

ISSN (Online): 2658-4255

RUSSIAN ARCTIC

russian-arctic.info

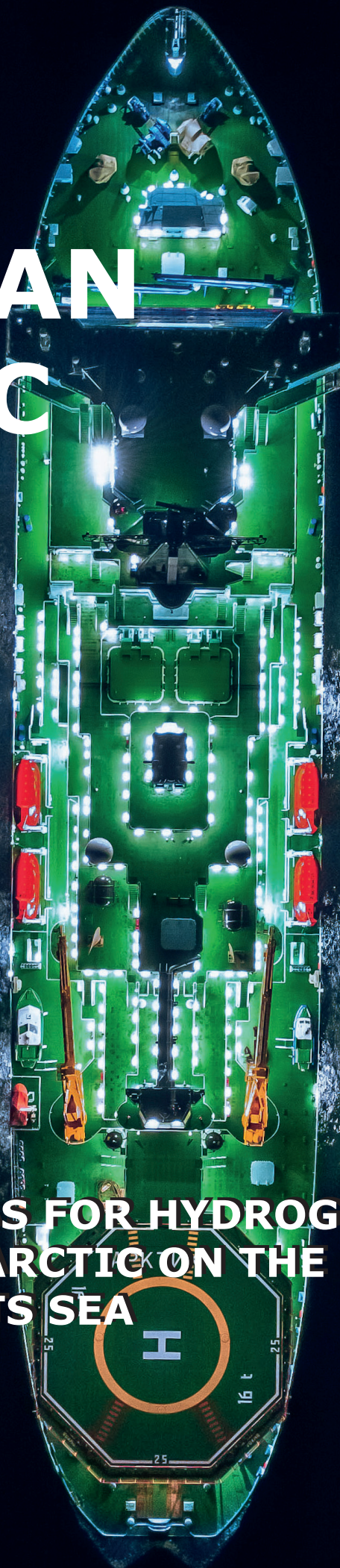
#4(19)/2022



OCEANOLOGY

WEATHER ATLAS FOR HYDROGRAPHIC WORK IN THE ARCTIC ON THE EXAMPLE OF THE BARENTS SEA

Photo: Yan Silchenko



RUSSIAN ARCTIC № 4 (19) 2022 SCIENTIFIC PEER-REVIEWED JOURNAL

CHIEF EDITOR
KIRA ZMIEVA

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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



EDITORIAL STAFF

Science editor
Tatiana Alekseeva (AARI)

Executive secretary
Marina Belikova

PR
Olga Chahovskaya

MANUSCRIPT SUBMISSION
info@arctic-centre.com

ADDRESS
101000, Moscow, Armenian lane,
9/1/1 bld., room 319/44

MASS MEDIA registration

ЭЛ №ФЦ77-72859 от 22 мая 2018 года

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

CEO
Yu.V. Belikova

THE EDITORIAL THANKS
reviewers and editorial board members
for help in preparing this issue



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

Issue date: 29.12.2022



CONTENTS

- 04** EDITORIAL
- 05** ANALYSIS OF POPULATION HEALTH IN RELATION TO DRINKING WATER AFTER QUALITY IN MURMANSK OBLAST
Kovshov A.A., Novikova Yu.A., Myasnikov I.O., Tikhonova N.A., Fedorov V.N., Isaev D.S.
- 17** PROJECT OF THE BUILDING INTELLIGENT LIGHTING SYSTEM OF THE ARCTIC ZONE UNIVERSITY IN THE DIGITAL ECONOMY
Osipova E.E., Potoshina L.E., Shchukina A.A.
- 34** WEATHER ATLAS FOR HYDROGRAPHIC WORK IN THE ARCTIC ON THE EXAMPLE OF THE BARENTS SEA
Sharonov A.Yu., Shmatkov V.A.
- 53** ESTIMATION OF VARIABILITY OF THE RATIO OF TOTAL NITROGEN AND TOTAL PHOSPHORUS CONCENTRATIONS IN MARGINAL FILTERS OF TIDAL ESTUARIES OF THE WHITE AND BARENTS SEAS
Miskevich I.V., Korobov V.B.
- 61** SOUR MILK FREEZE-DRIED PRODUCTS FOR THE POPULATION WORKING IN THE FAR NORTH
Krasnova I.S., Semenov G.V., Guchok Zh.L.

У ВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!



Перед вами очередной выпуск журнала «Российская Арктика»! И сегодня, в канун нового 2023 года, мне хотелось бы поговорить о трудоемкой и кропотливой работе рецензентов научного журнала. На поверхности – яркая обложка и аккуратно сверстанные статьи, но предшествует выпуску огромная работа научных рецензентов и всей редакции. Каждая публикация проходит двойное, а иногда и тройное слепое рецензирование, в рамках которого не только дается оценка достоинств и недостатков научной статьи, но и ведется большая работа с каждым автором. Статья тщательно дорабатывается с целью грамотного донесения результатов научных изысканий до широкой аудитории. Зачастую рецензенты и автор не приходят к согласию, и статья вынужденно отклоняется, а иногда развернувшаяся научная дискуссия приводит к новым, более интересным результатам.

Рецензент – это всегда эксперт в предметной области оцениваемой статьи, обладающий самыми современными знаниями. Основными требованиями нашей редакции к рецензенту, кроме его высокой квалификации, является соблюдение основных этических принципов рецензирования, а именно: сохранение анонимности рецензирования, отсутствие предвзятости и предубеждений, уважение к работе автора и его суждениям.

Редакция журнала «Российская Арктика» искренне благодарна нашим экспертам-рецензентам, работающим всегда с полной отдачей и высокой ответственностью за результат. Вы делаете наш журнал по-настоящему качественным, отражающим новейшие результаты фундаментальных и прикладных исследований для нужд Арктики. Сегодня наш журнал, не только научное издание, но и дискуссионная площадка для ученых со всего мира, специализирующихся на исследованиях, разработке и внедрении инновационных решений в циркумполярном пространстве.

В преддверии Нового 2023 года я желаю вам новых открытий и достижений, успешных проектов и интересных целей!

*Всегда Ваш,
журнал «Российская Арктика»!*

*С уважением,
Главный редактор,
Кира Змиева*

Научная статья

УДК 614.7+614.2(470.21)

DOI: 10/24412/2658-4255-2022-4-05-16

Для цитирования:

А.А. Ковшов, Ю.А. Новикова, И.О. Мясников, Н.А. Тихонова, В.Н. Федоров, Д.С. Исаев
Анализ состояния здоровья населения во взаимосвязи с качеством питьевой воды в Мурманской области // Российская Арктика. 2022. № 19. С. 05–16

Получена: 05.10.2022

Принята: 16.11.2022

Опубликована: 28.11.2022







Финансирование.

Исследование не имело спонсорской поддержки. Исследование выполнялось в рамках научно-исследовательской работы рег.№121031300064-3.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ВО ВЗАИМОСВЯЗИ С КАЧЕСТВОМ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

А.А. Ковшов¹ , Ю.А. Новикова² , И.О. Мясников³ ,
Н.А. Тихонова⁴ , В.Н. Федоров⁵ , Д.С. Исаев⁶ 

¹ ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья», отдел исследований среды обитания и здоровья населения в АЗРФ, Санкт-Петербург, Россия; ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Минздрава России, кафедра гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены, Санкт-Петербург, Россия. К.м.н.

a.kovshov@s-znc.ru

² ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья», отдел исследований среды обитания и здоровья населения в АЗРФ, Санкт-Петербург, Россия

j.novikova@s-znc.ru

³ ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья», отдел анализа рисков здоровью населения, Санкт-Петербург, Россия. К.м.н.

i.myasnikov@s-znc.ru

⁴ ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья», отдел исследований среды обитания и здоровья населения в АЗРФ, Санкт-Петербург, Россия

n.tihonova@s-znc.ru

⁵ ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья», отдел исследований среды обитания и здоровья населения в АЗРФ, Санкт-Петербург, Россия

v.fedorov@s-znc.ru

⁶ ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья», отдел анализа рисков здоровью населения, Санкт-Петербург, Россия

d.isaev@s-znc.ru

Аннотация:

Введение. Питьевая вода является одним из важнейших факторов среды обитания, определяющим здоровье человека, что требует поиска причинно-следственных связей между загрязнением питьевой воды и повышенной заболеваемостью населения.







Материалы и методы исследования. Изучался уровень заболеваемости населения Мурманской области болезнями, ассоциированными с качеством питьевой воды. Анализировалось качество питьевой воды, проводился расчет канцерогенного риска, связанного с поступлением загрязняющих веществ из питьевой воды.

Результаты. Территориями неблагополучия по качеству питьевой воды являются г. Кировск и Печенгский район, приоритетные загрязнители питьевой воды – алюминий и никель. В Печенгском районе отмечается повышенная заболеваемость болезнями крови, органов пищеварения, нервной системы, кожи и подкожной клетчатки, а также женским бесплодием. Наиболее высокие уровни заболеваемости злокачественными новообразованиями регистрируются в г. Мурманске.

Выводы. Роль алюминия в формировании уровня заболеваемости населения г. Кировска не установлена. Воздействие никеля на здоровье населения Печенгского района может быть связано с развитием женского бесплодия, а при накожном действии – с развитием контактного дерматита, однако требуется уточнение вклада иных факторов риска, включая воздействие никеля и его соединений в рамках профессиональной деятельности. Влияние канцерогенов, присутствующих в питьевой воде, на формирование дополнительных случаев злокачественных новообразований в Мурманской области представляется незначительным.

Ключевые слова: качество питьевой воды, здоровье населения, причинно-следственные связи, Мурманская область

ANALYSIS OF POPULATION HEALTH IN RELATION TO DRINKING WATER QUALITY IN MURMANSK OBLAST

A.A. Kovshov¹ , Yu.A. Novikova² , I.O. Myasnikov³ ,
N.A. Tikhonova⁴ , V.N. Fedorov⁵ , D.S. Isaev⁶ 

¹ North-West Public Health Research Center, St.-Petersburg, Russian Federation; North-West State Medical University named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg, Russian Federation. Ph.D. medicine.

a.kovshov@s-znc.ru

² North-West Public Health Research Center, St.-Petersburg, Russian Federation

j.novikova@s-znc.ru

³ North-West Public Health Research Center, St.-Petersburg, Russian Federation. Ph.D. medicine.

i.myasnikov@s-znc.ru

⁴ North-West Public Health Research Center, St.-Petersburg, Russian Federation

n.tikhonova@s-znc.ru

⁵ North-West Public Health Research Center, St.-Petersburg, Russian Federation

v.fedorov@s-znc.ru

⁶ North-West Public Health Research Center, St.-Petersburg, Russian Federation

d.isaev@s-znc.ru

Abstract:

Introduction. Drinking water is one of the most important environmental factors that determines human health, which requires a search for causal relationships between drinking water pollution and increased incidence of the population.

Materials and methods. We studied the incidence level of Murmansk Oblast (Russia) population with diseases associated with the drinking water quality. We also analyzed the drinking water quality, and calculated the carcinogenic risk associated with the intake of pollutants from drinking water.

Results. The risk areas in terms of drinking water quality are the city of Kirovsk and Pechenga district, the priority pollutants of drinking water are aluminum and nickel. In Pechenga district, there is an increased incidence of the blood diseases, digestive organs, nervous system, skin and subcutaneous tissue, as well as female infertility. The highest incidence rates of malignant neoplasms are recorded in the city of Murmansk.

Conclusions. The aluminum role in the formation of the incidence level in the Kirovsk city population has not been established. The nickel impact on the health of the Pechenga district population may be associated with the development of female infertility and the development of contact dermatitis, in case of cutaneous action. However, the other risk factors contribution, including exposure to nickel and its compounds in the professional activities framework, needs to be clarified. The carcinogens influence present in drinking water on the additional cases formation of malignant neoplasms in Murmansk Oblast seems to be negligible.

Keywords: drinking water quality, public health, cause and effect relationships, Murmansk Oblast

Введение

Сохранение здоровья людей и обеспечение благоприятной окружающей среды остается в качестве одной из стратегических задач Российской Федерации¹. Среди причин, оказывающих негативное влияние на здоровье населения, до 30 % приходится на воздействие факторов окружающей среды [1]. В этой связи все большее значение стали приобретать вопросы санитарно-эпидемиологического благополучия населения, в том числе обусловленные водным фактором, его количественными и качественными характеристиками.

Питьевая вода является одним из важнейших факторов среды обитания, определяющим здоровье человека [2, 3, 4]. Некачественная питьевая вода может стать

¹ Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»

причиной возникновения инфекционных и паразитарных заболеваний, а также заболеваний неинфекционной природы [2, 5, 6, 7]. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) в качестве приоритетных химических веществ, для которых имеются прямые доказательства воздействия на здоровье человека через питьевую воду (с учетом сравнительно низких концентраций и поглощенных доз), выделяет мышьяк, фториды, нитраты, свинец и марганец. Поэтому к числу болезней, потенциально связанных с избыточным (реже недостаточным) содержанием химических веществ в питьевой воде, в первую очередь относятся отравление мышьяком, отравление свинцом, флюороз, метгемоглобинемия и анемия. Тем не менее, на региональном уровне другие вещества в повышенных концентрациях также могут рассматриваться как потенциальные источники вреда здоровью человека. Кроме того, некоторые химические вещества в питьевой воде не оказывают существенного влияния на риски здоровью населения (например, повышенные концентрации железа), но при этом ухудшают потребительские свойства воды. Это может привести к тому, что потребители откажутся от такой питьевой воды и будут использовать эстетически более приемлемую воду, но потенциально менее безопасную [8].

По данным исследований в питьевой воде ряда населенных пунктов Мурманской области отмечается превышение гигиенических нормативов концентраций алюминия, железа, никеля, хлороформа и других веществ², что создает предпосылки к увеличению риска нарушений здоровья, связанных с поступлением данных веществ в организм человека в составе питьевой воды [9]. Следует отметить, что Мурманская область находится на первом месте среди субъектов Российской Федерации, где значения целевого показателя, запланированные федеральным проектом «Чистая вода» на 2021 г., не достигнуты³. Помимо этого, Мурманская область находится на втором месте (после Томской области) по показателю удельного веса водопроводов (57,97%), не соответствующих требованиям санитарного законодательства из-за отсутствия необходимого комплекса очистных сооружений.

Заболеваемость населения в Мурманской области по всем классам болезней, усредненная за 2007-2019 гг., характеризуется незначительным (в 1,07 раза) превышением средних российских уровней заболеваемости. Вместе с тем, в Мурманской области выделяются территории неблагополучия, характеризующиеся значительным превышением областного уровня по показателям первичной заболеваемости: Ковдорский и Кольский районы, а также города Мурманск, Кировск [10].

Целью исследования является поиск возможных причинно-следственных связей между загрязнением питьевой воды и повышенной заболеваемостью населения муниципальных образований Мурманской области.

Материалы и методы

Использовались результаты ведения социально-гигиенического мониторинга в Мурманской области за 2016-2020 гг. по разделам «Здоровье населения» и «Питьевая вода систем централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения». Изучался уровень заболеваемости населения Мурманской области в целом и отдельно по муниципальным районам нозологическими формами и классами болезней, потенциально связанными с потреблением питьевой воды [8]. Анализировались результаты лабораторных исследований качества питьевой воды в точках мониторинга перед подачей в распределительную сеть и в распределительной сети населенных пунктов Мурманской области, проводимых в 2016-2020 гг.⁴: оценивалось соответствие гигиеническим нормативам значений микробиологических, органолептических, обобщенных показателей и концентраций химических веществ, согласно методике⁵ проводился расчет значений канцерогенного риска, связанного с поступлением химических веществ из питьевой воды: хлороформ, свинец, бромдихлорметан, дибромхлорметан. Дополнительно анализировалась заболеваемость населения Мурманской области, в том числе в разрезе муниципальных районов, по формам федерального статистического наблюдения № 7 «Сведения о злокачествен-

2 О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Мурманской области в 2021 году: материалы для гос. доклада / под ред. Главного государственного санитарного врача по Мурманской области Сергеева А.А. Мурманск: Управление Роспотребнадзора по Мурманской области, 2022. 212 с.

3 О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2021 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2022. 340 с.

4 Свидетельство о гос. регистрации базы данных № RU2022622066. Российская Федерация. Результаты исследований питьевой воды централизованных систем водоснабжения Мурманской области для комплексного анализа и оценки риска здоровью населения: (RU) – № 2022621824: заявлено: 22.07.2022; опубликовано 17.08.2022. Бюл. № 8. / Новикова Ю.А., Тихонова Н.А., Федоров В.Н., Ковшов А.А., Мясников И.О.; заявитель и правообладатель Федеральное бюджетное учреждение науки «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» (ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья»)

5 Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду

ных новообразований», № 12 «Сведения о числе заболеваний, зарегистрированных у пациентов, проживающих в районе обслуживания медицинской организации» за 2016-2020 гг., а также формы отраслевого статистического наблюдения № 23-09 «Сведения о вспышках инфекционных заболеваний». Материалы исследования предоставлены Управлением Роспотребнадзора по Мурманской области. Помимо этого использовались материалы базы данных о злокачественных новообразованиях в Мурманской области⁶.

Проводилось усреднение уровней заболеваемости за 2016-2020 гг. с последующим расчетом заболеваемости на 100000 населения всех возрастов. Определялись территории неблагополучия по концентрации загрязняющих веществ в питьевой воде и уровню заболеваемости. Для углубленного анализа заболеваемости злокачественными новообразованиями выбраны города Мурманск и Оленегорск, Кольский район как муниципальные образования, характеризующиеся максимальными концентрациями хлороформа и других канцерогенов в питьевой воде.

Результаты

По данным формы отраслевого статистического наблюдения № 23-09 «Сведения о вспышках инфекционных заболеваний» водный путь распространения инфекционных и паразитарных болезней не установлен ни для одной вспышки. Согласно материалам государственного доклада о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия в Мурманской области загрязнение питьевой воды ряда населенных пунктов Мурманской области химическими веществами (главным образом, никелем, алюминием и хлороформом) создает предпосылки к увеличению риска развития болезней крови и кроветворных органов, болезней нервной системы и новообразований.

По результатам лабораторных исследований в 2016-2020 гг. питьевая вода в населенных пунктах области не соответствовала гигиеническим нормативам по содержанию железа, алюминия, никеля, хлороформа и др. По состоянию на 2020 год (табл. 1) наивысшая максимальная кратность превышений ПДК отмечается в отношении железа, алюминия и никеля.

Таблица 1

Максимальная кратность превышения гигиенических нормативов химических веществ в питьевой воде населенных пунктов Мурманской области в 2020 году

Населенный пункт	Наименование химического вещества	Максимальная кратность превышения ПДК
городской округ город Кировск		
город Кировск	Алюминий (Al, суммарно)	11,0
городской округ город Мурманск		
город Мурманск	Бензол	1,3
	Железо	2,7
	Хлороформ	1,3
город Мончегорск	Никель	2,5
городской округ город Оленегорск		
город Оленегорск	Хлороформ	1,5
городской округ ЗАТО город Североморск		
город Североморск	Железо	9,7
нп Сафоново-1	Железо	3,5
нп Североморск-3	Железо	1,5
нп Щукозеро	Железо	1,3
пгт Сафоново	Железо	1,8

⁶ Свидетельство о гос. регистрации базы данных № RU2022620903. Российская Федерация. Сведения о злокачественных новообразованиях, зарегистрированных в муниципальных образованиях Мурманской области в 2016-2020 гг.: (RU) – № 2022620730: заявлено: 11.04.2022; опубликовано 20.04.2022. Бюл. № 4. / Ковшов А.А., Новикова Ю.А., Федоров В.Н., Тихонова Н.А., Мясников И.О.; заявитель и правообладатель Федеральное бюджетное учреждение науки «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» (ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья»)

Населенный пункт	Наименование химического вещества	Максимальная кратность превышения ПДК
городской округ ЗАТО поселок Видяево		
п. Видяево	Железо	1,3
Кандалакшский район		
город Кандалакша	Железо	3,1
	Хлороформ	1,4
ж/д ст Пиозеро	Железо	3,6
нп Белое Море	Железо	1,1
нп Зареченск	Железо	2,0
пгт Зеленоборский	Железо	1,1
с. Алакуртти	Железо	1,5
	Марганец	2,7
с. Лувеньга	Железо	2,2
Ковдорский муниципальный округ		
нп Енский	Железо	1,7
нп Куропта	Железо	2,0
нп Лейпи	Железо	1,2
с. Ена	Железо	1,9
Кольский муниципальный район		
ж/д ст Лопарская	Железо	5,0
	Хлороформ	1,8
нп Зверосовхоз	Железо	45,3
нп Килпъявр	Железо	1,2
нп Междуречье	Железо	1,4
нп Мишуково	Железо	11,7
нп Пушной	Железо	1,4
	Хлороформ	1,2
нп Шонгуй	Железо	3,3
пгт Верхнетуломский	Железо	1,2
пгт Кильдинстрой	Железо	4,0
пгт Мурмаши	Алюминий	1,6
с. Минькино	Железо	5,0
	Хлороформ	1,3
с. Териберка	Железо	7,3
	Марганец	2,2
с. Тулома	Железо	1,1
с. Ура-Губа	Железо	1,8
Печенгский муниципальный район		
город Заполярный	Никель	7,5
пгт Никель	Никель	7,0
Терский район		
пгт Умба	Железо	2,2

По данным исследований 2016-2020 гг. территориями неблагополучия по загрязнению питьевой воды, характеризующимися наиболее высоким удельным весом проб, не соответствующих гигиеническим нормативам химических веществ (за исключением железа), являются:

- г. Кировск (алюминий);
- пгт Никель и г. Заполярный Печенгского района (никель);
- г. Мурманск, г. Оленегорск и Кольский район (хлороформ).

В то же время территориями неблагополучия по повышенным уровням заболеваемости и/или смертности, согласно материалам государственного доклада о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Мурманской области, являются:

1. Заболеваемость болезнями крови, кроветворных органов: взрослые – Ковдорский, Кольский и Терский районы; дети – г. Мурманск, Ковдорский, Ловозерский и Терский районы.

2. Заболеваемость болезнями нервной системы: взрослые – Ковдорский, Ловозерский и Печенгский районы; дети – г. Мурманск, Кольский и Печенгский районы.

3. Заболеваемость новообразованиями: взрослые – г. Апатиты, Ковдорский, Кольский, Кандалакшский и Ловозерский районы; дети – г. Мурманск, г. Апатиты.

Можно констатировать совпадение территорий неблагополучия по загрязнению питьевой воды никелем и развитием болезней нервной системы у детей и взрослых в Печенгском районе, а также частичное совпадение территорий неблагополучия по загрязнению питьевой воды хлороформом и развитием новообразований. Несмотря на несовпадение территорий неблагополучия по содержанию в питьевой воде алюминия и уровню заболеваемости приоритетными болезнями населения г. Кировск, а также отсутствие подобной связи в отношении никеля и иных приоритетных форм болезней среди населения Печенгского района, было проведено углубленное изучение заболеваемости населения отдельными болезнями, ассоциированными с качеством питьевой воды [8].

В ходе анализа заболеваемости установлено, что усредненная за 5 лет (с 2016 по 2020 гг.) первичная заболеваемость населения Печенгского района болезнями крови, органов пищеварения, нервной системы, кожи и подкожной клетчатки, а также женским бесплодием превышает областной уровень заболеваемости, однако заболеваемость болезнями мочеполовой системы, а в г. Кировск – дегенеративными болезнями нервной системы и атопическим дерматитом находится на сопоставимом или более низком уровне по сравнению с Мурманской областью в целом (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика заболеваемости населения Печенгского района и г. Кировск Мурманской области отдельными болезнями, ассоциированными с качеством питьевой воды (усредненные показатели заболеваемости за 2016-2020 гг.)

Муниципальные образования Мурманской области	Класс болезней и отдельные нозологические формы	Уровень заболеваемости (случаев на 100000 населения)	Кратность превышения областного показателя заболеваемости
Печенгский район	болезни системы крови	337,5	1,11
	болезни нервной системы	1762,5	1,27
	болезни кожи и подкожной клетчатки	7221,3	1,59
	контактный дерматит	1509,4	1,51
	экзема	314,2	0,49
	болезни органов пищеварения	3300,2	1,13
	болезни мочеполовой системы	5312,3	0,89
	гломерулярные, тубулоинтерстициальные и другие болезни почек и мочеточника	232,2	0,93
	женское бесплодие	3936,7	1,33
город Кировск	дегенеративные болезни нервной системы	3,67	1,03
	атопический дерматит	371,4	0,59

Установлено, что основной вклад в суммарный канцерогенный риск (более 90%), связанный с потреблением питьевой воды, вносит хлороформ. Согласно материалам Агентства по охране окружающей среды США злокачественными новообразованиями, потенциально связанными с пероральным поступлением хлороформа из питьевой воды, являются злокачественные опухоли печени, почек, мочевого пузыря и толстой кишки⁷.

За период с 2016 по 2020 гг. в г. Мурманск заболеваемость злокачественными новообразованиями по сравнению с Мурманской областью повышена в 1,40 раза (г. Мурманск – 626,7, Мурманская область – 446,0 на 100000 населения в среднем за 2016-2020 гг.). Характеристика заболеваемости злокачественными новообразованиями в г. Мурманск, потенциально связанными с воздействием хлороформа в питьевой воде, приведена в табл. 3.

Таблица 3

Характеристика заболеваемости злокачественными новообразованиями в г. Мурманск и Мурманской области (усредненные показатели заболеваемости за 2016-2020 гг.)

Локализация злокачественных новообразований	г. Мурманск (случаев на 100000 населения)	Мурманская область (случаев на 100000 населения)	Кратность превышения (Мурманск/Мурманская область)
печень	7,4	6,4	1,16
почка	36,3	24,9	1,46
мочевой пузырь	16,4	12,6	1,30
ободочная кишка	48,2	33,4	1,44
прямая кишка	28,5	22,5	1,27
все локализации	626,7	446,0	1,41

В г. Оленегорск заболеваемость злокачественными новообразованиями по сравнению с Мурманской областью ниже в 1,13 раза (Оленегорск – 394,7, Мурманская область – 446,0 на 100000 населения в среднем за 2016-2020 гг.). Характеристика заболеваемости злокачественными новообразованиями в г. Оленегорск, потенциально связанными с воздействием хлороформа в питьевой воде, приведена в табл. 4.

