Govorova N.V. Russian Arctic: socio-demographic profile // Narodonaseleniye. 2017; 2(76):112-118. (in Russian)
5. Shestakova E.N. The problem of access to clean drinking water in the Arctic zone of the Russian Federation. Tret`i Vinogradovskiye chteniya. Grani hydrology. Sbornik dokladov mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii pamiati vydayushchegosia russkogo gidrologa Yuriya Borisovicha Vinogradova. Ed. O. M. Makaryev. St. Petersburg.: Publishing House "Naukoyomkiye tekhnologii", 2018. P. 488–492. (in Russian)
6. Smirennikova E.V., Ukhanova A.V., Voronina L.V. Estimation of the Environment State and Ensuring Environmental Security in the Russian Arctic. Administrative Consulting. 2018; 9(117):59-78. (in Russian)
7. Onishchenko G.G., Zaitseva N.V., May I.V., et al. Risk analysis of a healthy lifestyle in the strategy of state socio-economic development. Ed. G.G. Onishchenko, N.V. Zaitseva. Perm: Publishing house Perm National researched Polytechnic University, 2014. 738 p. (in Russian)
8. Zaitseva N.V., May I.V., Kir'yanov D.A., Goryaev D.V., Klein S.V. Current social-hygienic monitoring: present state and development outlook with respect to risk-based supervision. Analiz riska zdorov'yu [Health Risk Analysis]. 2016; 4. URL: http://journal. fcrisk.ru/sites/journal.fcrisk.ru/files/upload/article/197/health-riskanalysis-2016-4-1.pdf (26.08.2020). (in Russian)
9. Kuz'min S.V., Gurvich V.B., Dikonskaya O.V., et al. Social-hygienic monitoring – an integrated system of population health risk assessment and management on the regional level. Hygiene and sanitation [Gigiena i sanitariya]. 2013; 1:30-32. (in Russian)
10. Karelin A.O., Lomtev A.Yu., Eremin G.B., et al. The use of geographic information systems (GIS) for improving sanitary-epidemiological surveillance and socio-hygienic monitoring. Hygiene and sanitation [Gigiena i sanitariya]. 2017; 96(7):620-622. (in Russian)
11. Gorbanev S.A., Fedorov V.N., Kovshov A.A. GISs portal «Sanitary and epidemiological welfare of the population in the Russian Arctic» as a promising tool for a comprehensive assessment of the state of environmental factors and the health of the population of the Russian Arctic. Rossiiskaya Arktika. 2019; 6:8-13. DOI: 10.24411/2658-4255-2019-10061(in Russian)
12. Gorbanev S.A., Kulichenko A.N., Fedorov V.N., et al. Organization of an interregional monitoring system using gis technologies by the example of Russian Federation Arctic Zone. Hygiene and sanitation [Gigiena i sanitariya]. 2018; 97(12):1133-1140. (in Russian)
13. Gorbanev S.A., Fedorov V.N., Tikhonova N.A. State and improvement of sanitary and epidemiological welfare management in the Russian Arctic. Human Ecology. 2019; 10:4-14. (in Russian)

«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.