Таблица 4

Характеристика заболеваемости злокачественными новообразованиями в г. Оленегорск и Мурманской области (усредненные показатели заболеваемости за 2016-2020 гг.)

Локализация злокачественных новообразований	г. Оленегорск (случаев на 100000 населения)	Мурманская область (случаев на 100000 населения)	Кратность превышения (Оленегорск/Мурманская область)
печень	6,7	6,4	1,05
почка	18,4	24,9	0,74
мочевой пузырь	10,9	12,6	0,87
ободочная кишка	27,7	33,4	0,83
прямая кишка	20,9	22,5	0,93
все локализации	394,7	446,0	0,88

Заболеваемость злокачественными новообразованиями в Кольском районе по сравнению с Мурманской областью повышена в 1,17 раза (Кольский район – 523,5, Мурманская область – 446,0 на 100000 населения в среднем за 2016-2020 гг.). Характеристика заболеваемости злокачественными новообразованиями в г. Мурманск, потенциально связанными с воздействием хлороформа в питьевой воде, приведена в табл. 5.

Уровень заболеваемости злокачественными новообразованиями в Печенгском районе в 2016-2020 гг. составил 328,2 случая на 100000 населения, что в 1,36 раза ниже, чем в среднем по области, а в г. Кировск – 444,6 случаев на 100000 населения, что практически не отличается от заболеваемости в Мурманской области в целом.

В населенном пункте Сафоново-1 (г. Североморск), где имеется наиболее высокий на территории Мурманской области канцерогенный риск, связанный с поступлением в организм канцерогенов из питьевой воды ($2,29 \cdot 10^{-5}$), отдельного статистического учета заболеваемости не ведется. Вместе с тем, в г. Североморск заболеваемость

⁷ Chloroform. CAS No. 67-66-3: Substance Profiles / EPA (USA): Report on carcinogens, Eleventh edition. 2021. URL: https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-03/documents/chloroform_substance_profile_3v.pdf (ссылка активна на 01.09.2022)

злокачественными новообразованиями находится на самом низком в Мурманской области уровне – 262,8 случаев на 100000 населения в среднем за 2016-2020 гг., что в 1,7 раза ниже, чем в среднем по области.

Таблица 5

Характеристика заболеваемости злокачественными новообразованиями в Кольском районе и Мурманской области (усредненные показатели заболеваемости за 2016-2020 гг.)

Локализация злокачественных новообразований	Кольский район (случаев на 100000 населения)	Мурманская область (случаев на 100000 населения)	Кратность превышения (Кольский район / Мурманская область)
печень	6,4	6,4	1,00
почка	26,4	24,9	1,06
мочевой пузырь	16,6	12,6	1,32
ободочная кишка	41,5	33,4	1,24
прямая кишка	28,4	22,5	1,26
все локализации	523,5	446,0	1,17

Обсуждение результатов

Основными причинами высокого содержания железа в питьевой воде, которое характерно для большинства муниципальных образований Мурманской области, являются изношенность коммуникаций и повышенное природное содержание органических форм железа в воде поверхностных водоисточников. Повышенные концентрации алюминия и хлороформа в питьевой воде обусловлены нарушениями технологии водоподготовки, за исключением питьевой воды г. Кировска, где алюминий содержится в повышенных концентрациях в связи с его высоким содержанием в местных породах [9]. Повышенное содержание никеля в питьевой воде населенных пунктов Печенгского района, согласно материалам государственного доклада о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Мурманской области, связано с антропогенным загрязнением поверхностных водоисточников за счет техногенного поступления со сточными водами цехов никелирования, никелевых обогатительных фабрик.

Лимитирующий показатель вредности, с учетом которого установлена ПДК железа в питьевой воде (0,3 мг/л) – органолептический, поэтому повышенные концентрации железа в питьевой воде позволяют говорить лишь о низком потребительском качестве воды, а не о повышенном риске нарушений здоровья [9].

Согласно данным ВОЗ [8, 11] у людей пероральное (в том числе с питьевой водой) поступление никеля может привести к развитию болезней крови, кроветворных органов и отдельных нарушений, вовлекающих иммунный механизм, болезней органов пищеварения, болезней нервной системы, а также болезней кожи и подкожной клетчатки (в случае сенсibilизации к никелю). Помимо этого, в опытах на лабораторных животных воздействие растворимых солей никеля приводило к развитию нефротоксичности, а также неблагоприятных последствий для репродуктивной системы и развития (главным образом, повышенной неонатальной смертности). Печенгский район является территорией неблагоприятия по болезням крови, органов пищеварения и нервной системы, которые потенциально связаны с действием никеля. Следует отметить, что по данным ВОЗ, опубликованным в 2021 году [11], неврологические эффекты и воздействие на систему пищеварения при пероральном поступлении никеля характерны в первую очередь для острого воздействия, то есть при воздействии чрезвычайно больших доз никеля, что невозможно при его пероральном поступлении с питьевой водой.

При пероральном поступлении развитие болезней кожи и подкожной клетчатки от действия никеля является маловероятным, хотя описаны случаи развития дерматитов при пероральном поступлении никеля у лиц, ранее сенсibilизированных к никелю [8, 11]. Однако возможность развития болезней кожи при прямом кожном воздействии никеля, в том числе растворенными в воде соединениями никеля, не вызывает вопросов [8]. Типичными нозологическими формами воздействия никеля на кожу являются контактный дерматит и экзема. Первичная заболеваемость контактным дерматитом в Печенгском районе в 1,51 раза выше, чем в целом по области, тогда как усредненная первичная заболеваемость экземой в 2,03 раза ниже, чем в целом по Мурманской области. Роль никеля в питьевой воде Печенгского района как вещества, ассоциированного с повышенной заболеваемостью болезнями кожи, в том числе контактным дерматитом, нуждается в уточнении, так как в условиях загряз-

нения других сред обитания, включая производственную среду, создаются условия для сенсбилизации населения Печенгского района к никелю, но одновременно с этим не исключаются и иные причины развития болезней кожи, включая накожное действие никеля в связи с профессиональной деятельностью.

За 2016-2020 гг. в Печенгском районе был установлен лишь один случай мужского бесплодия, однако уровень первичной заболеваемости женским бесплодием (N97 по МКБ-10) оказался в 1,33 раза выше, чем в среднем по области. Как и в случае с повышенной заболеваемостью болезнями кожи, требуется уточнение вклада иных факторов риска в развитие женского бесплодия, в том числе определение роли экспозиции к никелю при других (помимо питьевой воды) путях его поступления в организм.

Существует мало указаний на то, что алюминий при пероральном приеме является остро токсичным для человека. Описан лишь один случай, когда в 1988 году около 20 000 человек в Кэмелфорде (Великобритания) не менее 5 дней подряд подвергались воздействию повышенной концентрации алюминия в питьевой воде, что было связано с аварийным выбросом сульфата алюминия в систему водоснабжения. Среди жителей были отмечены тошнота, рвота, диарея, язвы во рту, кожные язвы, кожная сыпь и боль в суставах, однако эти симптомы, как правило, были легкими и кратковременными [8, 12]. Хроническое воздействие алюминия, содержащегося в питьевой воде, скорее всего, не может привести к причинению значимого вреда здоровью. Тем не менее, экспертами ВОЗ было высказано предположение, что воздействие алюминия является фактором риска развития или ускорения начала болезни Альцгеймера у людей. Кроме того, имеются ограниченные данные и о роли алюминия в развитии атопического дерматита [8, 12].

Заболеваемость дегенеративными болезнями нервной системы (G30-G31 по МКБ-10) в г. Кировск за 2016-2020 гг. находится на сопоставимом с областными цифрами уровне заболеваемости, при этом с 2019 года, когда стал проводиться отдельный статистический учет заболевших болезнью Альцгеймера, в г. Кировск не было зарегистрировано ни одного случая заболевания. Заболеваемость атопическим дерматитом населения г. Кировск находится на более низком (в 1,69 раза) уровне по сравнению с областными показателями.

Анализ заболеваемости болезнями нервной системы, а также кожи и подкожной клетчатки в г. Кировск позволяет говорить об отсутствии значимого влияния повышенных концентраций алюминия в питьевой воде на здоровье населения. Это подтверждается тем, что согласно современным критериям ВОЗ [8] безопасная концентрация алюминия в питьевой воде составляет 0,9 мг/л исходя из распределения 20% суточной дозы алюминия на питьевую воду при условии, что взрослый человек весом 60 кг выпивает 2 литра воды в день, тогда как среднегодовая концентрация алюминия в питьевой воде г. Кировска составляет 0,31 мг/л, а максимальная концентрация 98%-й вероятностной обеспеченности – 0,77 мг/л.

Среди веществ, актуальных для большинства муниципальных образований Мурманской области, поступающих в организм человека с питьевой водой и обладающих доказанным канцерогенным действием, в первую очередь следует выделить хлороформ. Однако Печенгский район и г. Кировск, как наиболее неблагоприятные по качеству питьевой воды территории Мурманской области, по данным исследований за 2016-2020 гг. не являются территорией неблагоприятия по концентрации хлороформа в питьевой воде. Наиболее существенное превышение заболеваемости злокачественными новообразованиями, потенциально связанными с поступлением в организм хлороформа из питьевой воды, отмечается в г. Мурманск. В Кольском районе повышена заболеваемость по локализациям, связь которых с действием хлороформа окончательно не доказана [11], тогда как заболеваемость злокачественными новообразованиями печени и почек находится на сопоставимом с областью уровне. В г. Оленегорск заболеваемость ниже или находится на уровне, сопоставимом с областным.

Следует особо отметить, что наличие повышенной заболеваемости злокачественными новообразованиями в г. Мурманск и Кольском районе не является прямым доказательством причинно-следственной связи между поступлением хлороформа (а также других канцерогенов) в питьевой воде и развитием злокачественных новообразований, поскольку суммарный канцерогенный риск на территории муниципальных образований Мурманской области, связанный с потреблением питьевой воды, не превышает $2,29 \cdot 10^{-5}$ (г. Североморск, н.п. Сафоново-1), что, согласно критериям Р 2.1.10.1920-04 свидетельствует о приемлемой величине риска (менее 10^{-4} , но более 10^{-6}) для населения.

Канцерогенное действие никеля, повышенные концентрации которого обнаруживаются в питьевой воде населенных пунктов Печенгского района, нуждается в уточнении⁸, так как несмотря на то, что металлический никель при ингаляционном

8 List of Classifications Agents classified by the IARC Monographs, Volumes 1–132 / IARC. URL: <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications> (доступно по ссылке на 01.09.2022)

воздействии является вероятным канцерогеном (группа 2В по классификации Международного агентства по изучению рака) [13], доказательств существования канцерогенной активности никеля при пероральном воздействии недостаточно [8, 14]. Кроме того, существуют иные неучтенные в данной работе значимые факторы канцерогенного риска, не связанные с потреблением питьевой воды, которые могут оказать существенный вклад в формирование повышенной заболеваемости злокачественными новообразованиями.

Неопределенности и ограничения данного исследования:

1. Отсутствуют сведения о доле лиц, употребляющих питьевую воду без предварительной обработки бытовыми фильтрами, что влечет неопределенность при оценке экспозиции.

2. При проведении исследования не учтены результаты производственного контроля питьевой воды населенных пунктов Мурманской области, что связано с трудностями сбора информации, ее стандартизации и анализа.

3. Перечень заболеваний, ассоциированных с качеством питьевой воды, зачастую содержит болезни, развитие которых при поступлении химических веществ с питьевой водой в организм человека является недостаточно изученным, что затрудняет выбор приоритетных нозологий для установления причинно-следственных связей «фактор – здоровье».

4. Не изучалась роль иных факторов риска развития болезней, помимо потенциально связанных с качеством питьевой воды.

В связи с тем, что в общей структуре заболеваемости определить болезни, связанные с питьевой водой и нарушением ее качества, достаточно сложно, рекомендуется проводить оценку содержания химических элементов в организме населения, например, в волосах с затылочной части головы [15]. При использовании метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой можно определить с точностью до 0,0001 мкг/г содержание около 40 химических элементов, как токсических, включая никель и алюминий, так и эссенциальных⁹. В качестве косвенной характеристики токсического воздействия вредных веществ также возможно определение содержания в организме элементов антиоксидантной системы – меди, цинка и селена, снижение концентрации которых свидетельствует о негативном влиянии токсикантов на иммунитет¹⁰.

Выводы

По данным исследований 2016-2020 гг. установлено, что территориями неблагополучия по загрязнению питьевой воды, характеризующимися наиболее высоким удельным весом проб, не соответствующих гигиеническим нормативам по содержанию химических веществ (за исключением железа), являются г. Кировск (алюминий), пгт Никель и г. Заполярный Печенгского района (никель), г. Мурманск, г. Оленегорск и Кольский район (хлороформ).

Воздействие никеля на здоровье населения Печенгского района в связи с его пероральным поступлением с питьевой водой может быть связано с развитием женского бесплодия, а при кожном действии – с развитием контактного дерматита, однако требуется уточнение вклада иных факторов риска, включая воздействие никеля и его соединений в рамках профессиональной деятельности. Роль алюминия в формировании уровня заболеваемости населения г. Кировск не установлена. В связи с тем, что максимальный суммарный уровень канцерогенного риска ($2,29 \cdot 10^{-5}$) соответствует приемлемым для населения величинам (10^{-6} - 10^{-4}), роль канцерогенов, поступающих в организм человека с питьевой водой, в формировании дополнительных случаев злокачественных новообразований в Мурманской области и, как следствие, дополнительного экономического ущерба, будет незначительна.

В связи с тем, что в общей структуре заболеваемости определить болезни, связанные с питьевой водой и нарушением ее качества, представляется сложной задачей, с целью принятия обоснованных управленческих решений, направленных на минимизацию риска здоровью, рекомендуется проводить оценку содержания химических элементов в организме населения.

Список литературы:

1. Боев В.М., Зеленина Л.В., Кряжев Д.А., Тулина Л.М., Неплохов А.А. Анализ канцерогенного риска при воздействии факторов окружающей среды на здоровье

⁹ Методические указания МУК 4.1.1482-03–4.1.1483-03. Определение химических элементов в биологических средах и препаратах методами атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

¹⁰ Забродский П.Ф., Мандыч В.Г. Иммунотоксикология ксенобиотиков: монография. Саратов: СВИБХБ, 2007. 420 с.

- населения крупного промышленного города и заболеваемость злокачественными новообразованиями // *Здоровье населения и среда обитания*. 2016. № 6 (279). С. 4-7.
2. Тихонова Н.А., Федоров В.Н., Новикова Ю.А., Ковшов А.А. Гигиеническая оценка водоснабжения населения города Приморска Ленинградской области // *Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения: материалы Всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием* / под ред. А.Ю. Поповой, Н.В. Зайцевой. Пермь, 2021. С. 84-88.
 3. Рахманин Ю.А., Красовский Г.Н., Егорова Н.А. 100 лет законодательного регулирования качества питьевой воды. Ретроспектива, современное состояние и перспективы // *Гигиена и санитария*. 2014. Т. 93, № 2. С. 5–18.
 4. Эльпинер Л.И. Медико-экологические аспекты кризиса питьевого водоснабжения // *Гигиена и санитария*. 2013. №6. С. 38–44.
 5. Землянова М.А., Мазунина Д.Л., Рудакова Л.В. Оценка химического загрязнения питьевой воды централизованных источников водоснабжения токсичными металлами (на примере Пермского края) // *Вода: химия и экология*. 2014. №10. С. 113–118.
 6. Загайнова А.В., Рахманин Ю.А., Талаева Ю.Г., Иванов С.И., Артемова Т.З., Недачин А.Е., Гипп Е.К., Буторина Н.Н. Оценка микробного риска для установления зависимости между качеством воды и заболеваемостью населения кишечными инфекциям // *Гигиена и санитария*. 2010. №3. С. 28–31.
 7. De Roos A.J., Gurian P.L., Robinson L.F., Rai A., Zakeri I., Kondo M.C. Review of Epidemiological Studies of Drinking-Water Turbidity in Relation to Acute Gastrointestinal Illness. *Environ Health Perspect*. 2017; Aug 17; 125(8): 086003. doi: 10.1289/ENP1090.
 8. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: World Health Organization, 2022. xxvi+583 p.
 9. Ковшов А.А., Новикова Ю.А., Федоров В.Н., Тихонова Н.А. Оценка рисков нарушений здоровья, связанных с качеством питьевой воды, в городских округах арктической зоны Российской Федерации // *Вестник уральской медицинской академической науки*. 2019. Т.16, №2. С. 215–222. doi: 10.22138/2500-0918-2019-16-2-215-222
 10. Ковшов А.А., Тихонова Н.А., Федоров В.Н., Новикова Ю.А. Анализ заболеваемости населения Мурманской области с 2007 по 2019 год // *Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения*. 2021. Т.16, №3. С. 914-922.
 11. Nickel in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva: World Health Organization, 2021. vii+36 p.
 12. Aluminium in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality / World Health Organization. Geneva: WHO, 2003. 14 p.
 13. A review of human carcinogens. Part C: Arsenic, metals, fibres, and dusts/ IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. 2009: Lyon, France. xi+501 p.
 14. Heim K.E., Bates H.K., Rush R.E., Oller A.R. Oral carcinogenicity study with nickel sulfate hexahydrate in Fischer 344 rats // *Toxicol Appl Pharmacol*. 2007. 224:126-37.
 15. Le Phuoc Cuong, Евгеньева И.И., Евгеньев М.И. Определение химических элементов в волосах вьетнамцев методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой // *Вестник Казанского технологического университета*. 2010. №10. С. 71-75.

References:

1. Boev V.M., Zelenina L.V., Kryazhev D.A., Tulina L.M., Neplokhov A.A. Analysis on exposure carcinogenic risk of environmental factors on health largest industrial cities and malignant tumors. *Public Health and Life Environment*. 2016; 6(279): 4-7. (In Russ.)
2. Tikhonova N.A., Fedorov V.N., Novikova Yu.A., Kovshov A.A. Gigenicheskaya ocenka vodosnabzheniya naseleniya goroda Primorska Leningradskoi oblasti [Hygienic assessment of water supply for the population of the city of Primorsk, Leningrad Oblast]. *Fundamental'nye i prikladnye aspekty analiza riska zdorov'yu naseleniya: materialy vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi internet-konferencii molodyh uchenyh i specialistov Rospotrebnadzora s mezhdunarodnym uchastiem*. Ed. by A.Yu. Popova, N.V. Zaitseva. Perm, 2021. pp 84-88. (In Russ.)
3. Rakhmanin Yu.A., Krasovsky G.N., Egorova N.A., Mikhailova R.I. 100 years of drinking water regulation. Retrospective review, current situation and prospects. *Hygiene and Sanitation*. 2014; 93(2): 5-18. (In Russ.)

4. Elpiner L.I. Medical and environmental aspects of the drinking water supply crisis. *Hygiene and Sanitation*. 2013; 92(3): 38-44. (In Russ.)
5. Zemlyanova M.A., Mazunina D.L., Rudakova L.V. Assessment of the chemical contamination of drinking water from centralized water sources with toxic metals (on the example of Perm Krai). *Voda: himiya i ekologiya*. 2014; 10: 113–118. (In Russ.)
6. Zagainova A.V., Rakhmanin Yu.A., Talayeva Yu.G., Ivanov S.I., Artemova T.Z., Nedachin A.Ye., Gipp Ye.K., Butorina N.N. Microbial risk assessment to establish water quality-enteric infection morbidity relationships. *Hygiene and Sanitation*. 2010; 3: 28-31. (In Russ.)
7. De Roos A.J., Gurian P.L., Robinson L.F., Rai A., Zakeri I., Kondo M.C. Review of Epidemiological Studies of Drinking-Water Turbidity in Relation to Acute Gastrointestinal Illness. *Environ Health Perspect*. 2017; Aug 17; 125(8): 086003. doi: 10.1289/EHP1090.
8. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: World Health Organization, 2022. xxvi+583 p.
9. Kovshov A.A., Novikova Yu.A., Fedorov V.N., Tikhonova N.A. Diseases risk assessment associated with the quality of drinking water in the urban districts of Russian Arctic. *Vestn. Ural. Med. Akad. Nauki (Journal of Ural Medical Academic Science)*. 2019, Vol. 16, no. 2, pp. 215-222. doi: 10.22138/2500-0918-2019-16-2-215-222 (In Russ.)
10. Kovshov A.A., Tikhonova N.A., Fedorov V.N., Novikova Yu.A. Analysis of the incidence in the population of Murmansk oblast in 2007-2019. *Health – the base of human potential: problems and ways to solve them*. 2021. Vol.16, no. 3. pp. 914-922. (In Russ.)
11. Nickel in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva: World Health Organization, 2021. vii+36 p.
12. Aluminium in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality / World Health Organization. Geneva: WHO, 2003. 14 p.
13. A review of human carcinogens. Part C: Arsenic, metals, fibres, and dusts/ IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. 2009: Lyon, France. xi+501 p.
14. Heim K.E., Bates H.K., Rush R.E., Oller A.R. Oral carcinogenicity study with nickel sulfate hexahydrate in Fischer 344 rats // *Toxicol Appl Pharmacol*. 2007. 224:126-37.
15. Le Phuoc Cuong, Evgen'eva I.I., Evgen'ev M.I. Opredelenie himicheskikh elementov v volosah v'etnamcev metodom atomno-emissionnoi spektroskopii s induktivno-svyazannoi plazmoi [Determination of chemical elements in Vietnamese hair by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy] // *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Kazan Technological University]*. 2010. No. 10. pp. 71-75.

Научная статья

УДК 628.977.2

DOI: 10/24412/2658-4255-2022-4-17-33

Для цитирования:

Осипова Е.Э., Потошина Л.Е.,
Щукина А.А.
Проект интеллектуальной
системы освещения здания
университета арктической
зоны в условиях цифровой
экономики // Российская
Арктика. 2022.
№ 19. С. 17–33

Получена: 06.04.2022

Принята: 28.11.2022

Опубликована: 09.12.2022



ПРОЕКТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ ЗДАНИЯ УНИВЕРСИТЕТА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Е.Э. Осипова¹, Л.Э. Потошина², А.А. Щукина³

¹ Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия. К.э.н., доцент.

e.e.osipova@narfu.ru

² Санкт-Петербургский государственный экономический университет, г. Санкт-Петербург, Россия

lep29@yandex.ru

³ Акционерное общество «Архангельская областная энергетическая компания», г. Архангельск, Россия

holopova.ari@gmail.com

Аннотация:

Сегодня в России главные тренды развития энергетики - цифровизация, декарбонизация, энергосбережение. Освещение является одним из приоритетных направлений энергосбережения и повышения энергетической эффективности, поэтому разработка интеллектуальной системы освещения на объекте университета определена как пилотный проект цифровизации в рамках университетской программы «Умный кампус». Основной идеей проекта по внедрению «умной» системы освещения является снижение энергопотребления за счет замены люминесцентного освещения светодиодным и внедрение интеллектуального управления освещением. В рамках выполненной работы был произведен аудит существующей системы освещения, светотехнический расчет, разработан новый исполнительный план освещения выбранных объектов, представлена модель интеллектуальной системы освещения, определены ее составляющие, произведен расчет оборудования по проекту интеллектуального освещения. Авторами проведен анализ региональных возможностей использования источников возобновляемой энергии Арктической зоны с целью их применения для реализации проекта интеллектуальной системы освещения. В качестве приоритетного источника определена ветроэнергетика. Дополнительным эффектом от реализации проекта станут: получение первых результатов энергосбережения; получение новых научных данных о применении ветроэнергетики в Архангельской области, разработка основ единой платформы для сбора и обработки информационных данных университета; последующее внедрение на других объектах университета.

Ключевые слова: интеллектуальная система освещения, светотехнический расчет, исполнительный план освещения, энергосбережение, цифровая экономика, возобновляемая энергетика, Арктическая зона

PROJECT OF THE BUILDING INTELLIGENT LIGHTING SYSTEM OF THE ARCTIC ZONE UNIVERSITY IN THE DIGITAL ECONOMY

E.E. Osipova¹, L.E. Potoshina², A.A. Shchukina³

¹ Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russian Federation.

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor.

e.e.osipova@narfu.ru

² Saint Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg, Russian Federation

lep29@yandex.ru

³ Joint Stock Company "Arkhangelsk Regional Energy Company", Arkhangelsk, Russian Federation

holopova.ari@gmail.com

Abstract:

Today in Russia, the main trends in the development of the energy sector are digitalization, decarbonization, and energy saving. Lighting is one of the priority areas for energy saving and energy efficiency, so the development of an intelligent lighting system at a university facility has been identified as a pilot digitalization project under the university's Smart Campus program. The main idea of the project for the introduction of a "smart" lighting system is to reduce energy consumption by replacing fluorescent lighting with LEDs and the introduction of intelligent lighting control. As part of the work performed, an audit of the existing lighting system was carried out, a lighting calculation was made, a new executive lighting plan for selected objects was developed, a model of an intelligent lighting system was presented, its components were determined, and equipment was calculated for the smart lighting project. The authors analyzed the regional opportunities for using renewable energy sources in the Arctic zone in order to use them for the implementation of the project of an intelligent lighting system. Wind energy has been identified as a priority source. An additional effect of the project implementation will be: obtaining the first results of energy saving; obtaining new scientific data on the use of wind energy in the Arkhangelsk region, developing the foundations of a single platform for collecting and processing university information data; subsequent implementation at other university facilities.

Key words: intelligent lighting system, digitalization, lighting calculation, executive lighting plan, lighting regulation, energy saving, digital economy, renewable energy, Arctic zone

Актуальность интеллектуальных систем в цифровой экономике

Программа «Цифровая экономика Российской Федерации»¹, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации № 1632-р от 28.07.2017 года, определяла создание «Умных городов» одним из ключевых направлений развития цифровой экономики. «Цифровая трансформация 2030»² предусматривает внедрение на энергообъектах электросетевого комплекса передового оборудования, создание единой полностью автоматизированной системы управления инфраструктурой и изменения всех бизнес-процессов. Результатом цифровой трансформации традиционного энергетического комплекса становится цифровая энергетика, которая основывается на применении технологии сбора и обработки данных с целью повышения эффективности функционирования участников отраслевого энергетического комплекса, снижения барьеров и создания новых сервисов для потребителей, формирования новых бизнес-моделей. После установки 100% интеллектуальных приборов учета произойдет революция взаимоотношений с потребителем за счет развития двусторонней связи, которая позволит контролировать качество предоставляемых услуг, анализировать нагрузку и предоставлять потребителям рекомендации по повышению его энергоэффективности.

При интеграции цифровой энергетики в системы энергетического менеджмента достигаются следующие цели:

- повышение уровня обмена данными и принятия управленческих решений в цифровой форме;
- многократное увеличение количества объектов генерации и сетевого комплекса, осуществляющих обмен данными в реальном режиме времени;
- повышение уровня технического состояния, автоматизации и наблюдаемости сети;
- развитие городской инфраструктуры для электротранспорта и накопления энергии;
- развитие «умных» контрактов;
- внедрение роботизированной техники;
- разработка обеспечения информационной безопасности объектов энергетики;
- осуществление дистанционного мониторинга и управления энергообъектами, диагностики и предиктивного обслуживания оборудования;
- создание регулятивных и технологических условий для внедрения инновационных технологий, управление нагрузкой и спросом потребителей электроэнергии, ин-

1 Программа "Цифровая экономика Российской Федерации": распоряжение Правительства Российской Федерации № 1632-р от 28.07.2017 URL: <http://static.government.ru/media/acts/files/0001201708030016.pdf> (дата обращения: 01.02.2022).

2 ПАО «Россети». Концепция «Цифровая трансформация 2030». М., 2018. 31 с. URL: https://rosseti.ru/investment/Kontseptsiya_Tsifrovaya_transformatsiya_2030.pdf (дата обращения: 29.03.2022).

теграции накопителей и интеллектуальных систем, электротранспорта, возобновляемых источников энергии и иных разработок в электроэнергетике.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова (САФУ) решением ученого совета университета «О стратегии развития университета: Программа цифровизации САФУ»³ от 28 июня 2018 года запустил четыре проекта, одним из которых является «Умный кампус». Его основа – это создание и поддержка информационной модели «интеллектуального» кампуса.

САФУ поставил перед собой четыре этапа цифровизации университета:

- 1) создание современной системы сбора данных с установкой приборов учета энергоресурсов;
- 2) оснащение оборудованием системы диспетчеризации;
- 3) внедрение программного обеспечения информационной системы энергетического менеджмента;
- 4) создание единой отраслевой технологической платформы.

Университетский кампус – сложная, динамичная система, которая обслуживает разнообразные потребности тысяч людей. Студенты могут долгое время не покидать территорию кампуса и при этом ни в чем не нуждаться. Проблемы, с которыми сталкиваются университеты, сложны: сокращение бюджетов, рост затрат на энергию, износ инфраструктуры, увеличение числа учащихся и обязательства следовать принципам устойчивого развития. Эти вызовы побуждают вузы искать умные решения для будущего развития кампусов в рамках инициатив умного города.

Ежегодно в России на освещение расходуется около 109 млрд кВт·ч, или приблизительно 12% от общего энергопотребления. При этом потенциал энергосбережения в освещении составляет около 60 млрд кВт·ч/год^{4,5}. Исходя из этих данных, а также учитывая тот факт, что освещение является одним из приоритетных направлений энергосбережения и повышения энергетической эффективности⁶, было принято решение, что именно внедрение интеллектуальной системы освещения (ИСО) на объекте САФУ будет пилотным проектом цифровизации университета в рамках программы «Умный кампус».

Необходимость внедрения интеллектуальных светосистем с целью энергосбережения обусловлена масштабностью энергопотребляющей инфраструктуры: в состав САФУ входят более 100 зданий (в т.ч. 2 колледжа, лицей, мастерские, спортивный комплекс «Буревестник», учебно-спортивная база «Илес», бассейн, центр коллективного пользования научным оборудованием «Арктика», профилакторий, 14 общежитий, гимназия, детский сад и т.д.). Филиалы университета находятся в городах Северодвинск, Коржма и Нарьян-Мар (Ненецкий Автономный Округ).

Для наглядности эффекта реализации интеллектуальной системы освещения был выбран стратегически важный объект университета – Учебно-научный центр энергетических инноваций (УНЦ ЭИ). Он был создан в 2013 году с целью интеграции научных исследований и образовательного процесса, а также реализации концепции развития энергетического направления Высшей школы энергетики, нефти и газа, как единого научно – образовательного комплекса [1]. На 70 % площади УНЦ ЭИ установлено светодиодное освещение, однако 30% площади используются экономически и энергетически неэффективные люминесцентные лампы.

Основной идеей проекта по внедрению «умной» системы освещения на примере УНЦ ЭИ является снижение энергопотребления за счет полной замены люминесцентного освещения светодиодным и интеллектуальное управление освещением. Предусматривается возможность дальнейшего исследования ее возможностей научно-педагогическими работниками и студентами университета с последующей модернизацией. В связи с необходимостью сохранения экологического баланса и снижения углеродного следа в Арктической зоне РФ, в работе рассмотрены варианты использования региональных источников возобновляемой энергии (ВИЭ) как источника электроэнергии для обеспечения функционирования проектируемой ИСО.

Методология

Местом реализации пилотного проекта «Интеллектуальная система освещения здания университета» в рамках проекта «Умный кампус» было определено здание Учеб-

³ Программа цифровизации САФУ: решение Ученого совета Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова от 28.06.2018 г. Архангельск, 2018. 5 с.

⁴ Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения: постановление Правительства Российской Федерации № 1356 от 10.11.2017 URL: <https://static.government.ru/media/files/bGATK2MsZrYf4mCUINQcUa9g95zVjSlu.pdf> (дата обращения: 01.02.2022).

⁵ О состоянии энергосбережения и повышения энергетической эффективности в Российской Федерации в 2017 году: государственный доклад от 12.10.2018 г. М.: Проспект, 2018. 263 с.

⁶ Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон Российской Федерации № 261-ФЗ от 23.11.2009 URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102133970&rdk=> (дата обращения: 11.02.2022).

но-научного центра энергетических инноваций САФУ. Объектом исследования стала существующая система освещения трех аудиторий и прилегающего холла УНЦ ЭИ, в которых на сегодняшний день установлено люминесцентное освещение. В рамках выполненной работы был произведен аудит существующей системы освещения этих помещений, сделан светотехнический расчет, разработан новый исполнительный план освещения выбранных объектов, представлена модель интеллектуальной системы освещения, определены ее составляющие, произведен расчет оборудования по проекту интеллектуального освещения. Для выбора источника электрической энергии для будущей системы ИСО были рассмотрены региональные возможности возобновляемой энергетики Арктической зоны с акцентом на ветроэнергетику.

В работе использовались методы [2]:

1. анализа – для обзора и рассмотрения существующей системы освещения, для рассмотрения и изучения интеллектуальной системы, для анализа возможностей возобновляемой энергетики арктического региона;

2. синтеза – для объединения фундаментальных составляющих энергоменеджмента и цифровой энергетики;

3. моделирования – для создания с помощью программного обеспечения модели помещений (с расчетом количества светильников и мест их установки);

4. индукции – от рассмотрения существующей на сегодня на выбранном объекте системы освещения и от общего изучения интеллектуальных систем мы пришли к конкретному проекту под реализацию на объекте;

5. обобщения – в завершении работы были продемонстрированы результаты проведенных мероприятий.

Интеллектуальная система освещения

На сегодняшний день прогресс в области световой техники отражается в усовершенствовании и удешевлении технологического процесса производства и конструктивных особенностей приборов освещения [3] и в совершенствовании самих способов управления освещением [4].

Светодиодные светильники начали изготавливать совместно с многофункциональными датчиками, которые позволяют управлять осветительными приборами дистанционно. Появилась новая интеллектуальная система освещения – комплекс устройств, позволяющих осветительным приборам работать автономно или с дистанционным управлением.

Главными преимуществами использования светодиодных светильников совместно с интеллектуальной системой управления являются, во-первых, экономия потребления электрической энергии может достигнуть до 85% от объема потребления энергии стандартных светодиодов, во-вторых, может осуществляться мониторинг системы освещения, в-третьих, управление осветительными установками производится автоматически или дистанционно в ручном режиме⁷[5].

Партнером проекта рассмотрена компания ООО «Светосистемы», которая разрабатывает и производит программно-аппаратные решения и online-сервис SunRise для создания интеллектуальных систем управления светодиодным освещением⁸.

Аппаратная часть системы SunRise совместима со светильниками любых производителей и не накладывает ограничений по выбору светотехнического оборудования. Интеллектуальная система освещения представляет собой комплекс устройств, который позволяет осветительным приборам работать автономно или с дистанционным управлением. Архитектура ИСО строится таким образом, что выход из строя любого элемента системы (контроллер управления яркостью светильника, диспетчерский пульт, шкаф управления, датчики и т.д.) не влияет на освещенность в целом.

Для реализации интеллектуального освещения на базе УНЦ ЭИ будут установлены контроллеры, датчики движения, освещенности и присутствия. Оборудование представлено в таблице 1. На рисунке 1 представлена интеллектуальная система освещения.

Система SR School применяется для управления яркостью светодиодных светильников в зависимости от количества людей и интенсивности естественного освещения в помещении.

Программное обеспечение SR School будет установлено на главный компьютер объекта или на панель управления освещением. По территории учебных офисов будут размещены датчики SR School LS, которые будут отслеживать освещенность в помещении, в зависимости от уровня естественного света будут включать и отключать светильники, а также будут отправлять данные на сервер управления SR Office для контроля и мониторинга работы системы.

7 Международный стандарт ИСО 50001:2018. Системы энергетического менеджмента – Требования и руководство по применению. Верньер, Женева: Бюро по авторским правам ИСО, 2018. 30 с.

8 ООО «Светосистемы». Решения SUNRISE. URL: <https://svetosystem.ru> (дата обращения: 16.01.2022).

Таблица 1

Оборудование интеллектуальной системы освещения для УНЦ ЭИ

Наименование, тип	Количество
Контроллер SR School 1	7
Контроллер SR School 3	5
Датчик движения с контроллером SR School 1	10
Датчик движения с контроллером SR School 3	21
Датчик освещенности SR School LS	4
Датчик присутствия SR School	5
Локальный шкаф управления SR Office Local Control & Support LAN	1

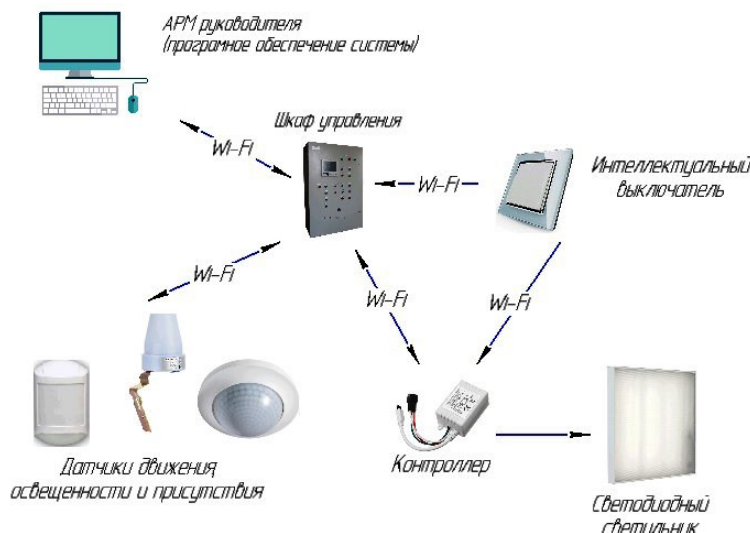


Рисунок 1 – Интеллектуальная система освещения

Также для отслеживания перемещения людей и составления сценариев по периметру помещений будут расположены датчики движения с контроллером SR School MS.

Для удобства использования студентами и преподавателями интеллектуальной системы в каждом помещении на группу светильников будут установлены выключатели, они позволят производить оперативные переключения режимов освещения при внештатных ситуациях. В режиме нормального функционирования системы данные выключатели использоваться не будут. Коммутаторы в помещении будут контролироваться одним интеллектуальным выключателем. Его применение позволит системе работать автономно, без участия человека. Интеллектуальный выключатель будет управлять всеми контроллерами SR Office с помощью Wi-Fi, приемники также будут передавать данные потребления на управляющий шкаф.

Для того чтобы наладить работу «smart-системы», необходимо разработать логический сценарий и загрузить его в управляющий шкаф. Подразумевается, что сценарий – это заранее настроенная цепь сигналов или событий на объекте, где будет установлена система.

Рассмотрим предполагаемые сценарии работы интеллектуальной системы освещения. Работа интеллектуальной системы освещения будет осуществляться по следующим принципам:

1) при срабатывании датчика движения в помещении общего пользования датчик передает цифровой сигнал посредством беспроводной локальной сети Wi-Fi на центральный шкаф управления;

2) шкаф управления, получив сигнал с датчика движения, анализирует информацию с других датчиков: по датчику освещенности – уровень освещенности в помещении, по датчику присутствия – наличие людей. Если уровень освещенности ниже нормируемой, то шкаф управления отправляет сигнал на контроллер, управляющий группой светодиодных светильников в данном помещении, который в свою очередь замыкает контакты силовой цепи и дает напряжение на блок питания светодиодных светильников;

3) в случае необходимости принудительного ручного включения/отключения используется интеллектуальный выключатель, расположенный в помещении;

4) датчик освещенности измеряет уровень освещения в помещении по запросу шкафа управления, а также в автоматическом режиме с определенной периодичностью и отправляет цифровой сигнал посредством беспроводной локальной сети Wi-Fi на центральный шкаф управления;

5) датчик присутствия фиксирует очень мелкие движения, происходящие в пределах своей рабочей зоны, и отправляет цифровой сигнал посредством беспроводной локальной сети Wi-Fi на центральный шкаф управления;

6) шкаф управления анализирует поступающую информацию от интеллектуальных датчиков и передает информацию на программное обеспечение системы, которая производит online-мониторинг энергопотребления, уровня освещенности, технического состояния системы интеллектуального освещения здания;

7) автоматизированное рабочее место руководителя, на котором установлено программное обеспечение с администраторскими правами доступа, дополнительно позволяет производить управление системы интеллектуального освещения в режиме реального времени (включение/отключение как отдельных, так и группы светильников, управление уровнем освещения в помещениях).

Основные характеристики системы:

- 1) управление с использованием технологии Wi-Fi;
- 2) протоколы управления светильниками: широтно-импульсная модуляция 5 В, 0-10 В;
- 3) наличие обратной связи от элементов системы;
- 4) подключаемые датчики движения, освещенности, температуры и другие цифровые датчики;
- 5) плавное регулирование яркости светильников от 0 до 100% (256 ступеней);
- 6) адресное управление отдельными светильниками или группами светильников;
- 7) наличие центрального контроллера для работы системы в автоматическом режиме без участия человека;
- 8) интерфейс удобен для планирования сценариев управления и получения статистики.

Реализация проекта ИСО даст такие результаты, как: комфортные и безопасные условия труда; сбор и хранение статистики о работе системы электроосвещения; увеличение продолжительности работы светодиодных светильников; экономия электроэнергии; возможность ручного управления.

Светотехнический расчет

Для начала расчета внедрения интеллектуальной системы освещения проанализируем существующую светосистему с помощью расчетов в аудиториях 211, 213, 214 и холле 2 этажа здания УНЦ ЭИ, где требуется замена люминесцентного оборудования.

При проектировании и монтаже силовых щитов и щитов освещения руководствовались требованиями Правил устройства электроустановок⁹ и Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей¹⁰. Ввиду наличия существующей системы освещения и действующих распределительных щитов с целью минимизации затрат используем существующие щиты для подключения интеллектуальной системы освещения с использованием светодиодных светильников.

Выбор средней освещенности для внутреннего и наружного освещения производится в соответствии со Сводом правил СП 52.3330.2016 «Естественное и искусственное освещение»¹¹. Для каждой из аудиторий, по данному Своду правил, средняя освещенность рабочей поверхности должна составлять $E_{min} = 500$ лк, что характеризуется очень высокой точностью различения объектов при фиксированной и нефиксированной линии зрения. Выбранные аудитории относятся к разряду зрительной работы – А-2. Для холла средняя освещенность составляет $E_{min} = 150$ лк, разряд зрительной работы – В.

В процессе эксплуатации осветительной установки освещенности на рабочих поверхностях уменьшаются вследствие того, что с течением времени лампы теряют свои первоначальные качества – снижается световой поток. Это вызвано загрязнением ламп, осветительной арматуры и отражающих поверхностей стен, потолков, рабочих поверхностей. Для того чтобы поддержать значение освещенности на рабочих поверхностях на уровне не менее нормируемого в течение всего времени эксплуата-

⁹ Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Энергосервис, 2019. 462 с.

¹⁰ Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей: приказ Министерства энергетики Российской Федерации № 6 от 13.01.2003 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901839683> (дата обращения: 14.02.2022).

¹¹ Свод правил СП 52.3330.2016 «Естественное и искусственное освещение». М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2016. 102 с.

ции, ее расчетное значение принимают больше нормируемого. Это учитывается коэффициентом запаса, который всегда больше единицы. Он характеризует кратность между расчетным и нормируемым значениями освещенности.

При расчете коэффициент запаса приближенно принимают $k = 1,3$ – для светодиодных ламп, $k = 1,5$ – для газоразрядных ламп.

Коэффициент минимальной освещенности Z характеризует неравномерность освещения. Он является функцией многих переменных, точное его определение затруднительно, но в наибольшей степени он зависит от отношения расстояния между светильниками к расчетной высоте подвеса светильников, рекомендуется принимать $Z = 1,1$ – для светодиодных светильников, $Z = 1,15$ – газоразрядные лампы [6].

Произведем расчет необходимого количества светильников для каждого из помещений на примере аудитории 214. При расчете по методу коэффициента использования светового потока [7] необходимое количество светильников N определяется по выражению 1:

$$N = \frac{E_{min} \cdot k \cdot S \cdot Z}{\Phi_c \cdot \eta} \quad (1)$$

где E_{min} – средняя освещенность, для учебной аудитории $E_{min} = 500$ лк;

k – коэффициент запаса, аудитории относятся к помещениям общественных и жилых зданий, светильник относится к 1 эксплуатационной группе, значит $k = 1,4$;

S – площадь аудитории 214, $S = 28,78$ м²;

Z – коэффициент неравномерности освещения, для люминесцентных ламп $Z = 1,15$;

Φ_c – световой поток светильника, $\Phi_c = 1700$ лм;

η – коэффициент использования светового потока, о.е.

Коэффициент использования светового потока определяется для конкретного светильника и источника света. Для определения коэффициента использования светового потока η необходимо рассчитать индекс помещения i и найти предполагаемые коэффициенты отражения поверхностей помещения: потолка ρ_n , стен ρ_c , пола (рабочей поверхности) ρ_p .

Для заданных помещений определяем, что коэффициенты отражения будут равны: $\rho_n = 80\%$, $\rho_c = 50\%$, $\rho_p = 30\%$.

Индекс помещения можно вычислить по выражению 2:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)} \quad (2)$$

где A и B – длина и ширина помещения, м;

H_p – расчетная высота подвеса светильника над поверхностью освещения, м.

Расчетная высота подвеса светильников определяется по выражению 3:

$$H_p = H - h_c - h_p \quad (3)$$

где H – геометрическая высота помещения, $H = 3,2$ м;

h_c – свес светильника, $h_c = 0,08$ м;

h_p – высота рабочей поверхности, $h_p = 0,8$ м;

$$H_p = 3,2 - 0,08 - 0,8 = 2,32 \text{ м,}$$

$$i = \frac{5,31 \cdot 5,42}{2,32 \cdot (5,31 + 5,42)} = 1,156.$$

Из каталога компании «Световые технологии»¹² находим существующий светильник ARS/S 418 /600/ HF и по таблице коэффициентов использования определяем коэффициент использования, и после проведенного интерполирования вычисляем, что коэффициент использования светового потока η равен 60,979%. Тогда:

$$N = \frac{500 \cdot 1,4 \cdot 28,78 \cdot 1,15}{1700 \cdot 0,6098} = 22,35 \text{ шт.}$$

После проведения аналогичных расчетов получаем $N = 33$ (аудитория 211), $N = 32$ (аудитория 213), $N = 14$ (холл), общее количество необходимых светильников ARS/S 418/600/HF – 102 шт. Количество существующих фактически светильников в рассматриваемых аудиториях и холле составляет 72 штуки (рисунок 2 – Исполнительный план освещения 2 этажа) и не удовлетворяет расчетному количеству. Это можно назвать одной из причин низкой (нестандартной) освещенности в аудиториях 211, 213.

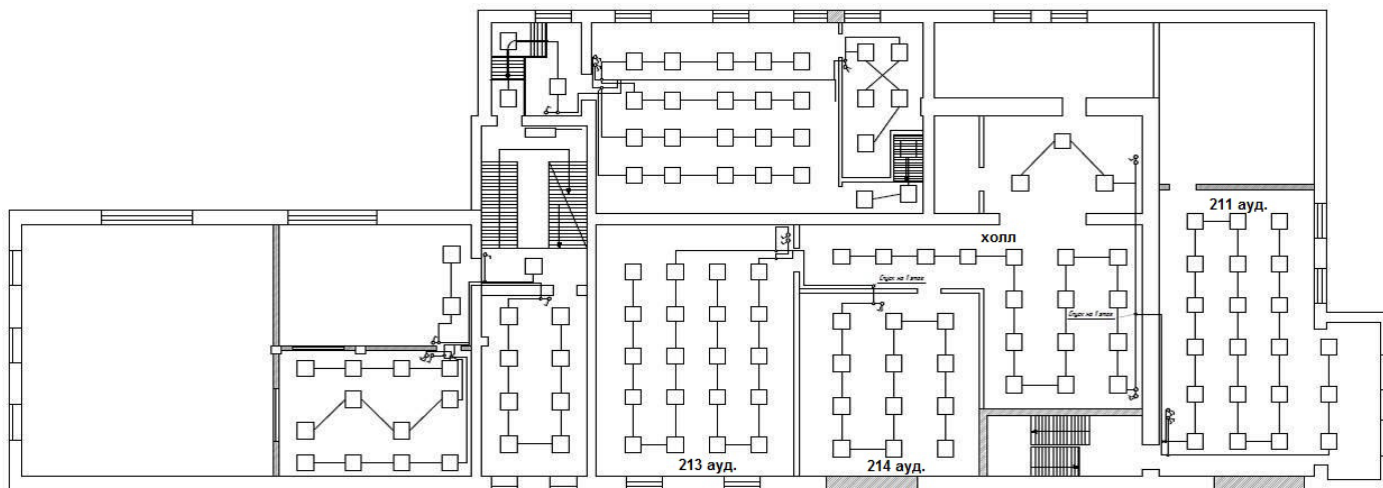


Рисунок 2 - Исполнительный план освещения 2 этажа здания УНЦ ЭИ

Светотехнический расчет для реализации проекта интеллектуальной системы освещения производится аналогично предыдущему с помощью коэффициента использования светового потока. При осуществлении проекта будут использованы светодиодные светильники - они имеют срок службы длиннее остального вида светотехнического оборудования, самое низкое энергопотребление и экологическую безопасность. В таблице 2 представлен список используемого в проекте светового оборудования с основными характеристиками.

Таблица 2

Характеристики светового оборудования

Наименование светильника	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Цветовая температура, К	Коэффициент мощности	Ресурс работы, ч (не менее)
ДВО 07-18-50	18	1763	5000	>0,96	100000
ССВ 28-3100-А50	28	3097	5000	>0,96	100000
ССВ 41-4500-А50	41	4446	5000	>0,96	100000
ДСБ 01-28-50-Д	28	3621	5000	>0,96	100000
ДСБ 01-40-50-Д	40	5796	5000	>0,96	100000

Общее количество необходимых под реализацию проекта ИСО светодиодных светильников – 49 штук: $N = 17$ (аудитория 211), $N = 14$ (аудитория 213), $N = 10$ (аудитория 214), $N = 8$ (холл).

При системе общего освещения светильники можно размещать над освещаемой поверхностью либо равномерно, правильными симметричными рядами, либо локализовано, индивидуально для каждого рабочего места (рисунок 3).

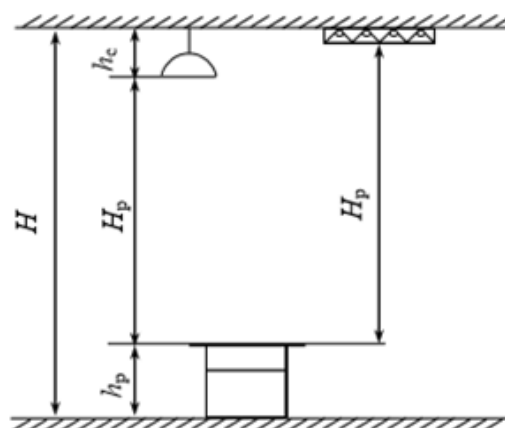


Рисунок 3 – Размещение светильников по высоте помещения

При общем равномерном освещении лучшими вариантами расположения светильников с точечными источниками света являются расположение их по углам прямоугольника или в шахматном порядке (рисунок 4). Этим достигается наиболее равномерное распределение освещенности по всей площади помещения.

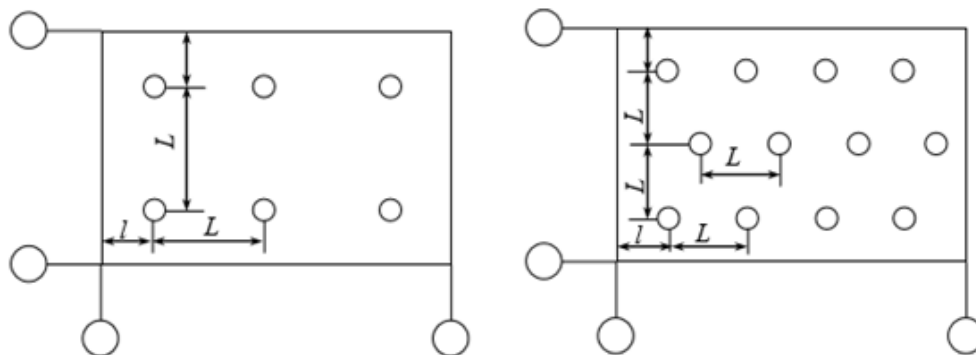


Рисунок 4 – Размещение светильников на плане помещения

Расстояние между светильниками выбирается такое, которое обеспечивает достаточную для практических условий равномерность освещения.

Во всех аудиториях светильники будут располагаться по углам прямоугольника.

Число рядов светильников находим по формуле 4:

$$R = \sqrt{\frac{N \cdot B}{A}} \quad (4)$$

где B - ширина помещения, м;

N - число светильников, шт.;

A - длина помещения, м.

Число светильников в ряду определим по формуле 5:

$$N_R = \sqrt{\frac{N \cdot A}{B}} \quad (5)$$

Расстояние между светильниками определим по формуле 6:

$$L = \sqrt{\frac{B \cdot A}{N}} \quad (6)$$

Рассмотрим в качестве примера расчет по аудитории 211. Количество светильников возьмем на один меньше, потому что помещение нестандартной прямоугольной формы, один светильник будет находиться у окна. Подставляем значения в формулы:

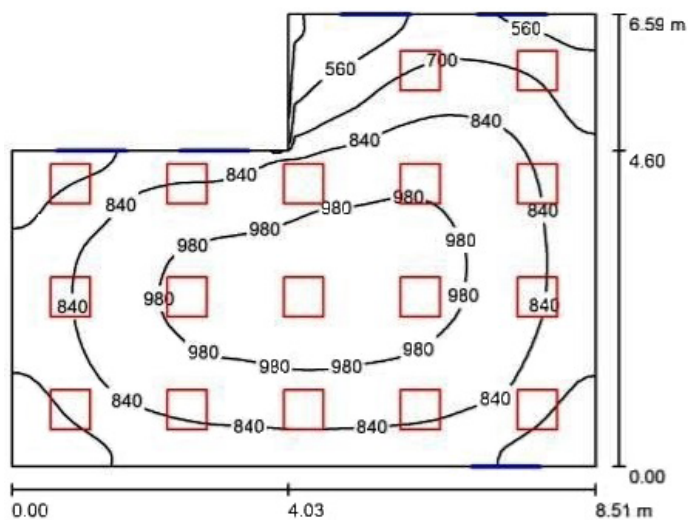
$$R = \sqrt{\frac{16 \cdot 4,6}{8,51}} = 2,94 \approx 3,$$

$$N_R = \sqrt{\frac{16 \cdot 8,51}{4,6}} = 5,44 \approx 5,$$

$$L = \sqrt{\frac{4,6 \cdot 8,51}{16}} = 1,56 \text{ м.}$$

Для остальных аудиторий УНЦ ЭИ расчет аналогичен.

С помощью программы DIALux спроектируем размещение светильников, после чего сравним ручной расчет с программным. Для аудитории 211 освещенность рабочей поверхности можно наблюдать на рисунке 5, план расположения светодиодных светильников на рисунке 6, светотехнический расчет на рисунке 7.



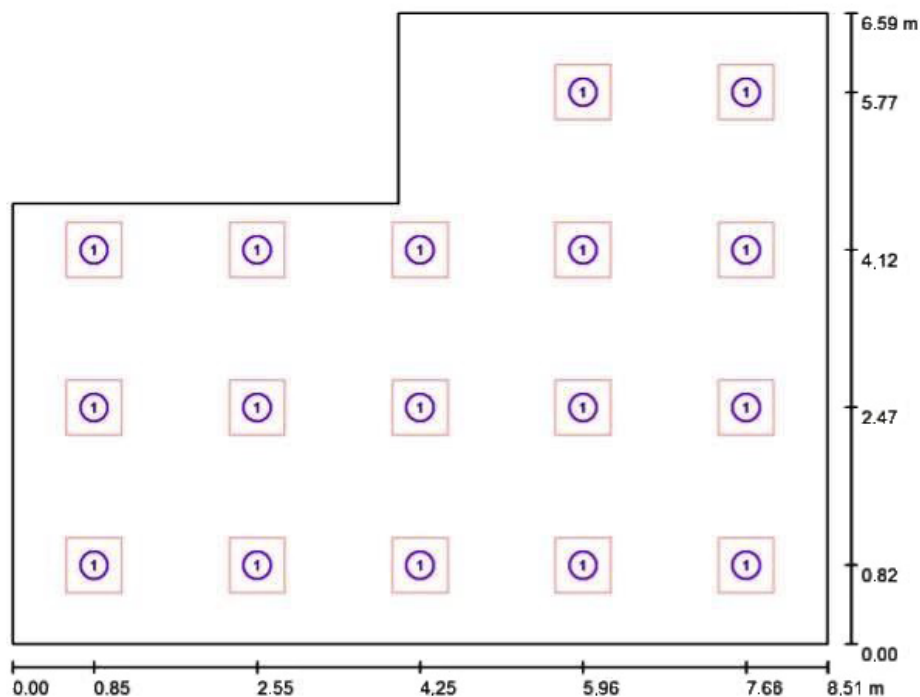
Высота помещения: 3.200 m, Монтажная высота: 3.240 m,
 Коэффициент эксплуатации: 0.71

Значения в Lux, Масштаб 1:85

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	834	391	1043	0.469
Полы	30	724	391	902	0.540
Потолок	80	203	120	447	0.590
Стенки (6)	50	530	210	1788	/

Рабочая плоскость:
 Высота: 0.800 m
 Растр: 64 x 64 Точки
 Краевая зона: 0.000 m

Рисунок 5 – Резюме расчета аудитории 211



Масштаб 1 : 61

Рисунок 6- План расположения светильников аудитории 211

211 аудитория / Светотехнические результаты

Общий световой поток: 68918 lm
 Общая мощность: 714.0 W
 Коэффициент эксплуатации: 0.71
 Краевая зона: 0.000 m

Поверхность	Средние освещенности [lx]			Коэффициент отражения [%]	Средние Яркость [cd/m ²]
	Напрямую	Опосредовано	Всего		
Рабочая плоскость	625	210	834	/	/
Полы	513	211	724	30	69
Потолок	0.04	203	203	80	52
Стенка 1	336	215	551	50	88
Стенка 2	322	207	529	50	84
Стенка 3	267	203	470	50	75
Стенка 4	171	200	371	50	59
Стенка 5	389	229	617	50	98
Стенка 6	319	222	541	50	86

Равномерность на рабочей плоскости
 $E_{\min} / E_{\text{ср}}: 0.469 (1:2)$
 $E_{\min} / E_{\max}: 0.375 (1:3)$

Рисунок 7 – Светотехнический расчет аудитории 211

Аналогичным программным способом было спроектировано размещение светильников в ауд. 213, ауд. 214 и холле. С учетом всех расчетов был создан новый исполнительный план сетей освещения 2 этажа здания УНЦ ЭИ (рисунок 8).

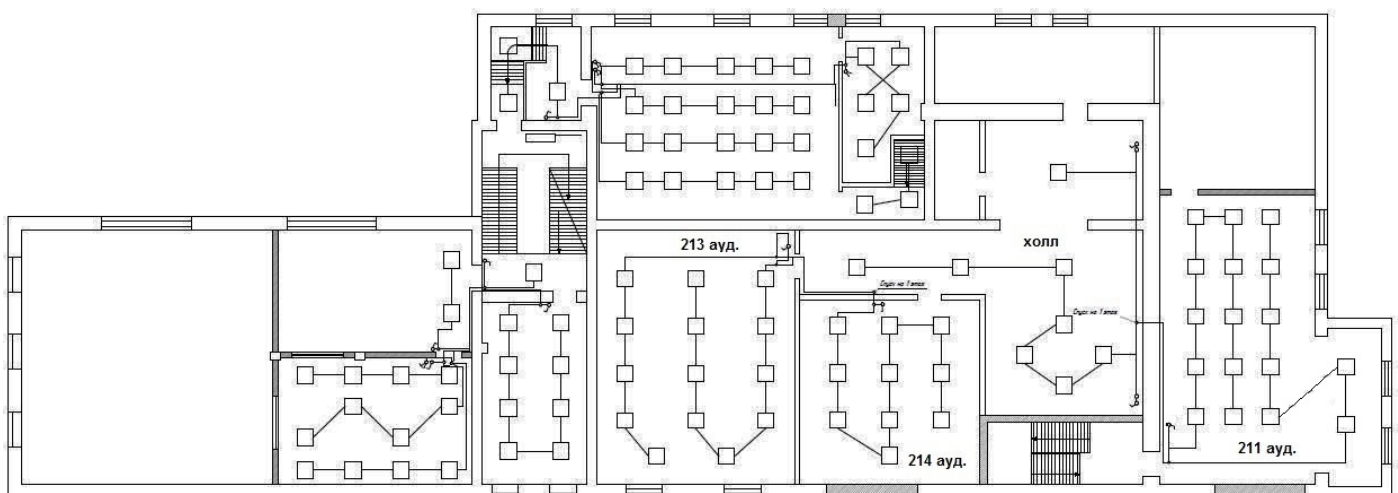


Рисунок 8- Исполнительный план освещения 2 этажа здания УНЦ ЭИ (после модернизации)

Реализация проекта ИСО на источниках возобновляемой энергии Арктической зоны

Финансово-экономический анализ проекта интеллектуальной системы здания университета в части модернизации трех аудиторий и холла показал, что капитальные затраты составят 302,7 тыс.руб., экономия эксплуатационных расходов составит 96,0 тыс. руб., а дисконтированный срок окупаемости проекта составит 2,4 года [8]. Масштабирование интеллектуального управления системой освещения на всё здание УНЦ ЭИ после замены светильников позволит получить дополнительный экономический эффект. Однако авторы считают перспективным и с экономической, и с научно-исследовательской точки зрения рассмотреть перевод интеллектуальной системы освещения здания университета на возобновляемую энергетику.

Трансформации энергетики сегодняшнего дня предполагают, что любой хозяйствующий субъект может быть не только потребителем энергии, но и ее генератором. В свою очередь, эта самогенерация может как идти на собственные нужды, так и «на сторону». Организация может становиться поставщиком энергии даже в случае, если выработка энергии не является ее основным производством, а является побочным продуктом хозяйственной деятельности. В реалиях сегодняшнего дня это особенно

актуально для альтернативной энергетики – фотоэлектрические панели, ветрогенераторы – становятся все доступнее и по стоимости, и по географическому распространению поставок, и по сервисному обслуживанию, и по ассортименту конструкций и мощностей, предлагаемому на рынке оборудования альтернативной энергетики.

Несомненно, самогенерация является важным элементом существования системы энергоменеджмента любой организации, в том числе и образовательной. Энергобаланс организации с появлением систем генерации энергии начинает иметь 2 составляющие: потребление энергии и генерация энергии. В условиях рынка, если мощности генерации энергии превышают необходимый объем для жизнедеятельности организации, создаются условия для продажи энергии (в первую очередь электрической) и выхода на электроэнергетический рынок. Это вопрос не очень далекого будущего – с учетом доступности оборудования рынка альтернативной энергетики и осознания обществом экологических ценностей. Забота о природе и здоровье человечества, сохранении экосистем и природных ресурсов, мысли и будущих поколениях, низкоуглеродный тренд, концепции зеленой энергетики и устойчивого развития [9] – стоят наравне с экономическими соображениями при принятии решений о внедрении энергоэффективных технологий, к числу которых относится и проектируемая ИСО.

Переход организации на самогенерацию, ориентированную на возобновляемые альтернативные энергетические ресурсы, дает ряд преимуществ:

- формирование устойчивой энергетической безопасности организации;
- финансовую экономию от уменьшения стоимости потребленной энергии от сторонних поставщиков – генерирующих компаний;
- возможность получения дополнительных доходов от генерации энергии;
- уменьшение выбросов парниковых газов от углеродной энергетики и как следствие – улучшение экосистемы региона местонахождения;
- формирование имиджа организации как организации с системой энергоменеджмента, ориентированной на экономический, энергетический и экологический эффекты.

Развитие возобновляемой энергетики является одним из ведущих трендов мировой энергетики. В области электрогенерации на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в 2020 г., по данным Международного агентства возобновляемой энергетики REN21¹³ и Института устойчивых технологий AEE INTEC¹⁴, наибольший вес имеет гидроэнергетика: установленная мощность 1170 ГВт, годовая выработка – 4370 ТВт·ч/год. Для ветроэнергетики эти значения составляют соответственно 743 ГВт и 1743 ТВт·ч/год, для солнечной энергетики – 708 ГВт и 901 ТВт·ч/год, для биоэнергетики выработка электрической энергии составила 602 ТВт·ч/год, для геотермальной энергетики при установленной мощности 14 ГВт, годовая выработка 947 ТВт·ч/год [10].

В России развитие возобновляемой энергетики осуществляется на основании закона №35-ФЗ «Об электроэнергетике», поправки в который с 2007 г. до 2021 г. регламентируют сооружение ветроэлектростанций (ВЭС), солнечных электростанций (СЭС), малых гидроэлектростанций (МГЭС) и других видов возобновляемой энергетики. Однако по сравнению с ведущими странами Западной Европы и США, где существуют значительные преференции для ускоренного развития применения основных источников возобновляемой энергии, в Российской Федерации наблюдается значительное отставание в процессах модернизации электроэнергетики на ВИЭ [11].

Основная инфраструктурная база САФУ находится на территории муниципального образования «Город Архангельск» и в городском округе «Северодвинск», которые входят в состав Арктической зоны РФ¹⁵. Территории, входящие в состав сухопутных территорий Арктической зоны Российской Федерации, имеют суровые климатические условия, не всегда развитую дорожную инфраструктуру, сложную и дорогостоящую логистику энергоносителей в труднодоступные населенные пункты и промышленные зоны. Также особенностями Арктической зоны, определяющими специальные подходы к ее социально-экономическому развитию, являются высокая чувствительность экологических систем к внешним воздействиям, климатические изменения, способствующие возникновению как новых экономических возможностей, так и рисков для хозяйственной деятельности и окружающей среды, устойчивая географическая и экономическая связь с Северным морским путем, неравномерность промышленно-хозяйственного освоения отдельных территорий Арктической зоны, высокая

13 Международное агентство возобновляемой энергетики REN21. URL: <https://ren21.net> (дата обращения: 06.02.2022).

14 Институт устойчивых технологий AEE INTEC. URL: <https://aee-intec.at> (дата обращения: 06.02.2022).

15 Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации": постановление Правительства Российской Федерации № 484 от 30.03.2021 г. URL: <http://static.government.ru/media/files/bIT1JDkAw1JWhBgHy1SAZIKBRINmT3pG.pdf> (дата обращения: 25.03.2022).

ресурсоемкость хозяйственной деятельности и жизнеобеспечения населения, их зависимость от поставок топлива¹⁶. Поэтому для Арктической зоны РФ особенно актуален вопрос автономного самообеспечения электроэнергией, что можно решить использованием местных возобновляемых источников энергии. Но есть особенности и сложности во внедрении ВИЭ: их работу трудно предсказать, т.к. она существенно зависит от погодных условий, что порождает новые проблемы в управлении и эксплуатации электроэнергетических систем, поскольку для обеспечения безопасной эксплуатации и стабильности энергоснабжения требуются более гибкие меры. Необходимо одновременно обеспечить быстрое действие таких систем, создать оборудование и условия для хранения энергии, а также оперативно реагировать на изменение спроса [12].

Учебно-научный центр энергетических инноваций САФУ имеет опыт использования альтернативной энергетики. К зданию УНЦ ЭИ в учебно-научных целях уже подключена ветро-солнечная станция, выработка электроэнергии которой позволяет частично закрыть потребность работы одной из учебных лабораторий. Составляющие этой станции: ветрогенератор 2 кВт, солнечные батареи 1,2 кВт, аккумуляторы, инвертор 6 кВт, солнечный контроллер, ветряной контроллер, и программно-аппаратный комплекс, который позволяет отслеживать процессы в системе (мощности, токи, напряжения). Ученые, аспиранты и студенты САФУ проводят исследования потоков солнечной инсоляции и ветряной активности, занимаются разработкой мобильной солнечной электростанции для работы в арктических условиях. Также к системе отопления УНЦ ЭИ подключен котел отопительной установки *Herz firematic 60*, работающий на биотопливе: эта установка используется в учебном процессе для подготовки специалистов-энергетиков, и для научных исследований при изучении процессов горения различных видов органических топлив и комплексного повышения эффективности работы теплогенерирующих установок.

Архангельская область, имея развитый лесопромышленный комплекс, уже второе десятилетие активно использует возможности биоэнергетики (котельные на кородеревесных отходах, на отходах деревопереработки низкосортной древесины, на древесных брикетах, топливных гранулах). На рисунке 9 представлена схема расположения объектов, работающих на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ) в Архангельской области [13].



Условные обозначения: \diamond - ВЭС, \blacklozenge - гибридная станция, \blacktriangle - биостанция

Рисунок 9 - Схема расположения объектов ВИЭ в Архангельской области

16 О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года: указ Президента Российской Федерации № 645 от 26.10.2020 г., URL: <http://actual.pravo.gov.ru/text.html#pnum=0001202010260033> (дата обращения: 26.03.2022).

Из представленной схемы видно, что биостанции имеют решающее значение в альтернативной энергетике Архангельской области.

По данным схемы и программы перспективного развития электроэнергетики Архангельской области на 2021-2025 годы¹⁷, потенциал ветровой и солнечной энергии не позволяет рассматривать модернизацию генерирующих мощностей региона на основе возобновляемых источников энергии.

Однако для региона, имеющего большое количество территорий с сезонным завозом топлива, является важным исследование и последующее использование источников возобновляемой энергетики, доступных непосредственно на территории энергопотребления. В первую очередь следует рассмотреть возможности использования ветроэнергетических станций, гибридных ветро-солнечных станций.

Значение солнечной инсоляции (количества облучения поверхности пучком солнечных лучей, даже отраженных или рассеянных облаками) имеет решающее значение при расчетах выработки солнечных (фотоэлектрических) панелей, в г. Архангельск, в силу его географического положения, солнечная активность по месяцам (рисунок 10) проявляется неравномерно, основной пик приходится на летние месяцы, а среднегодовой показатель солнечной инсоляции $2,67 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ ¹⁸.

В силу сезонной неравномерности распределения данного вида энергии, не будем рассматривать его перспективным для использования в системе энергообеспечения хозяйствующего в г. Архангельске субъекта.

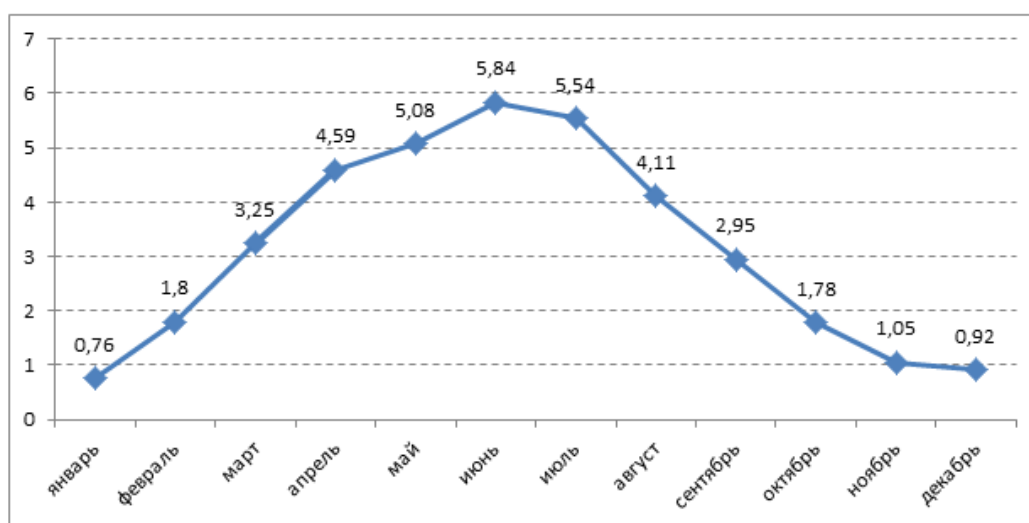


Рисунок 10 – Уровень солнечной инсоляции в г. Архангельск, кВт*ч/м²

Технические ресурсы ветра районов Архангельской области со среднегодовыми скоростями ветра выше 4 м/с (а в г. Архангельске, где находится УНЦ ЭИ, эта скорость составляет 4,4 м/с) оцениваются примерно в 1900 млрд кВт·ч. Это на порядок выше сегодняшнего уровня электропотребления Архангельской области (около 10 млрд кВт·ч) [14]. Поэтому потенциал выявленных технических ветроэнергоресурсов позволяет определить этот вид энергии для реализации проекта ИСО.

К сожалению, энергетическая стратегия РФ на период до 2035 не в полной мере определяет задачи в части повышения устойчивости и надежности электроснабжения Арктического макрорегиона с максимальным, экономически эффективным использованием местных энергетических ресурсов, а также ВИЭ с высокой долей локализации производства в стране [15].

Доработка проекта интеллектуальной системы освещения здания САФУ на основе использования в качестве источника электроснабжения энергии ветра и его последующая реализация даст новые исследовательские данные для применения этого вида энергии в Арктической зоне, позволит использовать эту технологию в университетском образовательном процессе для подготовки специалистов энергетического профиля, даст старт решению основных задач автономного энергообеспечения (энергетическая безопасность, экологичность и экономичность).

Таким образом, в качестве следующего этапа развития проекта ИСО предлагается спроектировать техническую часть реализации проекта интеллектуальной системы освещения, выбрав источником электричества возобновляемую энергетику.

¹⁷ Об утверждении схемы и программы перспективного развития электроэнергетики Архангельской области на 2021-2025 годы: указ Губернатора Архангельской области № 58-у от 28.04.2021 г. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/2900202104290004> (дата обращения: 26.03.2022).

¹⁸ Значение солнечной инсоляции в г. Архангельск (Архангельская область). URL: <https://www.betaenergy.ru/insolation/arkhangelsk/> (дата обращения 31.03.2022).

Заключение

Научные и образовательные приоритеты университета соответствуют задачам развития Арктической зоны, отраженным в Указе Президента Российской Федерации от 05.03.20 г. №164 «Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года» и Стратегии развития Арктической зоны, а научно-исследовательская инфраструктура САФУ имеет ярко выраженный арктический вектор¹⁹. Вопросы цифровой трансформации экономики определяют развитие САФУ в разрезе своих научных исследований и прикладных разработок, а вопросы энергосбережения и энергоэффективности университета как субъекта хозяйственной деятельности, решаются через систему энергетического менеджмента САФУ. Принятие принципиального решения, определяющего САФУ как «электрогенерирующий субъект» и решения о реализации проекта «умный свет», работающего на основном источнике электроэнергии, получаемым от возобновляемой энергетики региона, подтвердит следование мировому низкоуглеродному тренду. Поэтому реализация проекта интеллектуальной системы освещения на примере здания учебно-научного центра энергетических инноваций будет показательной с точки зрения энергетической, экологической и экономической эффективности, даст возможность масштабировать эту технологию на другие здания университета. Привязка проекта к источнику электрогенерации на ВИЭ позволит получить новые научные данные о возможностях их применения в Арктической зоне РФ. Также необходимо отметить важность возможного принятия решения о самогенерации в контексте образовательного процесса: при реализации данного пилотного проекта студенты университета наглядно изучат основы работы ИСО, электрогенерации на ВИЭ, работу информационной системы энергетического менеджмента университета [16-17], возможности энергоэффективности и энергосбережения при реализации цифровых технологий, смогут применить свои навыки в усовершенствовании проекта и последующем внедрении системы «умный свет» на другие объекты университета.

Список литературы:

1. Потошина Л.Е., Любова О.А., Любов В.К. Учебно-научный центр энергетических инноваций САФУ имени М.В.Ломоносова – площадка подготовки специалистов энергетического профиля для освоения арктических территорий России // Актуальные проблемы освоения месторождений нефти и газа приарктических территорий России: материалы Всероссийской научно-практической конференции САФУ имени М.В. Ломоносова. Архангельск, 2018. С. 147-153.
2. Яблонский А.И. Модели и методы исследования науки. М.: Издательство Эдиториал УРСС, 2018. 400 с.
3. G. Montoya F., Peña-García A., Juaidi A., Manzano-Agugliaro F. Indoor lighting techniques: An overview of evolution and new trends for energy saving// Energy and Buildings. 2017. Vol.140. P.50-60. DOI:10.1016/j.enbuild.2017.01.028.
4. Skarzynski Krzysztof. Future trends of energy efficient lighting// Light & Engineering. 2018. Vol.26. P.144-152.
5. Aamidor J. Energy Efficiency as a Service: Having Cake and Eating It Too // Industrial perspective. 2019. № 45. P.56-59.
6. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Кнорринг Г.М., Фадин И.М., Сидоров В.Н. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Энергоатомиздат, Санкт-Петербургское отд-ние, 1992. 448 с.
7. Справочная книга по светотехнике/ Под ред. Ю.Б.Айзенберга. 3-е изд. перераб.и доп. М.: Знак, 2006. 972 с.
8. Осипова Е.Э., Потошина Л.Е. Финансово-экономический аспект реализации проекта «интеллектуальная система освещения здания университета»// Московский экономический журнал. 2022. № 3. URL: <https://qje.su/ekonomicheskaya-teoriya/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-3-2022-64> (дата обращения: 19.06.2022).
9. Клементовичус Я.Я., Максимцев И.А., Сараханова Н.С. Предпосылки формирования низкоуглеродного тренда и его влияние на энергетический сектор// Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2022. № 1(133). С.7-17.
10. Бутузов В.А. Современное состояние развития возобновляемой энергетики России // Окружающая среда и энерговедение. 2022. №1. С.18-31. DOI:10.24412/2658-6703-2022-1-18-31.

¹⁹ Программа развития федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова» на 2021-2035 годы: распоряжение Правительства Российской Федерации № 716-р от 22.03.2021 г. URL: <http://static.government.ru/media/acts/files/1202103250011.pdf> (дата обращения: 08.02.2022).

11. Белан С. И., Бадавов Г. Б., Гусейнов Н. М. Оценка современного состояния и потенциала использования возобновляемых источников энергии в России // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 3-1. С. 284–298. DOI:10.25018/0236-1493-2021-31-0-284.
12. Змиева К.А. Интеграция зеленой и возобновляемой энергетики в интеллектуальную энергетическую систему арктических территорий посредством технологии блокчейна // Российская Арктика. 2021. № 15. С. 81–91.
13. Коновалова О. Е., Никифорова Г.В. Малая возобновляемая энергетика на Северо-Западе Арктики // Труды Кольского научного центра РАН. 2016. № 1(35). С. 117-131.
14. Минин В.А. Потенциал ветровой энергии Архангельской области // Труды Кольского научного центра РАН. 2016. №1-12 (35). С.103-117.
15. Иванов А. В., Складчиков А.А., Хренников А.Ю. Развитие электроэнергетики арктических регионов Российской Федерации с учетом использования возобновляемых источников энергии // Российская Арктика. 2021. № 2(13). С. 62-80. DOI: 10.24412/2658-4255-20212-62-80.
16. Гужов С. В., Мельничук Б.М., Петров И.В. Система энергетического менеджмента: внедрение и управление: монография. М.: Издательство МЭИ, 2018. 236 с.
17. Потошина Л.Е., Любова О.А., Любов В.К. Информационная система энергетического менеджмента САФУ имени М.В. Ломоносова// Наука нового времени: сохраняя прошлое - создаем будущее: сборник научных статей по итогам Международной научно-практической конференции. 2017. С. 229-232.

References:

1. Potoshina L.E., Lyubova O.A., Lyubov V.K. Uchebno-nauchnyj centr energeticheskikh innovacij SAFU imeni M.V.Lomonosova – ploshchadka podgotovki specialistov energeticheskogo profilya dlya osvoeniya arkticheskikh territorij Rossii [The Educational and Scientific Center for Energy Innovations of the M.V. Lomonosov NARFU is a platform for training energy specialists for the development of the Arctic territories of Russia]. Aktual'nye problemy osvoeniya mestorozhdenij nefii i gaza priarkticheskikh territorij Rossii: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii SAFU imeni M.V. Lomonosova [Materials of the All-Russian Scientific and practical conference of M.V. Lomonosov NARFU "Actual problems of development of oil and gas fields in the Arctic territories of Russia"]. Arhangel'sk, 2018, pp. 147-153. (In Russian).
2. YAblonskij A.I. Modeli i metody issledovaniya nauki [Models and methods of research of science]. Moskva, Editorial URSS Publ., 2018, 400 p. (In Russian).
3. G. Montoya F., Peña-García A., Juaidi A., Manzano-Agugliaro F. Indoor lighting techniques: An overview of evolution and new trends for energy saving. Energy and Buildings, 2017, vol.140, pp.50-60. DOI:10.1016/j.enbuild.2017.01.028.
4. Skarzynski K. Future trends of energy efficient lighting. Light & Engineering, 2018, vol.26, pp.144-152.
5. Aamidor J. Energy Efficiency as a Service: Having Cake and Eating It Too. Industrial perspective, 2019, no. 45, pp.56-59.
6. Spravochnaya kniga dlya proektirovaniya elektricheskogo osveshcheniya / Knorring G.M., Fadin I.M., Sidorov V.N. 2-e izd., pererab. i dop. [Reference book for the design of electrical lighting]. St. Petersburg, Energoatomizdat Publ., St. Petersburg department, 1992. 448 p. (In Russian).
7. Spravochnaya kniga po svetotekhnike/ Pod red. YU.B.Ajzenberga. 3-e izd. pererab.i dop. [Reference book on lighting engineering]. Moscow, Znak Publ., 2006. 972 p. (In Russian).
8. Osipova E.E., Potoshina L.E. Finansovo-ekonomicheskij aspekt realizacii proekta «intellektual'naya sistema osveshcheniya zdaniya universiteta» [Financial and economic aspect of project implementation "intelligent lighting system of university building"]. Moskovskij ekonomicheskij zhurnal [Moscow Economic Journal], 2022, vol. 3. (In Russian). Available at: <https://qje.su/ekonomicheskaya-teoriya/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-3-2022-64/> (accessed 19.06.2022).
9. Klementovichus YA.YA., Maksimcev I.A., Sarahanova N.S. Predposylki formirovaniya nizkouglerodnogo trenda i ego vliyanie na energeticheskij sector [Prerequisites for the formation of a low-carbon trend and its impact on the energy sector]. Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta [Proceedings of the St. Petersburg State University of Economics], 2022, № 1(133). pp.7-17. (In Russian).
10. Butuzov V.A. Sovremennoe sostoyanie razvitiya vozobnovlyaemoj energetiki Rossii [The current state of development of renewable energy in Russia]. Okruzhayushchaya sreda i energovedenie [Environment and energy science], 2022, №1. pp.18-31. (In Russian). DOI:10.24412/2658-6703-2022-1-18-31.

11. Belan S. I., Badavov G. B., Gusejnov N. M. Ocenka sovremennogo sostoyaniya i potentsiala ispol'zovaniya vozobnovlyaemyh istochnikov energii v Rossii [Assessment of the current state and potential of the use of renewable energy sources in Russia]. Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' [Mining information and analytical bulletin], 2021, № 3-1. pp. 284–298. (In Russian). DOI:10.25018/0236-1493-2021-31-0-284.
12. Zmieva K.A. Integraciya zelenoj i vozobnovlyaemoj energetiki v intellektual'nyu energeticheskuyu sistemu arkticheskikh territorij posredstvom tekhnologii blokchejna [Integration of green and renewable energy into the intelligent energy system of the Arctic territories through blockchain technology]. Rossijskaya Arktika [Russian Arctic], 2021, № 15. pp. 81–91. (In Russian).
13. Konovalova O. E., Nikiforova G.V. Malaya vozobnovlyaemaya energetika na Severo-Zapade Arktiki [Small renewable energy in the North-West of the Arctic]. Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN [Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2016, № 1(35). pp. 117-131. (In Russian).
14. Minin V.A. Potencial vetrovoj energii Arhangel'skoj oblasti [The potential of wind energy in the Arkhangelsk region]. Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN [Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2016, №1-12 (35). pp.103-117. (In Russian).
15. Ivanov A. V., Skladchikov A.A., Hrennikov A.YU. Razvitie elektroenergetiki arkticheskikh regionov Rossijskoj Federacii s uchetom ispol'zovaniya vozobnovlyaemyh istochnikov energii [Development of electric power industry in the Arctic regions of the Russian Federation taking into account the use of renewable energy sources]. Rossijskaya Arktika [Russian Arctic], 2021, № 2(13). pp. 62-80. (In Russian). DOI: 10.24412/2658-4255-20212-62-80.
16. Guzhov S. V., Mel'nichuk B.M., Petrov I.V. Sistema energeticheskogo menedzhmenta: vnedrenie i upravlenie: monografiya [Energy management system: implementation and management]. Moskva, MEI Publ., 2018, 236 p. (In Russian).
17. Potoshina L.E., Lyubova O.A., Lyubov V.K. Informacionnaya sistema energeticheskogo menedzhmenta SAFU imeni M.V. Lomonosova [Information system of energy Management of M.V. Lomonosov NARFU]. Nauka novogo vremeni: sohranyaya proshloe - sozdaem budushchee: sbornik nauchnyh statej po itogam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Modern Science: preserving the past - creating the future: a collection of scientific articles based on the results of the International Scientific and Practical Conference]. 2017, pp.229-232. (In Russian).

Научная статья

УДК 378.4:551.5:004

DOI: 10/24412/2658-4255-2022-4-34-52

Для цитирования:

А.Ю. Шаронов, В.А. Шматков
Атлас погоды для выполнения гидрографических работ в Арктике на примере Баренцева моря // Российская Арктика. 2022. № 19. С. 34–52

Получена: 23.11.2022
Принята: 13.12.2022
Опубликована: 27.12.2022

**АТЛАС ПОГОДЫ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ В АРКТИКЕ НА ПРИМЕРЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ**А.Ю. Шаронов¹, В.А. Шматков²

¹ ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова», г. Санкт-Петербург, Россия. Заведующий кафедрой навигационной гидрометеорологии и экологии арктического факультета. Доцент, к.г.н.

andreys Sharonov@mail.ru

² ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова», г. Санкт-Петербург, Россия. Профессор кафедры навигационной гидрометеорологии и экологии арктического факультета, д.т.н.

Аннотация:

По результатам исследований и литературных данных рассмотрена методология составления пособия «Атлас погоды для обеспечения гидрографических работ в Арктике». Проиллюстрирована необходимость учета ветра и волнения для планирования и эффективной работы гидрографических судов.

Ключевые слова: Атлас погоды, климатическая норма, морфометрическая характеристика, географическое положение моря, геоморфологическая характеристика, гранулометрический состав донных отложений, метеорологический режим, ветер и волнение, ледовый режим, ледовитость, толщина льда, ледовый класс судна

WEATHER ATLAS FOR HYDROGRAPHIC WORK IN THE ARCTIC ON THE EXAMPLE OF THE BARENTS SEAA.Yu Sharonov¹, V.A. Shmatkov²

¹ Arctic Faculty of the S.O. Makarov GUMRF, St.Petersburg, Russian Federation. Associate Professor, PhD, Head of the Department of Navigational Hydrometeorology and Ecology.

andreys Sharonov@mail.ru

² Arctic Faculty of the S.O. Makarov GUMRF, St.Petersburg, Russian Federation. Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Navigational Hydrometeorology and Ecology.

Abstract:

Based on the results of research and literature data, the methodology of compiling the manual «Weather Atlas for hydrographic work in the Arctic» is considered. The necessity of taking into account wind and waves for planning and efficient operation of hydrographic vessels is illustrated.

Key words: weather atlas, climatic norm, morphometric characteristics, geographical location of the sea, geomorphological characteristics, granulometric composition of bottom sediments, meteorological regime, wind and waves, ice regime, ice cover, ice thickness, ice class of the vessel

Введение

Слово «атлас», по-видимому, происходит от греческого *Atlas (Atlantos)*. В древнегреческой мифологии так назывались Атланты-титаны, держащие на своих плечах небесный свод в наказание за участие в борьбе с богами.

Свой основной труд, сборник карт о мире, в целом, фламандский картограф Меркатор намеревался озаглавить: «Атлас, или Космографические размышления об устройстве мира и получении изображения». На рис. 1 представлен титульный лист атласа Меркатора, который был выпущен в 1595 году уже после смерти Меркатора. Этот атлас является также и первым печатным морским атласом. Фигура Атланта, изображенная на титульном листе, и дала название сборнику карт. Со временем содержание атласов значительно расширилось. Появилось и другое значение сло-

ва. Атлас – это сборник таблиц, рисунков, чертежей, карт и т.п., относящихся к какой-либо области знания.



Рисунок 1 - Титульный лист атласа Меркатора. 1595г.

Цель работы

Целью работы является разработка структуры и содержания атласа погоды для эффективного выполнения гидрографических работ.

При планировании того или иного типа гидрографических изысканий в Арктике зачастую устанавливаются сроки, обусловленные исключительно экономическими факторами в основном с учетом простоев по погодным условиям. Практика же показывает, что эффективность морской деятельности и, в частности, гидрографических работ зависит от характера погоды и состояния поверхности моря. Планирование таких работ должно осуществляться с использованием многолетних наблюдений гидрометеорологических факторов, которые известны как «климатические нормы», и статистических характеристик, которые могут быть представлены в табличном или графическом виде. Это повторяемость и обеспеченность скоростей ветра по отдельным районам моря по месяцам и за весь год, аналогичные характеристики высот волн 3% обеспеченности по месяцам и за безледный период, длительность штормов и окон погоды для таких волн, длительность штормов и окон погоды для скоростей ветра и другие статистические характеристики. Они могут быть использованы и при отсутствии прогнозов по какой-либо причине уже непосредственно в процессе выполнения работ.

Физико-географическая характеристика района работ.

Основными физико-географическими характеристиками моря являются:

1. Географическое положение.
2. Морфометрическая характеристика моря.
3. Геоморфологическая характеристика дна.
4. Гранулометрический состав донных отложений.

Географическое положение моря обычно представляется в виде карты моря с детальным описанием (рис. 2).

Баренцево море расположено на шельфе Северного Ледовитого океана между северным побережьем европейского сектора Евразии и тремя группами архипелагов: Шпицберген, Земля Франца-Иосифа и Новая Земля. В Баренцевом море несколько сотен островов: архипелаги Шпицберген и Земля Франца-Иосифа, Новая Земля, острова Надежды, Колгуев и др. Небольшие острова, в основном, расположены вблизи материковой суши или более крупных островов. Береговая линия моря сложно-расчлененная и формирует многочисленные заливы, бухты, мысы, фьорды.

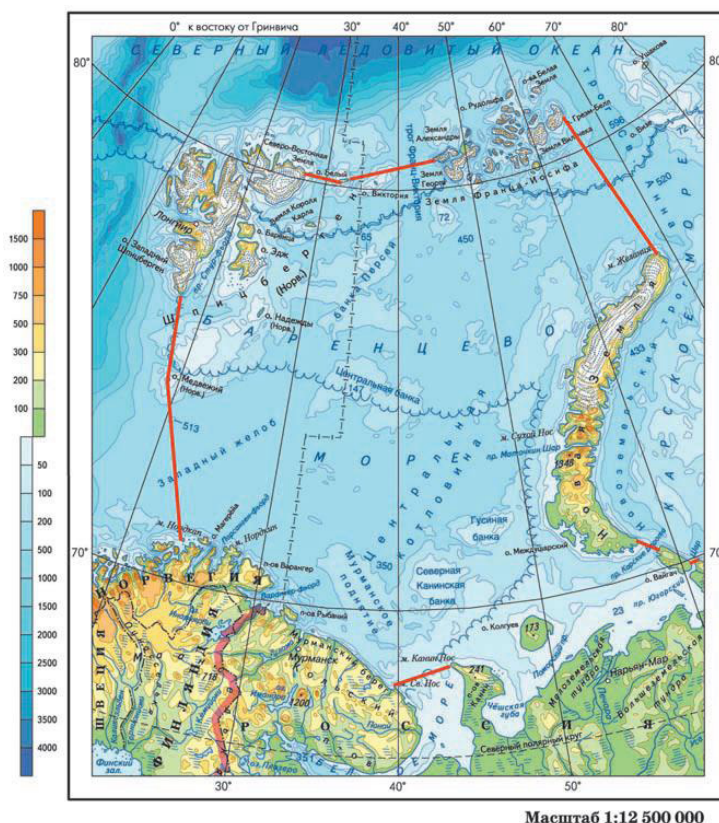


Рисунок 2 - Географическое положение Баренцева моря [1]

Морские границы этого моря проходят по линиям о. Серкапейя (арх. Шпицберген) – о. Медвежий – м. Нордкап, м. Святой Нос (Кольский п-ов) – м. Канин Нос, м. Желания (арх. Новая Земля) – м. Кользат (о. Грезм-Белл), м. Мэри Хармсуорд (о. Земля Александры) – о. Виктория – о. Белый – о. Ли-Смит о. Северо-Восточная Земля. В районе архипелага Земля Франца-Иосифа граница моря проходит по северным побережьям или оконечностям о-вов Земля Александры, Артура, Рудольфа, Ева-Лив, Грезм-Белл.

Морфометрические характеристики, такие как площадь моря, объем воды, средняя и максимальная глубина приводятся в виде таблиц. Для определения этих параметров используются крупномасштабные карты рельефа дна и набор навигационных карт масштаба от 1:750 000 до 1:2 000 000. Площадь моря определяется путем подсчета доли морской поверхности в трапециях со сторонами 20' по параллели и 1° по меридиану. Для определения объема морской воды определяется объем моря в этих же трапециях путем осреднения в них глубин. При таком способе оценки площади моря погрешность может быть от 0,07 до 0,2%.

Точность вычисления объема моря зависит от достоверности батиметрических карт. Случайные ошибки при снятии глубин с карты могут дать суммарную погрешность 0,3% объема моря.

Геоморфологическая характеристика дна (рельеф дна) представляется в виде карты с детальным описанием форм рельефа дна (рис. 3).

Дно Баренцева моря — сложно-расчлененная подводная равнина, несколько наклоненная к западу и северо-востоку; разность глубин в открытой части моря достигает 400 м; пересеченный рельеф дна существенно сказывается на гидрологических условиях моря. Наиболее глубокие районы Баренцева моря, в том числе и максимальная глубина, находятся в западной части моря.

Для рельефа дна, в целом, характерно чередование крупных структурных элементов — подводных возвышенностей и желобов, имеющих разные направления, а также существование многочисленных мелких (3–5 м) неровностей на глубинах менее 200 м и террасовидных уступов на склонах.

Гранулометрический состав донных отложений. В сентябре 2016 года в 67 рейсе НИС «Академик Келдыш» были проведены работы по изучению осадков в Баренцевом море. Работы проводились практически по всей акватории моря. Схема расположения станций отбора проб грунта представлена на рисунке 4.

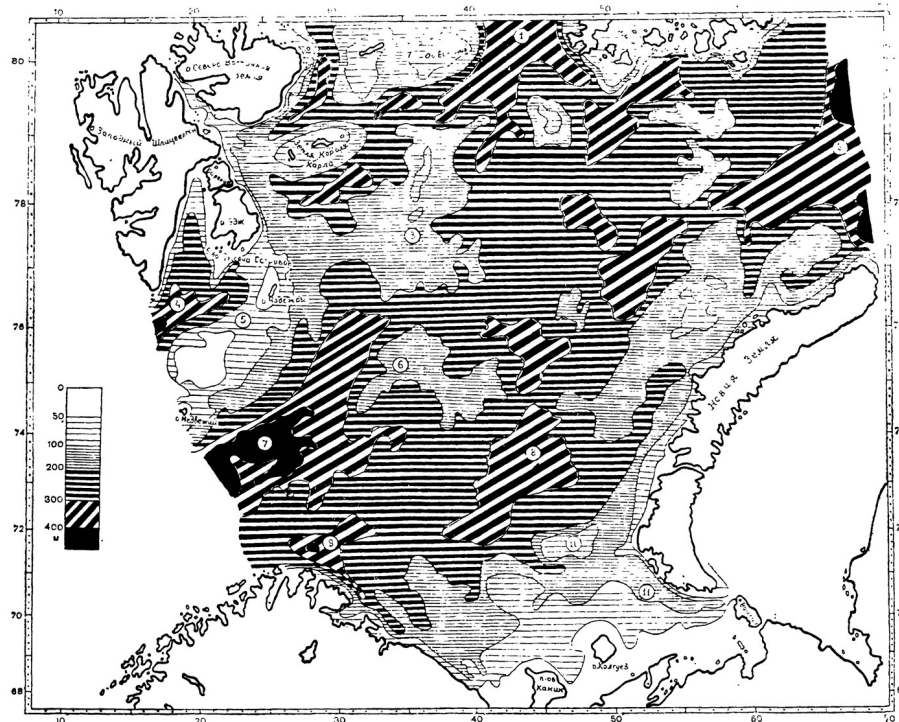


Рисунок 3 - Рельеф дна Баренцева моря [1]

- 1 — желоб Франца-Виктории; 2 — желоб Святой Анны; 3 — возвышенность Персея;
 4 — Зюндкапский жёлоб; 5 — Шпицбергенская банка; 6 — возвышенность;
 7 — Медвежинский желоб; 8 — Центральная впадина; 9 — Норвежский желоб

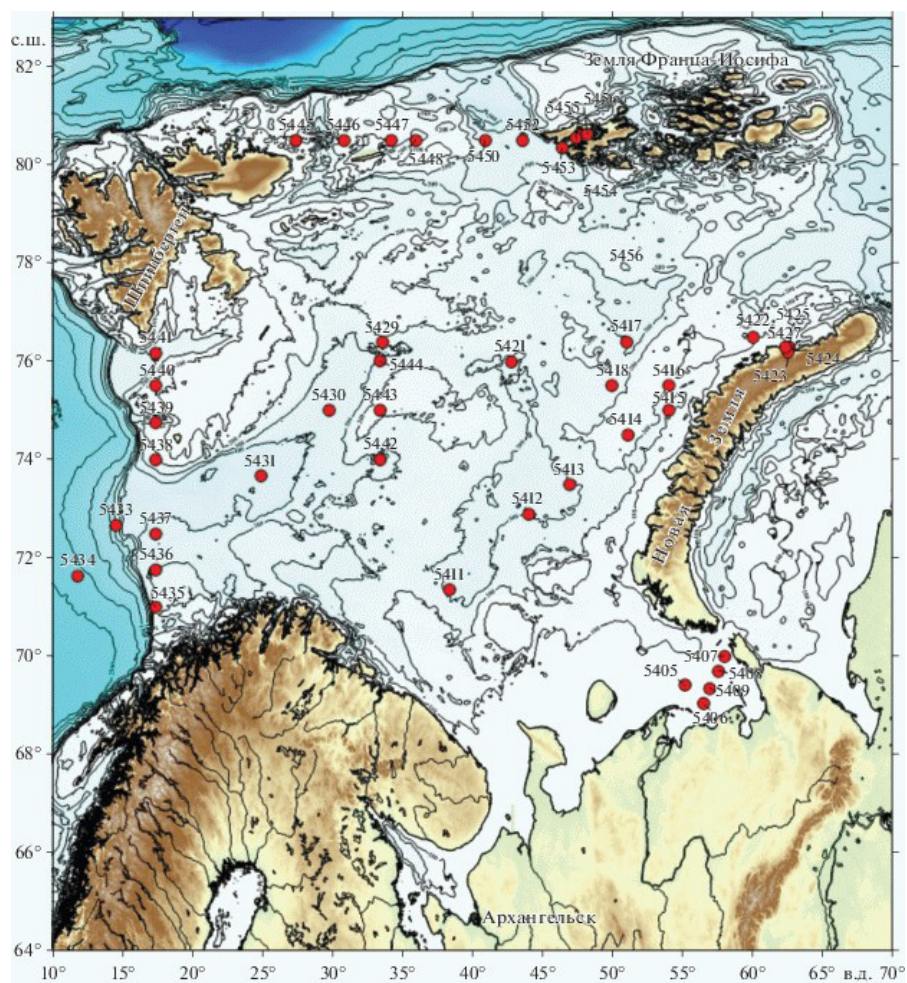


Рисунок 4 - Схема расположения станций в Баренцевом море (67-ой рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш»)[2]

Исследования проводили как на разрезах, пересекающих основные потоки переноса осадочного вещества или идущих вдоль них, так и в районах с разными условиями осадконакопления, условно названных полигонами: Печорское море, Центрально-Баренцевоморский (Штокманский), залив Русская Гавань (Северный остров архипелага Новая Земля), пролив Кембридж (Земля Франца-Иосифа).

В качестве примера рассмотрим представление исследований на полигоне в Печорском море (рис.5).

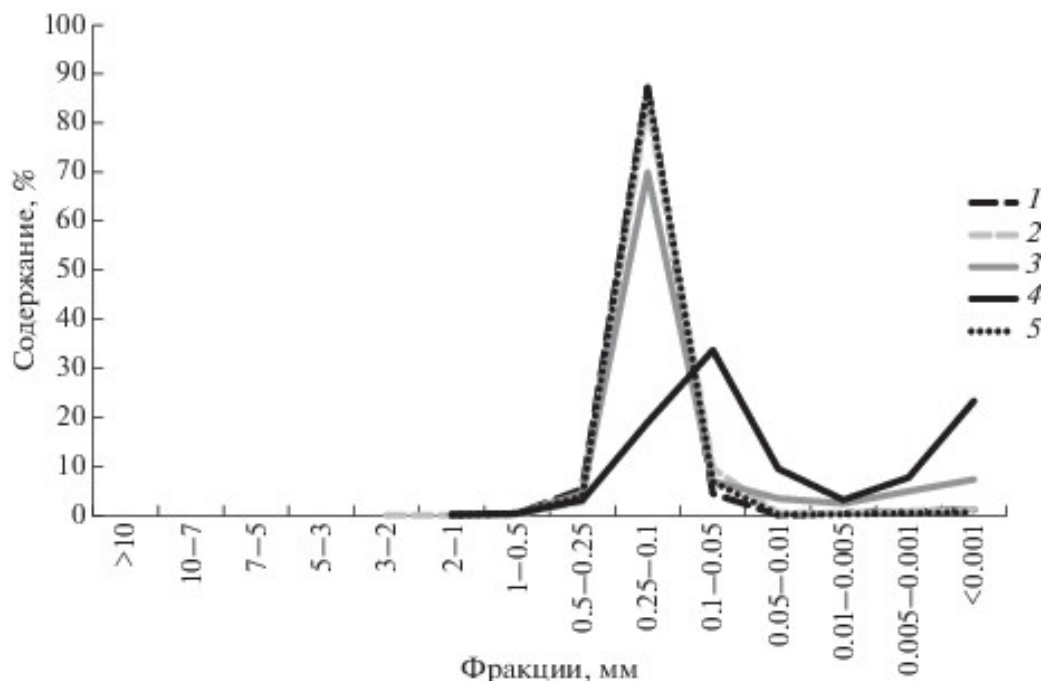


Рисунок 5 - Содержание гранулометрических фракций в поверхностном слое осадков на Печорском полигоне.
Станции: 1 - 5405, 2 - 5406, 3 - 5407, 4 - 5408, 5 - 5409 [2]

Полигон Печорское море. Одним из источников поступления осадочного материала в Печорское море является река Печора. Осадочный материал речного происхождения поступает в акваторию Печорской губы, а затем уже часть его выносится в море с помощью стоковых и приливно-отливных течений. Распределение осадков в Печорском море представляет собой достаточно мозаичную картину. Для осадков, сформированных на малых глубинах, характерным является обогащение их песком.

На полигоне Печорское море поверхностный слой донных осадков представлен отложениями преимущественно песчаной и алевритово-песчаной размерности коричневого цвета с примесью незначительного количества гравийного и галечного материала. В осадке присутствует примесь раковинного материала, целые створки раковин моллюсков 3–5 см и их обломки. В осадках на станциях 5407, 5408 отмечено большое количество полихет и их чехлов. Среди песков преобладают мелкозернистые разности, в которых большую часть составляет фракция 0.25–0.1 мм (станции 5405, 5406, 5407, 5408, 5409). Среди песчаных отложений Печорского моря по гранулометрическому составу выделяются «чистые» пески, суммарное содержание песчаных фракций в которых составляет более 90% (на ст. 5405 пески составляют 92.87%, а на ст. 5409 – 91.57% (табл.1 [2])). Нижняя граница распространения «чистых» песков ограничивается изобатой 50 м, что соответствует зоне максимального волнового воздействия на дно.

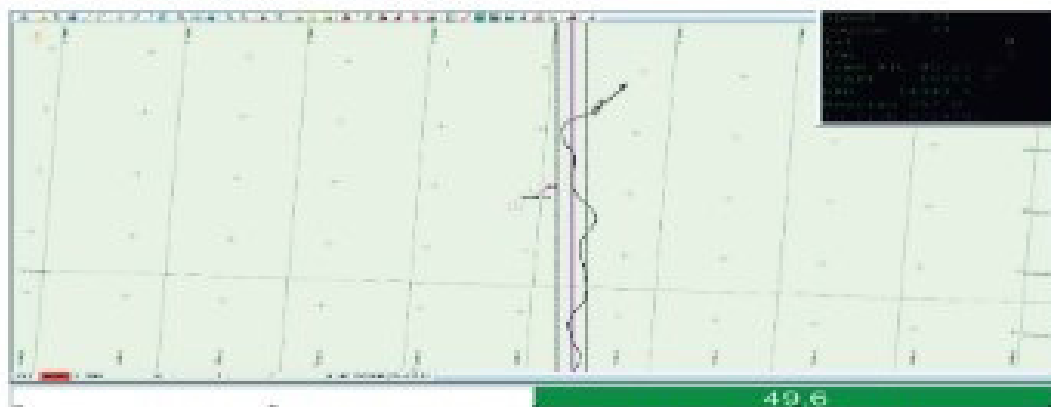
Метеорологический режим

При выполнении гидрографических работ в период отсутствия ледяного покрова основное влияние на качество получаемых данных о рельефе дна оказывает скорость ветра и волнение моря. Удержание судна на рабочем профиле в момент записи данных становится затруднительным из-за порывов ветра и усиливающегося волнения (рис. 6). Подобная проблема лишает возможности записывать данные с заявленным равномерным перекрытием, а также может поставить под угрозу безопасность судна в момент разворотов, что зачастую становится причиной временной приостановки работ.

Таблица 1

*Гранулометрические характеристики поверхностного слоя осадков
Баренцева моря [2]*

Станция	Широта, с.ш.	Долгота, в.д.	Глубина, м.	Гравий (0,1-10 мм), %	Песок (0,1-1 мм), %	Алеврит (0,01-0,1 мм), %	Пелит (0,01-0,1 мм), %	Md	So	Sk
Полигон Печорское море										
5405	69°25.02	55°15.01	33	0,27	92,87	4,55	2,31	0,157	1,30	1,00
5406	69°3.041	56°27.99	17	0,06	87,37	10,04	2,53	0,150	1,31	1,00
5407	70°0	57°58	47	0,28	74,64	10,38	14,7	0,139	1,39	0,99
5408	69°42.5	57°33	42	0,17	22,49	43,18	34,16	0,057	8,17	0,04
5409	69°21.3	56°55	20	0,09	91,57	7,03	1,31	0,155	1,30	1,00

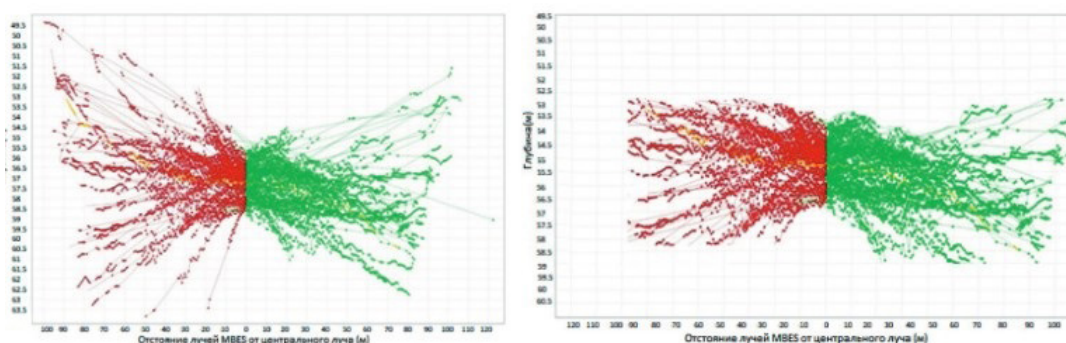


*Рисунок 6 - Изображение, полученное с навигационного экрана
с расположением судна относительно запланированного галса,
стрелкой направления его движения и треком движения [3]*

Появляется большое количество ошибочных измерений и пропусков данных, связанное с потерями сигнала приемной антенной многолучевого эхолота. Это затрудняет процесс обработки полученных данных и снижает их качество в целом (рис. 7).

а

б



*Рисунок 7 - Рельеф дна в разрезе, построенный по данным комплекса на базе
многолучевого эхолота (МЛЭ) с большим количеством ошибочных измерений и
пропусков: а – судно 1; б – судно 2 [3]. Условные обозначения: красным цветом
обозначены лучи, находящиеся слева от центрального по направлению движения
судна, зеленым – лучи, находящиеся справа от центрального луча*

При волнении затрудняется выполнение спуско-подъемных операций, что исключает получение достоверных данных о вертикальном распределении скорости звука (ВРСЗ), а это приводит к ухудшению качества съемки многолучевым эхолотом (МЛЭ) (рис. 8).

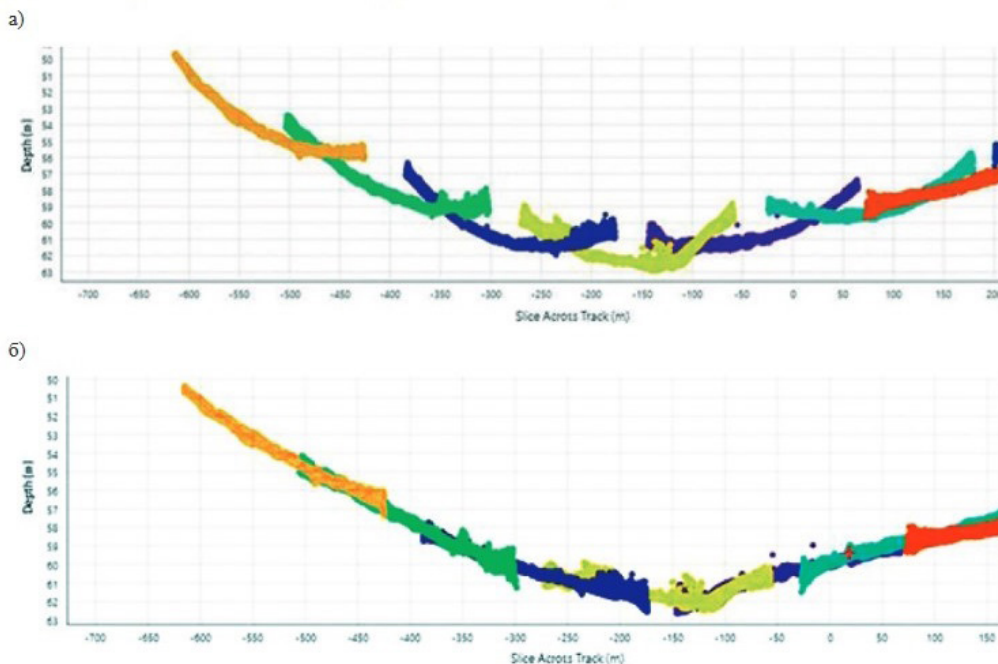


Рисунок 8 - Пример обработки участка съемки, выполненного с помощью промерного комплекса на базе МЛЭ: а — с неверными данными ВРСЗ и появлением рефракции; б — с использованием верного профиля скорости звука [3]

При работе комплексом оборудования на базе гидролокатора бокового обзора (ГБО) при волнении возникают трудности при приеме сигнала от маяка-ответчика, в результате чего определение положения буксируемого объекта (ГБО) является нестабильным. Это негативно сказывается на качестве получаемых изображений и точности их позиционирования (рис. 9).

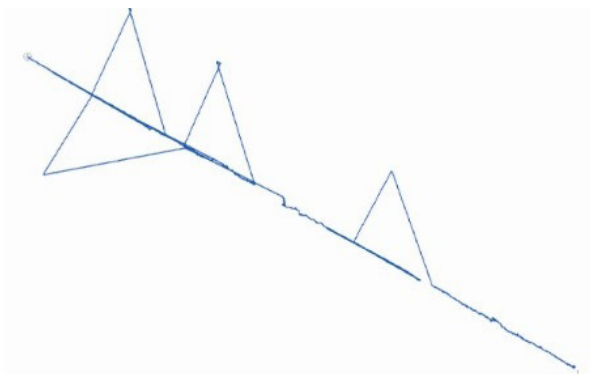


Рисунок 9 - Трек движения буксируемого объекта, построенный по данным системы подводного позиционирования, работающей в неблагоприятных погодных условиях [3]



Рисунок 10 - Пример данных съемки с использованием ГБО при высоком волнении моря [3]

На рис. 10 представлен фрагмент съемки с использованием ГБО при волнении моря. На рисунке видны искажения данных ГБО в виде белых полос пропусков из-за рывков кабель-троса, а также нестабильной работы системы подводного позиционирования. А в таблице 2 приведено количество искажений на данных ГБО на 1 км.

Таблица 2

Количество искажений на данных ГБО на 1 км

Волнение моря, баллы по шкале Бофорта	Высота волны, м	Среднее количество искажений на данных ГБО на 1 км
1	0,25	0
2	0,25-0,5	0
3	0,5-0,7	1-2
4	0,75-1,25	2-3
5	1,25-2	5
6	2-3	>8

Ветер и волнение

Условия волнообразования любой акватории не остаются неизменными. Изменения связаны с прохождением барических образований (синоптическая изменчивость), годовой ритмикой (сезонная изменчивость) и долгопериодными вариациями циркуляционных процессов (межгодовая изменчивость). В справочниках и пособиях такая разномасштабная изменчивость представлена различными статистическими характеристиками: спектрами волн, режимными распределениями и их числовыми характеристиками (например, средними значениями, дисперсией, квантилями и т.п.). Пространственная и временная детализация режимных характеристик, полнота и разнообразие набора статистик зависит от целевой направленности изданий. Требования Российского морского регистра судоходства (далее Регистр) позволяют ограничиться сведениями о ветре и волнении для конечного набора квазиоднородных районов каждой из рассматриваемых акваторий какого-либо моря. Режимные характеристики ветра и волн делятся на экстремальные и оперативные. Первые определяют так называемый режим выживания сооружения или судна, а вторые - режим их повседневной эксплуатации. При расчетах оперативных характеристик, как правило, используют стандартные процедуры. Наибольшие трудности возникают при оценке экстремальных характеристик, как в силу их наибольшей важности и ответственности за конечный результат расчетов, так и из-за нерешенности многочисленных методических проблем. Первые справочные данные по морям, омывающим берега СССР, подготовил и издал Морской Регистр СССР в 1962 г. В 1974 г. Регистром подготовлено и издано справочное пособие по режиму ветра и волнения в океанах и морях. Это пособие до настоящего времени не потеряло своей актуальности и используется при решении многочисленных прикладных задач, например, для проектирования судов, их классификации по районам плавания, планирования работы морского и промыслового флотов и т.д. В издании 1974 г. по данным визуальных наблюдений за волнением и измерений ветра в табличном и графическом виде представлены сведения о повторяемости ветра и волнения по градациям для отдельных районов и сезонов, приводятся другие элементарные статистические данные (средние значения, дисперсии, параметры распределений и т.п.). Начиная с 70-х гг., в связи с освоением шельфа морей России, потребовались более детальные, чем ранее, сведения о ветре и волнении. В настоящее время для развития мореплавания, судостроения и освоения шельфа требуются повышенные требования к составу, полноте и достоверности сведений о режиме ветра и волнения. В то же время появилась возможность в значительной степени удовлетворить эти требования благодаря использованию современной информационной базы данных, совершенствованию старых и разработке новых методов гидродинамического и вероятностного моделирования полей ветра и волн. В 2003 г. Регистром изданы справочные данные по режиму ветра и волнения Баренцева, Охотского и Каспийского морей [5]. В части 2 справочника перечислены статистические характеристики, которые могут быть помещены в «Атлас погоды» при наличии достаточно

большого ряда наблюдений этих параметров:

- наибольшие скорости ветра, возможные 1 раз в год, 5, 10, 25, 50, 100 лет, без учета направлений, и по восьми румбам, с интервалами осреднения 1 час, 10 мин и 5 с (порывы);
- длительность штормов ξ и окон погоды θ для скоростей ветра по градациям (через 5 м/с) – средние значения \bar{X} , среднеквадратические σ_x и максимальные $\max[x]$ значения по месяцам;
- повторяемость (%) скоростей ветра (V.м/с) по направлениям ϕ , повторяемость и обеспеченность скоростей ветра (V)%, и повторяемость направлений ветра (ϕ)% - по месяцам и за весь год;
- высоты, периоды, длины волн (средние, 13%, 3%, 1%, 0,1% обеспеченности), и высоты гребней 0,1% обеспеченности, возможные 1 раз в год, 5, 10, 25, 50, 100 лет;
- длительность штормов ξ и окон погоды θ для высот волн 3% обеспеченности по градациям (через 2 м) - средние значения \bar{X} , среднеквадратические σ_x и максимальные $\max[x]$ значения - по месяцам;
- повторяемость (%) высот волн 3% обеспеченности ($h_{3\%}$, м) по направлениям θ , повторяемость $f(h)\%$ и обеспеченность $F(h)\%$ высот волн, и повторяемость направлений волн $f(\theta)\%$ - по месяцам и за безледный период в целом;
- совместная повторяемость (%) высот волн 3% обеспеченности ($h_{3\%}$, м) и средних периодов τ (с), повторяемость $f(\%)$ и обеспеченность $F(\%)$ высот и периодов волн, и кривые регрессии $m_h(\tau)$, $m_\tau(h)$.

При планировании гидрографических работ из представленных в работе справочных данных следует выбрать месяцы с повторяемостью ветров 6 баллов по шкале Бофорта. Для определения значения скорости ветра, эквивалентной шкале Бофорта в м/с или узлах Всемирная метеорологическая организация рекомендует использовать следующую таблицу (таблица 3):

Таблица 3
Переводные шкалы для значений силы ветра по шкале Бофорта

Баллы по шкале Бофорта	Описательное наименование	Шкала, рекомендованная для использования при прогнозировании волнения		
		Эквивалентная скорость, м/с	Интервалы	
			м/с	узлы
0	Штиль	0,8	1 или 0	0-2
1	Тихий ветер	2,0	2	3-5
2	Легкий ветер	3,6	3-4	6-8
3	Слабый ветер	5,6	5-6	9-12
4	Умеренный ветер	7,8	7-9	13-16
5	Свежий ветер	10,2	9-11	17-21
6	Сильный ветер	12,6	12-14	22-26
7	Крепкий ветер	15,1	14-16	27-31
8	Очень крепкий ветер	17,8	17-19	32-37
9	Шторм	20,8	19-22	38-43
10	Сильный шторм	24,2	23-26	44-50
11	Жестокий шторм	28,0	26-30	51-57
12	Ураган		31 и более	58 и выше

Ветер 6 баллов – это сильный ветер в интервале (12-14 м/с). В таблицах Регистра это ветер в интервале 12-15 м/с. Примерное значение высоты значительных волн $h_{1/3}$, которые передаются в прогнозах ветрового волнения и на картах ветрового волнения определяются по формуле:

$$h_{1/3} \cong 0,22 \frac{(W_{10})^2}{g} \quad (1)$$

Где W_{10} - скорость ветра, измеренная на высоте 10 м, м/с.

Следовательно, при скорости ветра 12 м $h_{1/3} \cong 3$ м, при скорости 14 м – 4,5 м, а 15 м примерно 5 м. Максимально возможная высота волны может достигать значения $h_{max} = 1,6h_{1/3}$, т.е. 7 м.

Наибольшая повторяемость в западной части Баренцева моря такого ветра наблюдается в декабре (табл. 5) 21,7%; в январе, феврале, марте, октябре и ноябре повторяемость в среднем 20%; в сентябре – 16,5%. Благоприятные месяцы – май 9,4%, июнь 6,9% и июль 5% (табл. 4).

Таблица 4

Повторяемость скоростей ветра ($V, \text{м/с}$) по направлениям φ , повторяемость $f(V)$ и обеспеченность $F(V)$ скоростей ветра, и повторяемость направлений ветра $f(\varphi)$, % (июль)

$V(\text{м/с})$	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	$f(V)$	$F(V)$
0-3	1,9	1,8	1,1	1,6	1,9	1,7	1,3	2,1	13,4	100,0
3-6	4,0	3,4	4,7	3,0	4,1	3,5	4,2	4,4	31,3	86,6
6-9	2,8	3,6	3,0	3,9	4,7	4,1	4,9	4,4	31,4	55,3
9-12	1,7	1,8	1,8	2,7	2,2	2,5	2,4	2,2	17,4	23,9
12-15	0,9	0,6	0,9	0,7	0,4	0,7	0,4	0,4	5,0	6,5
15-18	0,1	0,3	0,3	0,2	-	0,2	0,06	0,1	1,4	1,5
≥ 18	0,06	-	-	0,06	-	-	-	-	0,1	0,1
$f(\varphi)$	11,5	11,5	11,8	12,3	13,3	12,7	13,2	13,7	100,0	-

Таблица 5

Повторяемость скоростей ветра ($V, \text{м/с}$) по направлениям φ , повторяемость $f(V)$ и обеспеченность $F(V)$ скоростей ветра, и повторяемость направлений ветра $f(\varphi)$, % (декабрь)

$V(\text{м/с})$	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	$f(V)$	$F(V)$
0-3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,7	0,3	0,3	0,2	3,0	100,0
3-6	1,4	1,6	1,2	1,7	1,5	0,8	0,7	0,7	9,7	97,0
6-9	2,4	3,2	2,2	3,0	2,9	1,0	1,5	1,9	18,1	87,3
9-12	5,0	5,2	2,8	2,6	2,2	1,9	1,4	1,3	22,4	69,2
12-15	4,5	5,0	2,9	3,2	2,2	1,5	1,2	1,2	21,7	46,8
15-18	3,2	3,5	1,9	2,0	1,8	1,1	1,0	0,6	15,0	25,1
18-21	1,9	1,4	0,8	1,1	0,9	0,3	0,5	0,06	6,9	10,2
21-24	0,2	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,4	0,2	2,2	3,3
24-27	0,1	0,1	0,06	0,2	0,1	0,06	0,1	0,06	0,9	1,1
≥ 27	0,06	-	0,06	-	-	0,06	-	-	0,2	0,2
$f(\varphi)$	19,1	20,7	12,5	14,6	12,6	7,1	7,1	6,3	100,0	-

В результирующей таблице 6 приводятся такие же данные за весь год.

Таблица 6

Повторяемость скоростей ветра ($V, \text{м/с}$) по направлениям φ , повторяемость $f(V)$ и обеспеченность $F(V)$ скоростей ветра, и повторяемость направлений ветра $f(\varphi)$, % (весь год)

$V(\text{м/с})$	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	$f(V)$	$F(V)$
0-3	0,8	0,8	0,6	0,9	1,1	0,7	0,7	0,8	6,3	100,0
3-6	2,5	2,5	2,4	2,2	2,3	2,0	2,1	2,1	18,1	93,7
6-9	3,8	4,0	3,2	3,2	3,0	2,3	2,4	2,7	24,6	75,6
9-12	4,1	4,1	3,0	2,8	2,5	2,0	1,6	2,1	22,2	50,9
12-15	3,1	2,8	2,1	2,2	1,8	1,2	0,9	1,2	15,2	28,8
15-18	1,7	1,6	1,1	1,3	0,9	0,6	0,5	0,6	8,2	13,5
18-21	0,7	0,6	0,5	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	3,7	5,3
21-24	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,07	0,07	1,3	1,6
24-27	0,04	0,04	0,02	0,07	0,06	0,02	0,03	0,01	0,3	0,04
≥ 27	0,01	0,02	-	0,01	0,01	0,01	-	-	0,1	0,1
$f(\varphi)$	17,1	16,7	13,2	13,5	12,2	9,2	8,5	9,7	100,0	-

Для характеристики высот волн приводятся таблицы повторяемости высот волн 3% обеспеченности по месяцам и за весь год. Наибольшая повторяемость высот волн 2-4 м наблюдается в октябре 48%, а наименьшая в июле – 21,3% (таблица 7)

Таблица 7

Повторяемость высот волн 3% обеспеченности ($h_{3\%}$, м) по направлениям θ , повторяемость $f(h)$ и обеспеченность $F(h)$ высот волн, и повторяемость направлений волн $f(\theta)$, % (июль)

$h_{3\%}, M$	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	$f(h)$	$F(h)$
0-2	5,1	6,0	7,3	10,6	10,3	10,9	20,0	5,7	75,9	100,0
2-4	4,0	3,3	1,7	0,9	2,6	3,5	4,3	0,8	21,3	24,1
4-6	0,4	0,6	0,3	-	-	0,4	0,2	0,4	2,3	2,8
≥ 6	0,2	-	-	-	-	0,3	-	-	0,5	0,5
$f(\theta)$	9,8	10,0	9,3	11,5	12,9	15,1	24,5	7,0	100,0	-

Наименьшая повторяемость высот волн 4-6 м наблюдается в июне (табл. 8) В этом месяце повторяемость высоты волн ≥ 4 м составляет 1,9%.

Таблица 8

Повторяемость высот волн 3% обеспеченности ($h_{3\%}$, м) по направлениям θ , повторяемость $f(h)$ и обеспеченность $F(h)$ высот волн, и повторяемость направлений волн $f(\theta)$, % (июнь)

$h_{3\%}, M$	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	$f(h)$	$F(h)$
0-2	6,1	10,5	13,2	9,1	5,2	11,7	13,5	6,9	76,2	100,0
2-4	1,0	3,2	3,1	2,1	3,3	5,9	2,4	0,7	21,9	23,8
≥ 4	0,4	-	0,1	1,0	-	0,1	0,1	0,1	1,9	1,9
$f(\theta)$	7,6	13,7	16,5	12,2	8,5	17,7	16,0	7,7	100,0	-

Наибольшая повторяемость этой градации 27,8% наблюдается в декабре таблице 9.

Таблица 9

Повторяемость высот волн 3% обеспеченности ($h_{3\%}$, м) по направлениям θ , повторяемость $f(h)$ и обеспеченность $F(h)$ высот волн, и повторяемость направлений волн $f(\theta)$, % (декабрь)

$h_{3\%}, M$	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	$f(h)$	$F(h)$
0-2	2,5	2,9	2,6	1,2	1,6	2,4	0,8	0,7	14,8	100,0
2-4	7,0	4,2	4,1	5,1	3,0	5,6	3,4	2,1	34,7	85,2
4-6	5,5	3,5	1,4	2,6	4,3	4,5	4,6	1,2	27,8	50,5
6-8	2,9	2,7	0,9	1,9	2,1	1,9	2,0	0,2	14,7	22,7
8-10	1,3	0,1	1,0	1,0	0,6	0,3	1,2	0,4	5,9	8,0
10-12	0,5	0,1	0,1	0,4	-	-	0,2	0,2	1,5	2,0
≥ 12	-	-	-	0,4	-	-	0,1	-	0,5	0,5
$f(\theta)$	19,8	13,6	10,2	12,7	11,7	14,8	12,4	4,8	100,0	-

В таблице 10 представлены повторяемости и обеспеченности высот волн за безледный период.

Таблица 10

Повторяемость высот волн 3% обеспеченности ($h_{3\%}$, м) по направлениям θ , повторяемость $f(h)$ и обеспеченность $F(h)$ высот волн, и повторяемость направлений волн $f(\theta)$, % (безледный период май – ноябрь)

$h_{3\%}, M$	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	$f(h)$	$F(h)$
0-2	4,3	5,4	5,5	5,1	5,0	6,6	8,4	3,3	43,6	100,0
2-4	5,2	4,3	3,6	4,2	4,1	5,8	4,7	2,2	34,1	56,4
4-6	2,1	1,6	1,3	2,1	1,9	2,4	1,8	0,9	14,0	22,3
6-8	0,9	0,6	0,4	0,8	0,7	1,0	0,7	0,2	5,3	8,3
8-10	0,3	0,1	0,2	0,3	0,4	0,3	0,5	0,09	2,2	3,0

$h_{3\%}, M$	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	$f(h)$	$F(h)$
10-12	0,1	0,08	0,02	0,08	0,03	0,09	0,09	0,04	0,5	0,8
≥ 12	0,02	0,04	-	0,06	0,05	0,05	-	-	0,2	0,2
$f(\theta)$	13,0	12,2	11,0	12,7	12,1	16,2	16,2	6,7	100,0	-

Ледовый режим

В арктических морях и в морях, где в зимний период года образуется ледяной покров, эффективность морской деятельности вообще и гидрографических изысканий в частности, в значительной степени зависит от ледового режима акватории. Под ледовым режимом подразумевается устойчивая последовательность наступления и развития параметров и показателей ледяного покрова, которые обусловлены воздействием географического положения водоема, его морфометрией климатическими и гидрологическими факторами. В качестве примера рассмотрим ледовый режим Баренцева моря.

Ледовитость

Ледовый режим Баренцева моря формируется под воздействием Атлантического и Северного Ледовитого океанов. Баренцево море практически никогда (даже в самые суровые зимы) не покрывается полностью льдом. Его юго-западная часть не замерзает, за исключением отдельных фьордов Мурманского побережья. Начало ледообразования в море зависит от теплозапаса воды в различных районах моря, а в северных районах – от площади старых льдов. Изохроны ранних, средних и поздних сроков начала устойчивого ледообразования показаны на рис. 11, рис. 12.

а)

б)

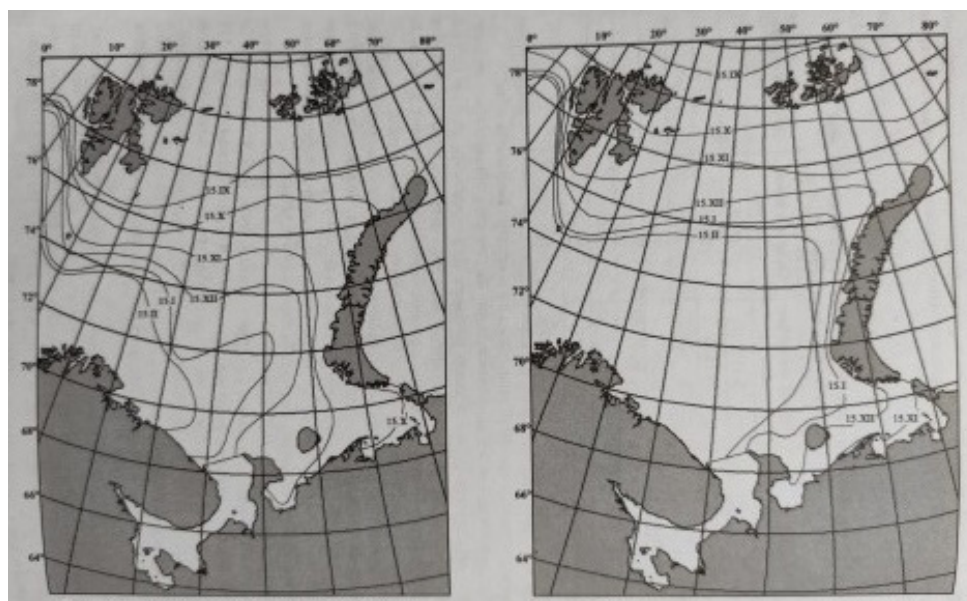


Рисунок 11 - Карта изохрон ранних и средних сроков устойчивого ледообразования в Баренцевом море: а) – ранних; б) – средних [4]

Раньше всего лед появляется в проливах Земли Франца-Иосифа и архипелага Шпицберген. Средняя дата устойчивого ледообразования приходится на 4 октября, ранняя дата – на 5 сентября и поздняя – на 3 ноября. На других участках моря молодой лед образуется позже вследствие более высокого прогрева поверхностного слоя воды. Со второй декады октября в результате усиливающего выноса льдов из Арктического бассейна и Карского моря и понижения температуры воды в северо-восточных районах моря количество льдов быстро увеличивается. В ноябре кромка льдов продвигается на юг и запад. Юго-западная часть Баренцева моря остается практически свободной ото льда. Льды образуются только в вершинах заливов, в устьях рек в виде берегового припая, который часто взламывается и выносится в море.

Для обеспечения безопасности мореплавания и эффективного использования средств гидрографических, транспортных и промысловых судов основными характеристиками ледового режима являются ледовитость и толщина льда. Ледовитость

показывает распространение льда в море или его части независимо от их сплоченности) возраста и других параметров. Ледовитость определяется отношением площади льдов к площади моря или его части и выражается в десятых долях. Максимальная ледовитость в Баренцевом море наблюдается в апреле (рис. 13).

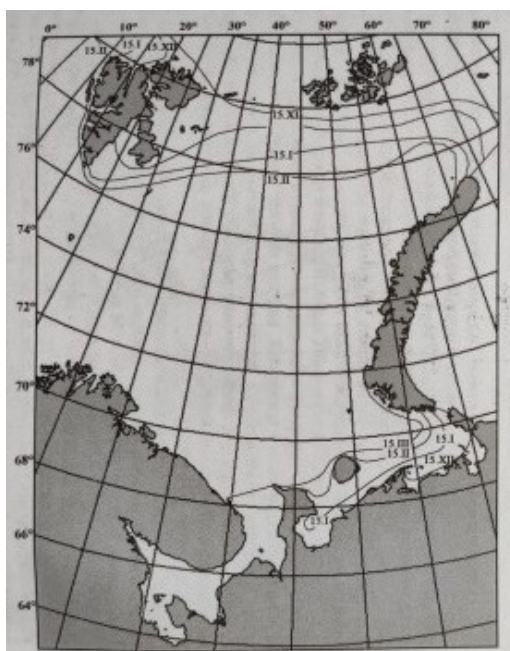
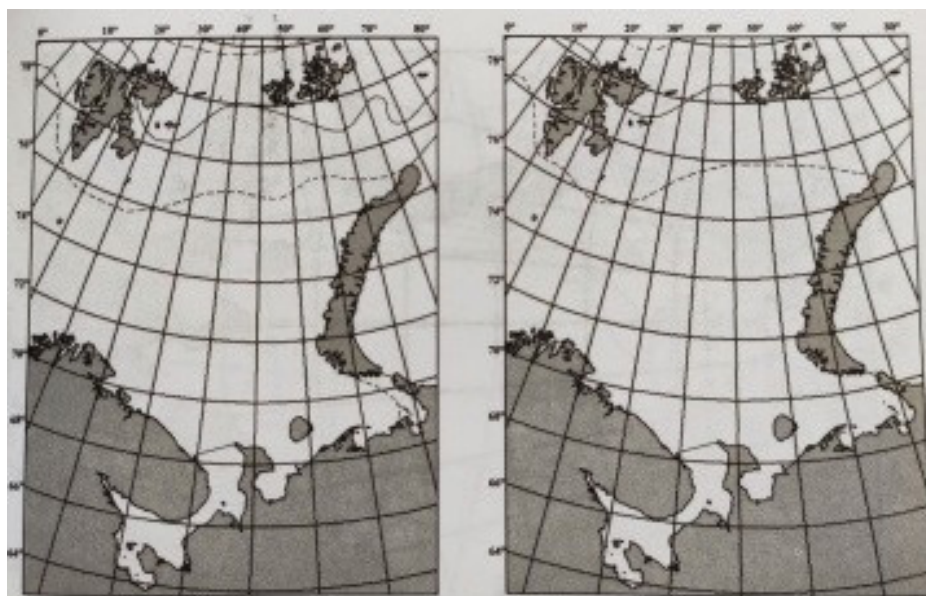


Рисунок 12 - Карта изохрон поздних сроков устойчивого ледообразования в Баренцевом море [4]



Рисунок 13 - Положение границ льда в Баренцевом море апрель [4]

Минимум ледовитости моря приходится на сентябрь (рис. 14).



август

сентябрь

Рисунок 14 - Положение границ льда в Баренцевом море на середину месяца: ---- — среднее; - - - — максимальное; - • - • - — минимальное [4]

Карты повторяемости наличия льда в мае по данным ледовых авиаразведок за 50-80 гг. XX века приведены на рис. 15.

Аналогичные карты, полученные по данным ИСЗ за первые 12 лет XXI века, показаны на рис. 16

Сопоставление карт на рис. 15 и рис. 16 показывает, что в апреле-мае изолинии 25, 50 и 75% сдвинулись на север: в северной части моря примерно на 90-140 км, в юго-восточной части и на востоке - на 50-90 км. Таким образом, произошли суще-

ственные изменения в положении этих повторяемостей. Например, повторяемость 50% в XXI веке сместилась на место, где во второй половине XX века была изолиния повторяемостью 75%. В июне-сентябре во всех районах моря наблюдается уменьшение повторяемости наличия льда на 20-30% по сравнению с повторяемостями второй половины XX века.

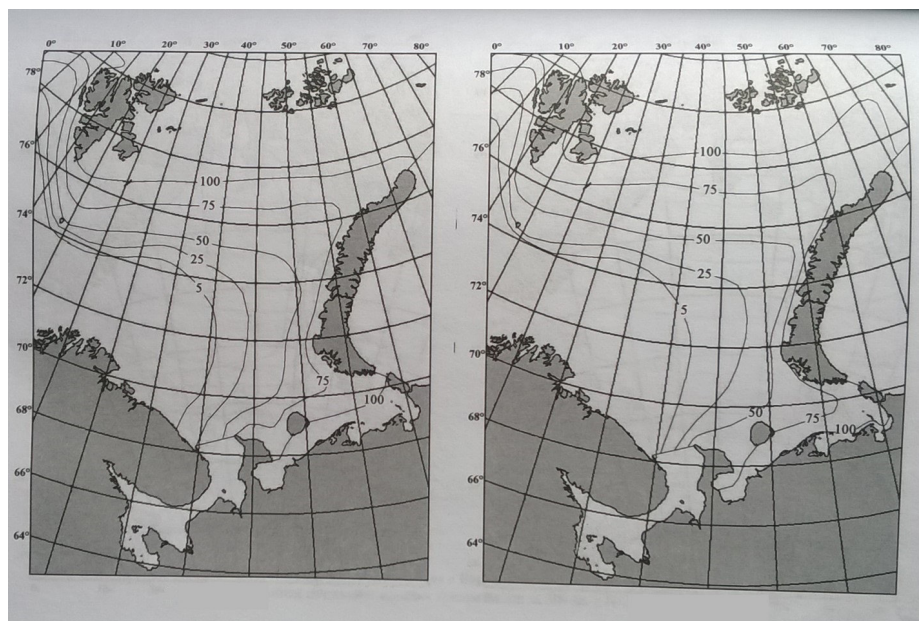


Рисунок 15 - Карта повторяемости наличия льда в мае XX века [4]

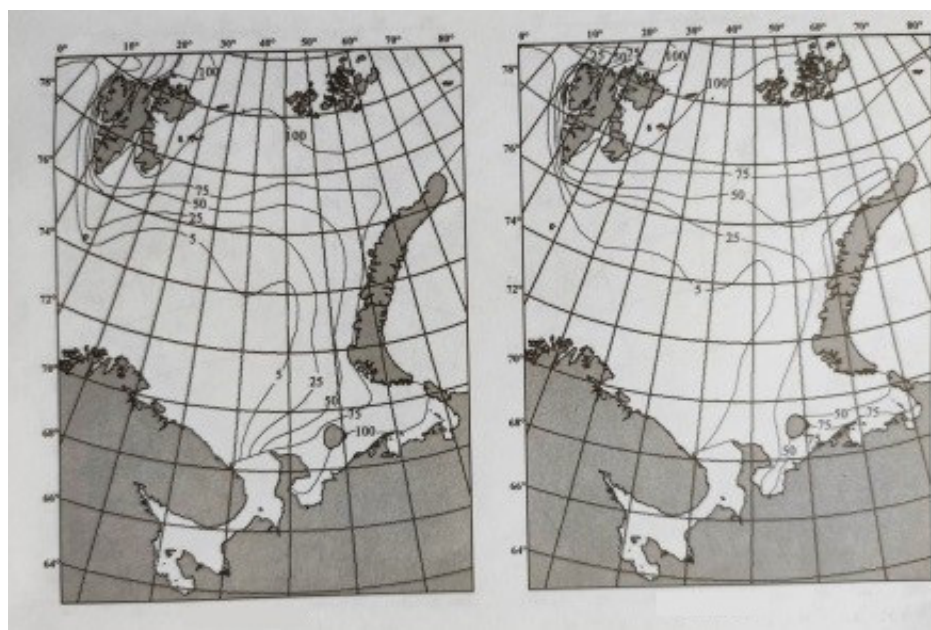


Рисунок 16 - Карта повторяемости наличия льда в апреле XXI века [4]

В вершинах бухт и фьордов, на Шпицбергене, в проливах Земли Франца-Иосифа, в заливах Новой Земли у островов: Белый, Виктория, Колгуев, а также в заливах южного побережья ежегодно устанавливается устойчивый припай. Вдоль открытого побережья Новой Земли и материкового побережья от пролива Югорский шар до мыса Канин Нос ширина припая не превышает нескольких сотен метров.

Климатические изменения XXI века существенно изменили даты ледообразования по сравнению со средними многолетними значениями. Даты устойчивого ледообразования сдвинулись в сторону более поздних сроков на 4-11 дней, даты очищения моря ото льда – в сторону более ранних сроков на 5-13 дней. Продолжительность ледового периода сократилась в среднем на 2-3 недели.

Толщина льда

Значения толщины припайного льда для полных рядов наблюдений (48-49 лет) на гидрометеорологических станциях (ГМС) Баренцева моря и для первых 12 лет XXI века

приведены в таблице 11. Анализ таблицы показывает, что в XXI веке средняя толщина припайного льда по данным разных станций уменьшилась от 1 до 11 см, а максимальная – от 20 до 65 см.

Таблица 11

Средняя и максимальная толщина припайного льда в Баренцевом море на момент наибольшего развития ледяного покрова в апреле-мае для всего периода наблюдений и для первых 12 лет XXI века (см) [4]

ГМС	Средняя толщина льда за весь период наблюдений	Максимальная толщина льда за весь период наблюдений	Средняя толщина льда за 12 лет XXI века	Максимальная толщина льда за 12 лет XXI века
Бугрино	79	112	72	85
Индига	88	114	79	90
Константиновский	108	190	103	143
Варандей	114	158	111	135
Белый Нос	123	194	112	128
О.Хейса	100	164	99	143
Малые Кармакулы	115	171	105	120

В прикромочной зоне толщина дрейфующих льдов не превышает 30 см в конце зимы. В юго-восточной части моря толщина дрейфующего льда достигает 70-80 см, а наибольшая толщина наблюдается в северной части Баренцева моря и достигает 120-140 см. В северных районах нередко встречаются айсберги. Кроме льдов, которые образуются в пределах самого моря, в его северо-западную часть зимой поступают старые льды из Северного Ледовитого океана через пролив между островами Шпицберген Земля Франца-Иосифа. Толщина таких льдов может достигать 3 м. В северо-восточную часть Баренцева моря могут приноситься льды из северной части Карского моря, толщина которых может быть больше 2 м.

Очищение моря ото льда

Процесс таяния и разрушения ледяного покрова Баренцева моря начинается в мае под действием солнечной радиации. Карта изохрон средних сроков полного очищения моря ото льда представлена на рис. 17.

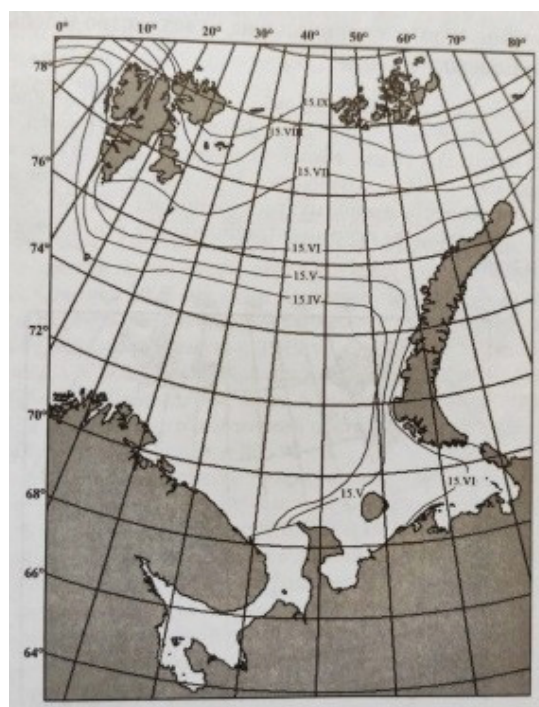


Рисунок 17 - Карта изохрон средних сроков полного очищения ото льда Баренцева моря [4]

В середине июня кромка льда располагается уже севернее 76° с.ш. в центральном районе, а на востоке моря подходит к берегам Новой Земли. К середине июля западные берега архипелага Новая Земля полностью освобождаются ото льда. Полностью освобождается ото льда и юго-восточная часть моря. В теплую часть года (май-август) над морем господствуют северные ветры. Лед дрейфует на юг, где он быстро разрушается под действием солнечной радиации и притока с юга более теплых вод.

Влияние ледовых процессов на судоходство

Ледовые условия плавания судов в районах, покрытых льдом, подразделяются на «тяжелые», «средние», «легкие» и «чистая вода». Каждое судно должно иметь ледовый класс, присвоенный ему организацией уполномоченной на классификацию и освидетельствование судов. Критерии допуска судов в акваторию Северного морского пути (СМП) представлены в табл. 12 – 13 [5]. Районы 1,2,3,4,5,6,7, – это районы Карского моря при гидрометеорологическом обеспечении ледовой навигации. Районы 3 и 4 – это акватория моря, прилегающая к западному берегу островов Новая Земля. Здесь находится Новоземельская впадина. Ледовые условия этих частей Карского моря близки к ледовым условиям юго-восточной части Баренцева моря и характеризовать его ледовый режим плавания можно по таблицам 12-13 [5].

Таблица 12

Критерии допуска для судов без ледовых классов и с ледовыми классами
Ice1- Ice3 с 1 июля по 15 ноября¹

Ледовый класс судна	Способ ледового плавания	Районы акватории Северного морского пути						
		1,2,3, 4,5, 6,7	8,9, 10,11	12,13, 14	15,16, 17	18,19, 20,21	22,23, 24,27	25,26 28
		ТСЛЧ	ТСЛЧ	ТСЛЧ	ТСЛЧ	ТСЛЧ	ТСЛЧ	ТСЛЧ
Без ледового класса	СП	- - - +	- - - +	- - - +	- - - +	- - - +	- - - +	- - - +
	ПЛ	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++
Ice1	СП	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++
	ПЛ	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++
Ice2	СП	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++
	ПЛ	- + ++	- + ++	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++
Ice3	СП	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++
	ПЛ	- +++	- +++	- - ++	- - ++	- - ++	- - ++	- + ++

Таблица 13

Критерии допуска для судов с ледовыми классами Arc4 - Arc9

Ледовый класс судна	Способ ледового плавания	Районы акватории Северного морского пути						
		1,2,3, 4,5, 6,7	8,9, 10,11	12,13, 14	15,16, 17	18,19, 20,21	22,23, 24,27	25,26 28
		ТСЛЧ	ТСЛЧ	ТСЛЧ	ТСЛЧ	ТСЛЧ	ТСЛЧ	ТСЛЧ
Arc4	СП	- *+ +	- - + +	- - + +	- - + +	- - + +	- - + +	- *+ +
	ПЛ	+ + + +	+ + + +	- + + +	- + + +	- + + +	- + + +	- + + +
Arc5	СП	- *+ +	- - + +	- - + +	- - + +	- - + +	- - + +	- *+ +
	ПЛ	+ + + +	+ + + +	- + + +	- + + +	- + + +	- + + +	- + + +
Arc6	СП	*+ + +	- *+ +	- *+ +	- *+ +	- *+ +	- *+ +	- *+ +
	ПЛ	+ + + +	+ + + +	- + + +	- + + +	- + + +	- + + +	- + + +
Arc7	СП	+ + + +	*+ + +	*+ + +	*+ + +	*+ + +	*+ + +	*+ + +
	ПЛ	+ + + +	+ + + +	+ + + +	+ + + +	+ + + +	+ + + +	+ + + +

¹ Для судов без ледовых классов и с ледовыми классами Ice1- Ice3 плавание в акватории СМП запрещено с 16 ноября по 31 декабря и с января по июнь. Описание границ районов акватории СМП приведено в приложении №3 к Правилам плавания в акватории СМП, утвержденным постановлением Правительства РФ от 18 сентября 2020 г. № 1487 «Об утверждении правил плавания в акватории Северного морского пути».

Ледовый класс судна	Способ ледового плавания	Районы акватории Северного морского пути						
		1,2,3, 4,5, 6,7	8,9, 10,11	12,13, 14	15,16, 17	18,19, 20,21	22,23, 24,27	25,26 28
		ТСЛЧ	ТСЛЧ	ТСЛЧ	ТСЛЧ	ТСЛЧ	ТСЛЧ	ТСЛЧ
Arc8	СП	+ + +	+ + +	* + +	* + +	* + +	* + +	+ + +
	ПЛ	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +
Arc9	СП	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +
	ПЛ	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +

Таблица 14

Критерии допуска для ледоколов с ледовыми классами Icebreaker6 – Icebreaker7² с 1 января по 30 июня и с 1 по 31 декабря

Ледовый класс судна	Способ ледового плавания	Районы акватории Северного морского пути						
		1,2,3, 4,5, 6,7	8,9, 10,11	12,13, 14	15,16, 17	18,19, 20,21	22,23, 24,27	25,26 28
		ТСЛЧ	ТСЛЧ	ТСЛЧ	ТСЛЧ	ТСЛЧ	ТСЛЧ	ТСЛЧ
Icebreaker6	СП	- - +	- - +	- - +	- - +	- - +	- - +	- - +
	ПЛ	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +
Icebreaker7	СП	- + +	- + +	- + +	- + +	- + +	- + +	- + +
	ПЛ	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +

Условные обозначения, применяемые в таблицах:

СП - самостоятельное плавание;

ПЛ - плавание под проводкой ледокола;

Т - тяжелый тип ледовых условий;

С - средний тип ледовых условий;

Л - легкий тип ледовых условий;

Ч - чистая вода;

+ - плавание судна разрешено;

- - плавание судна запрещено;

* - разрешено самостоятельное плавание с 1 июля по 30 ноября.

Анализируя сведения, представленные в таблицах 12 – 14 и карты ледовой обстановки (рис. 14-18) можно сделать следующие выводы.

Легкий тип ледовых условий плавания. Начальные, молодые (10-30 см) и тонкие однолетние льды до 0,7 м, возможно присутствие 25% средних однолетних льдов толщиной до 1,2 м. К самостоятельному плаванию допускаются все суда, имеющие ледовый класс (от Ice1 и выше).

Средний тип ледовых условий. Однолетний лед средней толщины 70-120 см в количестве 25% и более возможно присутствие 25% толстых однолетних льдов толщиной 120 см. Допускаются к плаванию суда ледового класса Arc6 и выше и суда категории Arc5 с 1 июля по 30 ноября.

Тяжелые условия плавания. Толстые однолетние льды толщиной 1,2 м в количестве 25% и старые льды толщиной больше 2 м в количестве 25%. К самостоятельному плаванию допускаются суда ледового класса Arc7 и выше и суда ледового класса Arc6 с 1 июня по 30 ноября.

Все суда ледового класса Arc4 и выше допускаются к плаванию под проводкой ледокола при всех условиях ледового плавания.

Суда без ледового класса допускаются к плаванию в акватории Северного морского пути только при отсутствии льда. При легких условиях допускается плавание под проводкой ледокола судов с ледовыми классами Ice1 – Ice3, и без ледового класса.

При средних ледовых условиях допускается плавание судов ледового класса Ice2 и Ice3 под проводкой ледокола.

На рис. 18, рис. 19 и рис. 20 показаны ледовые карты при легких, средних и тяжелых ледовых условиях плавания соответственно.

² Для судов с ледовым классом Icebreaker6 – Icebreaker7 в период навигации с 1 июля по 30 ноября разрешено плавание без ледокольной проводки. Для судов с ледовым классом Icebreaker8 – Icebreaker9 ограничения по плаванию в акватории СМП отсутствуют.

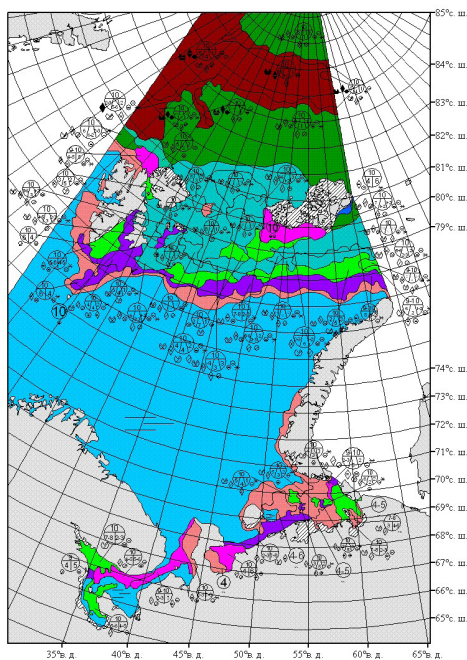


Рисунок 18 - Ледовая обстановка в Баренцевом море в апреле 2008 года

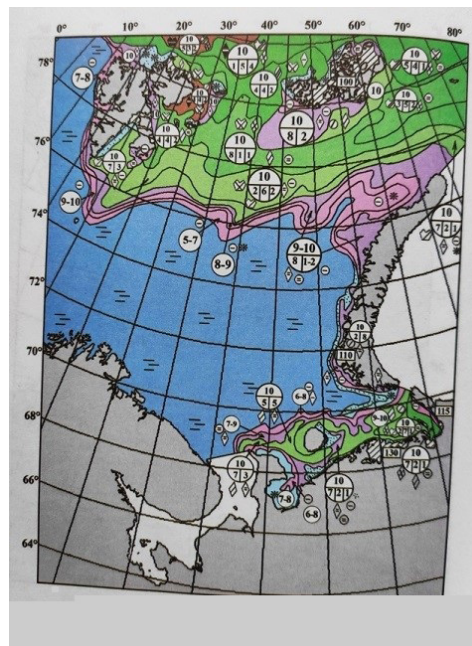


Рисунок 19 - Ледовая обстановка в Баренцевом море в апреле 2011 года

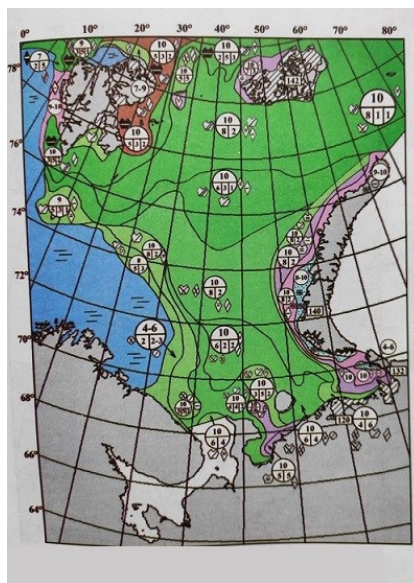


Рисунок 20 - Ледовая обстановка в Баренцевом море в апреле 1979 года

Заключение

Работа гидрографических судов, кроме общего гидрометеорологического обеспечения работ в море, требует дополнительно специфического обеспечения. Это связано с характером и задачами, которые эти суда выполняют. В содержании «Атласа погоды» для гидрометеорологического обеспечения гидрографических работ в Арктике должны быть представлены четыре раздела:

- физико-географическая характеристика объекта работ;
- метеорологический режим, в котором представляются статистические характеристики ветра и высот волн;
- ледовый режим акватории моря;
- влияние ледовых условий на работу гидрографических судов.

Приведенные в статье таблицы повторяемости и обеспеченности ветров и высот волн, характеристика и сроки наступления фаз ледового режима могут служить основой для выбора благоприятных месяцев года для выполнения гидрографических работ с наибольшей эффективностью.

Список литературы:

1. Комплексные исследования в Баренцевом и Гренландском морях на НИС «Дальные зеленцы»/Д.В. Моисеев, Е.А. Горбуль, О.Ю. Кудрявцева и др.//Экспедиционная деятельность в рамках Международного полярного года 2007. СПб. 2009, с.25.
2. Алексеева Т.Н., Полетова Н.В., Козина Н.В. Гранулометрический состав поверхностного слоя донных осадков Баренцева моря. *Океанология*. 2020.Т60, № 6, стр.915-929.
3. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.1 Баренцево море, вып.1 Гидрометеорологические условия. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1990 – 281 с.
4. Багров Лео. История картографии/Пер. с англ. Н.И. Лисовой. – М.: ЗАО Центрполиграф, 2004. – 319 с. JSBN 5-9524-1078-2.
5. Думанская И.О. Ледовые условия морей европейской части России. – М.; Обнинск: Издательская группа «Социальные науки», 2014. – 608с.
6. Иванов В.В. Влияние размеров и осадки судна на качество выполнения комплексных гидрографических изысканий/ Р.В. Иванов, Д.А. Полубелов/Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адм. С.О. Макарова – 2019. – Т.11. - № 2 – с 332 – 339 – DOI: 1021821/2309-5180-2019-11-2-332-339.
7. Миронов Е.У. Ледовые условия в Гренландском и Баренцевом морях и их долгосрочный прогноз. – Санкт-Петербург: ААНИИ, 2004- 319с.
8. Моря российской Арктики в современных климатических условиях. СПб: ААНИИ, 2021. 360с.ил.
9. Правила плавания в акватории Северного морского пути. М.: Постановление Правительства Российской Федерации от 18 сентября 2020 года №1487. – 33 с.
10. Система Баренцева моря/под редакцией академика А.П. Лисицына – М.: ГЕОС, 2021, 672 с.
11. Справочные данные по режиму ветра и волнения Баренцева, Охотского и Каспийского морей. – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2003. – 213с.
12. Шаронов А.Ю., География водных путей. - Учебник, - СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2017. – 392 с.

References:

1. Comprehensive research in the Barents and Greenland Seas at the Research Institute "Dal'nye zelentsy"/D.V. Moiseev, E.A. Gorbul, O.Y. Kudryavtseva et al.//Expedition activity within the framework of the International Polar Year 2007. St. Petersburg. 2009, p.25.
2. Alekseeva T.N., Poletova N.V., Kozina N.V. Granulometric composition of the surface layer of bottom sediments of the Barents Sea. *Oceanology*. 2020.T60, No. 6, pp.915-929.
3. Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR. Vol.1 Barents Sea, issue 1 Hydrometeorological conditions. – Leningrad: Hydrometeoizdat, 1990 – 281 p.
4. Bagrov Leo. History of cartography/Translated from the English by N.I. Lisova. – М.: ZAO Tsentrpoligraf, 2004. – 319 p. JSBN 5-9524-1078-2.
5. Dumanskaya I.O. Ice conditions of the seas of the European part of Russia. – М.; Obninsk: Publishing Group "Social Sciences", 2014. – 608s.
6. Ivanov V.V. The influence of the size and draft of the vessel on the quality of complex hydrographic surveys/ R.V. Ivanov, D.A. Polubelov/Bulletin of the State University of Marine and River Fleet named after Adm. S.O. Makarov – 2019. – Vol.11. - No. 2 – from 332 – 339 – DOI: 1021821/2309-5180-2019-11-2-332-339.
7. Mironov E.U. Ice conditions in the Greenland and Barents Seas and their long-term forecast. – St. Petersburg: AANI, 2004- 319с.
8. Seas of the Russian Arctic in modern climatic conditions. St. Petersburg: AANI, 2021. 360с.il.
9. Rules of navigation in the waters of the Northern Sea Route. М.: Decree of the Government of the Russian Federation of September 18, 2020 No. 1487. – 33 p.
10. The Barents Sea system/ edited by Academician A.P. Lisitsyn – М.: GEOS, 2021, 672 p.
11. Reference data on the wind and wave regime of the Barents, Okhotsk and Caspian Seas. – St. Petersburg: Russian Maritime Register of Shipping, 2003. – 213s.
12. Sharonov A.Yu., Geography of waterways. - Textbook, - St. Petersburg, Publishing house of the GUMRF named after S.O. Makarov, 2017. – 392 p.

Научная статья

УДК 502/504

DOI: 10/24412/2658-4255-2022-4-53-60

Для цитирования:

Мискевич И.В., Коробов В.В. Оценка изменчивости соотношения концентраций общего азота и общего фосфора в маргинальных фильтрах приливных устьев рек Белого и Баренцева морей// Российская Арктика. 2022. № 19. С. 53–60

Получена: 08.12.2022
Принята: 23.12.2022
Опубликована: 27.12.2022

Работа выполнена в рамках темы госзадания № FMWE-2021-0006 «Современные и древние донные осадки и взвесь Мирового океана – геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов – литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек» и № FMGE-2019-0007 (AAAA-A19-119021990093-8) «Оценка физико-географических, гидрологических и биотических изменений окружающей среды и их последствий для создания основ устойчивого природопользования».



ОЦЕНКА ИЗМЕНЧИВОСТИ СООТНОШЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ОБЩЕГО АЗОТА И ОБЩЕГО ФОСФОРА В МАРГИНАЛЬНЫХ ФИЛЬТРАХ ПРИЛИВНЫХ УСТЬЕВ РЕК БЕЛОГО И БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ

И.В. Мискевич¹ , В.В. Коробов² ¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия. Д.г.н.² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия. Д.г.н. szoioran@mail.ru**Аннотация:**

Выявлено, что параметр $N_{\text{общ.}}/P_{\text{общ.}}$ в приливных устьях Белого и Баренцева морей имеет тенденцию к возрастанию в зоне биологической ступени маргинального фильтра по мере приближения к водам открытых акваторий моря. Здесь концентрации общего азота в растворенной форме явно превышают концентрации общего фосфора, приближаясь к их соотношению, определенному для их минеральных солей. Минимум параметра $N_{\text{общ.}}/P_{\text{общ.}}$ наблюдается в зоне коагуляционно-сорбционной ступени маргинального фильтра, но в устьях некоторых малых рек он может отмечаться и в зоне гравитационной ступени. Здесь концентрации общего фосфора могут достигать уровня содержания общего азота или даже превышать его. Подобная ситуация, видимо, связана с особенностями пространственного распределения граничных поверхностей (вода-берег, вода-дно, вода-макрофиты) в устьевых объектах с наличием приливных осушек.

Ключевые слова: устья рек, Белое море, Баренцево море, прилив, соленость, азот, фосфор, маргинальный фильтр

ESTIMATION OF VARIABILITY OF THE RATIO OF TOTAL NITROGEN AND TOTAL PHOSPHORUS CONCENTRATIONS IN MARGINAL FILTERS OF TIDAL ESTUARIES OF THE WHITE AND BARENTS SEAS

I.V. Miskevich¹ , V.V. Korobov² ¹ Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. Doctor of Geographical Sciences.² Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. Doctor of Geographical Sciences. szoioran@mail.ru**Abstract:**

It was revealed that the parameter $N_{\text{tot.}}/P_{\text{tot.}}$ in the tidal mouths of the rivers of the western sector of the Russian Arctic tends to increase in the zone of the biological stage of the marginal filter as it approaches the waters of the open waters of the sea. Here, the concentrations of total nitrogen in dissolved form clearly exceed the concentrations of total phosphorus, approaching their ratio determined for their mineral salts. Minimum parameter $N_{\text{tot.}}/P_{\text{tot.}}$ is observed in the zone of the coagulation-sorption stage of the marginal filter, but in the mouths of some small rivers it can also be observed in the zone of the gravitational stage. Here, the concentrations of total phosphorus can reach the level of total nitrogen or even exceed it. This situation is apparently related to the peculiarities of the spatial distribution of boundary surfaces (water-coast, water-bottom, water-macrophytes) in estuarine objects with the presence of tidal drylands.

Key words: river mouths, White Sea, Barents Sea, tides, salinity,

Введение

Устьевые области приливных арктических морей отличаются широким разнообразием природных условий. По данным натурных наблюдений можно сделать вывод, что каждое устье представляет собой уникальный природный объект [1,2,3].

Характерной чертой устьевых областей являются маргинальные фильтры, в которых в результате взаимодействия морских и речных вод происходит осаждение многих веществ. Модель маргинального фильтра, предложенная академиком А.П. Лисицыным [4], позволяет получать качественные и количественные оценки процессов обмена различными веществами между сушей и морем через устьевые речные системы с учетом изменчивости протекающих в них геологических, гидрологических, гидрохимических и гидробиологических процессов. Такая изменчивость анализируется по отношению к пространственному распределению солёности в зоне смешения речных и морских вод. При этом, обычно, используются графики связи солёности с исследуемым параметром, но они часто имеют очень низкую корреляцию из-за многофакторности воздействия на него в различных диапазонах солёности. Одним из методов решения данной проблемы может быть использование не конкретного показателя, а отношения или другой комбинации различных показателей, особенно выступающих в роли определенного индикатора различных геоэкологических процессов. В данной ситуации наиболее часто используют отношение различных соединений к химическим элементам, получившим наиболее широкое распространение в природной среде. К ним, например, можно отнести кремний, алюминий и железо [5,6,7]. Также используются и соотношения некоторых изотопов одного элемента, в частности, свинца $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ и стронция $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ [8,9], что позволяет определить пути формирования донных осадков в арктических морях.

В настоящей статье показано применение подобного подхода для соотношения общего азота к общему фосфору ($N_{\text{общ.}}/P_{\text{общ.}}$) с учетом их растворимых форм для приливных устьев рек Белого и Баренцева морей. Это соотношение используется для контроля биологических процессов в морской воде [10]. Такое соотношение для морских и устьевых вод слабо изучено в отличие от расчетов только по минеральным формам азота и фосфора. В частности, в работе [11] приведены рассматриваемые соотношения для различных районов Белого моря. В ней указано, что параметр N/P летом в эвфотическом слое в среднем колеблется от 11 в Двинском заливе и Горле Белого моря, до 25 - в Кандалакшском заливе. Он определяется спецификой потребления биогенных веществ фитопланктоном и рассматривается как составная часть коэффициента Рэдфилда (C:N:P), в котором средний параметр N/P для Мирового океана равен 16 [12]. В этой триаде ключевое значение имеют азот и фосфор, поскольку, как подчеркивается в [10], углерод в воде присутствует всегда, а вот азота и фосфора может и не быть.

Отношение ($N_{\text{общ.}}/P_{\text{общ.}}$) важно ещё и потому, что позволяет находить показатели, более адекватно характеризующие процессы, протекающие в водных экосистемах. Так, при анализе состояния экосистем в крупных водохранилищах было установлено, что отклики фитопланктона в таких водоёмах в незначительной степени зависят гидрологических факторов и содержания $P_{\text{общ.}}$ и $N_{\text{общ.}}$, но закономерно изменяются по градиенту отношения ($N_{\text{общ.}}/P_{\text{общ.}}$) [13].

Для исследований были привлечены данные экспедиций Северо-Западного отделения Института океанологии Российской академии наук, проведенные в устьях мезоприливных и макроприливных больших, средних и малых рек в период с 2015 по 2022 годы. Здесь и далее размеры рек указаны в соответствии с ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения». Напомним, что в мезоприливных устьях рек сизигийная величина прилива на устьевом взморье превышает 1,6 метра, но меньше 2,8 метров, в макроприливных устьях рек она превышает 2,8 метров.

Исследования проводились летом (июль, август) в мезоприливных устьях рек Онега, Кянда и Тамица в Белом море, Индига в Баренцевом море, а также в макроприливных устьях рек Кулой в Белом море и Чёша в Баренцевом море (рис. 1).

Три реки из вышеперечисленных, Кянда, Тамица и Чёша, имеют площадь водосбора менее 2000 км², и согласно классификации В.Н. Михайлова [14] относятся к малым рекам. Кулой и Индига относятся к средним рекам, а Онега – к большим. Таким образом, исследованиями был охвачен весь спектр устьевых участков различных по величине рек.

Целью проводимых на данном этапе исследований было установление величины отношения ($N_{\text{общ.}}/P_{\text{общ.}}$) в устьях разных по величине рек и определение его изменчивости в период наблюдений.

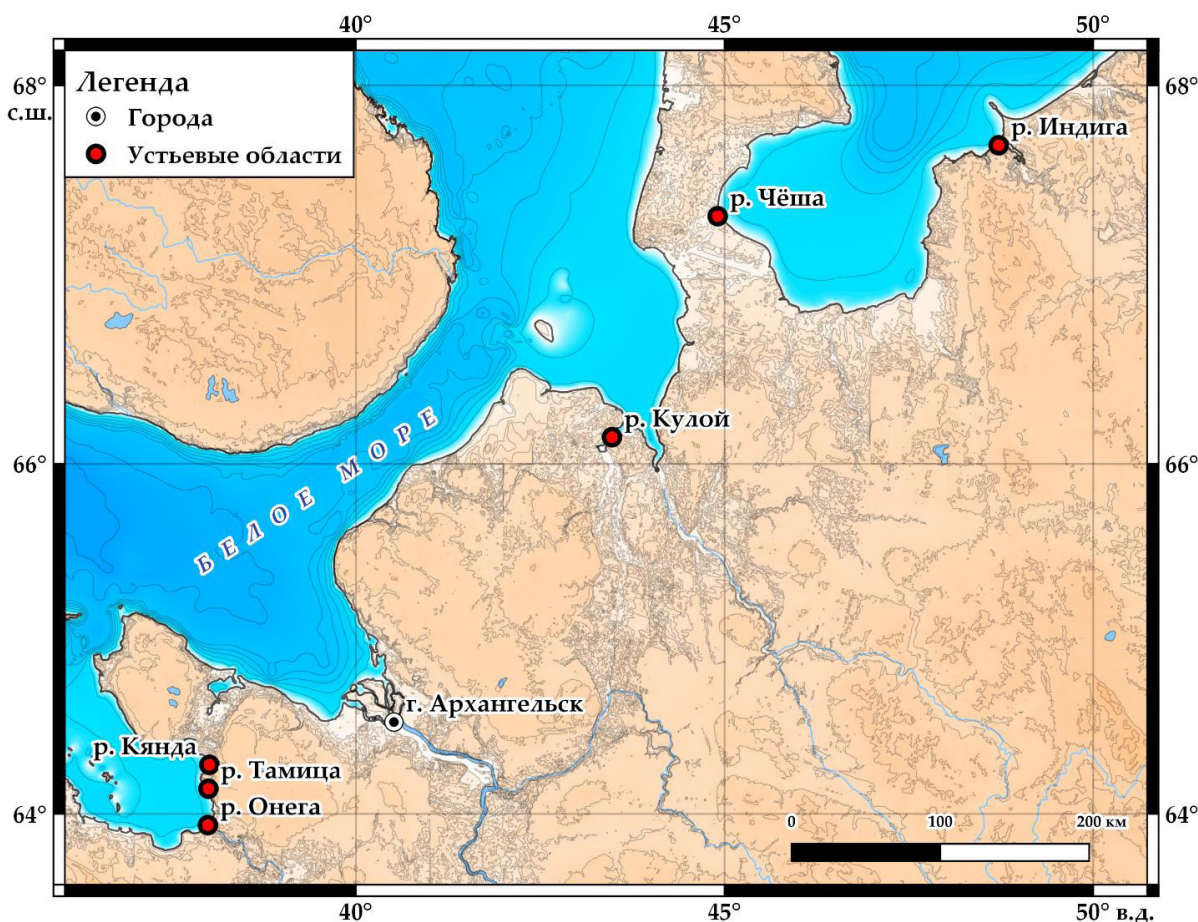


Рисунок 1 - Места проведения исследований в устьевых областях рек Белого и юго-восточной части Баренцева морей

Материалы и методы

При проведении наблюдений для замера солености использовались такие приборы, как кондуктометрический анализатор жидкости *Cond 197i* и многопараметрический анализатор жидкости *Multi 3420* фирмы *WTW*. Для определения общего фосфора и общего азота из одной пробы воды использовался метод, предложенный Королёвым и уточнённый Вальдеррамой. Он основан на одновременном окислении азотсодержащих и фосфорсодержащих органических соединений, находящихся в воде, до нитратов и фосфатов, соответственно. Вальдеррама предложил окислительный реактив, в который кроме персульфата калия входят натриевая щёлочь и борная кислота, что позволяет проводить сожжение органического вещества сначала в щелочной, а затем в кислой среде, то есть единым процессом достигается двухэтапное разложение органического вещества, что улучшает качество анализа. Определение фосфатов и нитратов проводилось колориметрическими методами с использованием спектрофотометра модели *DR3900* фирмы «*HACH-LANGE*».

Результаты и обсуждение

Статистики по изменчивости рассматриваемого параметра даны в таблице 1. В ней приведены как общепринятые характеристики – среднее значение и среднеквадратичное отклонение, а также робастные (помехоустойчивые) статистики (медиана, квартили), на которые длина используемой выборки и отклонение от нормального закона статистического распределения оказывают малое влияние. Межквартильный интервал величин, ограниченный верхним квартилем (75% точкой) и нижним квартилем (25% точкой), по нашему мнению, можно использовать в качестве оценки характерного диапазона их изменчивости. Эти величины входят в ядро статистического распределения исследуемых значений и не зависят от «выбросных» концентраций наблюдаемых показателей. Поскольку на гидробиологические и гидрохимические процессы в прибрежной части распреснённых морских акваторий оказывает влияние градиент солёности [15], в таблице 1 также указан параметр $S_0 - S_k$ – диапазон солености при измерении ($N_{\text{общ.}}/P_{\text{общ.}}$). При этом концентрации общего фосфора в исследованных устьях рек колебались в диапазоне 9–32 мг/л, общего азота – в диапазоне 34–2928 мг/л. Максимальное содержание данных соединений зафиксировано в устье р. Тамицы, что, видимо, обусловлено поступлением в устьевые воды дренажных стоков с территории животноводческой фермы в поселке Тамица.

Анализ результатов статистических расчетов показал следующее. Рассматриваемый параметр в устьях исследуемых рек Белого и Баренцева морей изменяется в сравнительно широком диапазоне. Средние значения $N_{\text{общ.}}/P_{\text{общ.}}$ находились в диапазоне от 4 до 30. Если ориентироваться на медиану, как одну из наиболее устойчивых статистик при различных размерах малых выборок наблюдений, то величины $N_{\text{общ.}}/P_{\text{общ.}}$ чаще всего колеблются в интервале 3-22. Минимальные значения были меньше 1, а максимальные превосходили 50. Их минимум характерен для макроприливных эстуариев (устья рек Кулой и Чёша). Возможно, это обусловлено заметным ослаблением фотосинтеза микроводорослей в подобных водотоках из-за наличия высокой мутности устьевых вод, препятствующей проникновению солнечного света в водную толщу. Здесь содержание взвесей достигает 500-1000 мг/дм³ и даже более [16]. Также можно отметить снижение параметра $N_{\text{общ.}}/P_{\text{общ.}}$ в мезоприливных устьях малых рек (Кянда, Тамица) по сравнению с устьями средних (Индига) и больших (Онега) рек. В целом же этот параметр для малых рек – Кянды, Тамицы и Чёши, а также Кулоя заметно меньше, чем для Онеги и Индиги, которые заметно больше как по площади водосбора, так и по расходам, особенно в паводочный период.

Таблица 1

Статистическая характеристика изменчивости параметра $N_{\text{общ.}}/P_{\text{общ.}}$ в устьях рек Белого и Баренцева морей в летний период

Показатели	Наименование рек, время наблюдений					
	Онега, VIII. 2022	Индига, VII. 2022	Кянда, VII. ц2015	Тамица, VIII. 2020	Кулой, VIII. 2020	Чёша, VII. 2017
$S_0-S_{кр}$, ‰	0,2-12,9	1,8-30,0	0,3-23,5	0,2-18,8	0,2-22,6	0,1-19,1
Среднее значение	30	22	11	8	5	4
Стандартное отклонение	16	12	6	5	4	3
Медиана	22	18	12	8	4	3
25% точка	18	13	8	4	2	2
75% точка	40	28	14	12	6	6
Минимум	10	5	1	1	0,02	0,5
Максимум	62	52	18	15	11	8
Количество наблюдений	15	21	11	14	12	10

Подобное явление, видимо, связано с различиями в характере потребления биогенных веществ различными представителями водной флоры – растениями и водорослями, с одной стороны, и фитопланктоном (микроводорослями), с другой стороны. В устьях малых рек в этом отношении обычно преобладают растения-галофиты, уступающие свою доминанту морским водорослям на устьевом взморье реки, где соленость начинает превышать 20-25‰. В устьях более крупных рек, где размеры приливной осушки становятся заметно меньше размеров не осушаемого русла водотока – фитопланктон. При этом в последних величины параметра $N_{\text{общ.}}/P_{\text{общ.}}$ в вегетационный период начинают быть сопоставимыми с значениями N/P в морских водах.

Зависимости рассматриваемого параметра от распределения солёности представлены на рис.2. Его анализ позволяет предположить, что в диапазоне солёности выше 20-25‰ в устьевых водах устьев рек, несмотря на размеры их водосборов, начинается возрастание доли общего азота по отношению к общему фосфору. Данный процесс можно объяснить выделением органического азота за счет деятельности симбиотических микроорганизмов, образующих ризосферу с высшими растениями галофитами [17]. В устьях больших и средних рек в интервале 7-15‰ наблюдается обратное явление. Его можно связать с более ускоренным рециклингом минеральных форм фосфора по отношению к азоту на фоне их интенсивного поглощения микроводорослями в зоне, где дополнительный приток азота за счет его изъятия из атмосферы галофитами еще не получил интенсивного развития. Также следует заметить, что в приливных устьях малых рек связь параметра $N_{\text{общ.}}/P_{\text{общ.}}$ с солёностью может иметь разнообразный характер, что, по нашему мнению, связано со особенностями формирования приливных осушек (приморских заливных лугов) и зарослей галофитов на них [18]. Их размеры обычно превышают площадь акватории, занимаемую непосред-

ственно водотоком в малую воду приливного цикла и в Белом и Баренцевом морях их ширина может достигать сотни метров, а в некоторых местах даже километров [19, 20].

Следует отметить, что изменчивость гидрохимических показателей в устьевых областях приливных морей присуща многим элементам. Она установлена для ионов металлов, биогенов, элементов карбонатной системы, растворённым газам – CO_2 и O_2 [5, 21-23 и др.]. Естественно, что в этих акваториях и их соотношения будут изменяться в течение приливных циклов, что необходимо учитывать при производстве исследований и разработке схем экологического мониторинга и производственного контроля.

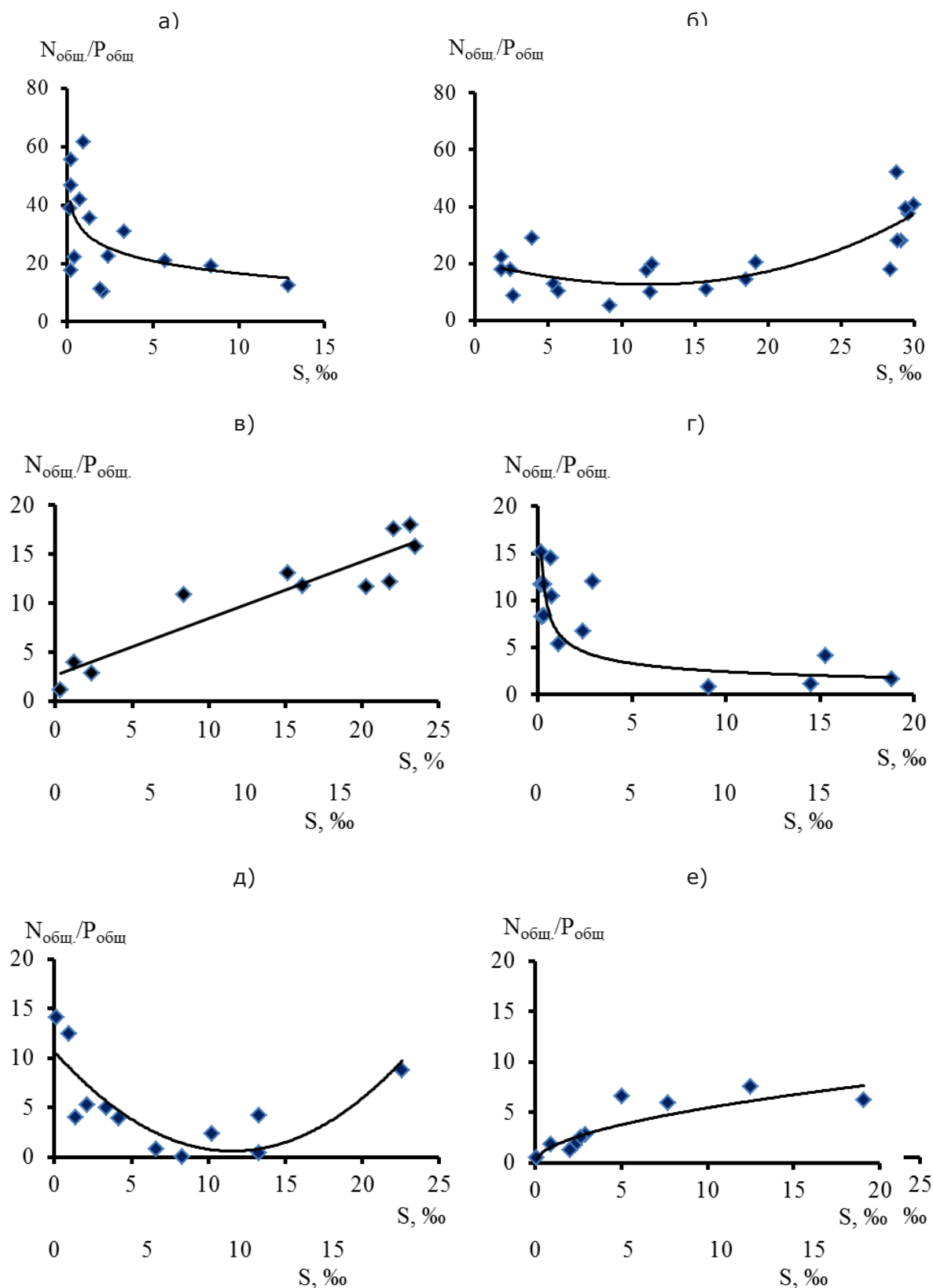


Рисунок 2 - Графики связи параметра $N_{\text{общ.}}/P_{\text{общ.}}$ с распределением солености в устьях рек Онега (а), Индига (б), Кянда (в), Тамиза (г), Кулой (д) и Чёша (е) в летний период

Выводы

Таким образом, можно сделать предварительный вывод, что параметр ($N_{\text{общ.}}/P_{\text{общ.}}$) в приливных устьях рек Белого и Баренцева морей и, быстрее всего, в западном секторе российской Арктики в целом имеет тенденцию к возрастанию в зоне биологической ступени маргинального фильтра по мере приближения к водам открытых акваторий моря. Здесь концентрации общего азота в растворенной форме явно превышают концентрации общего фосфора, приближаясь к их соотношению, определенному для их минеральных солей. При этом параметр ($N_{\text{общ.}}/P_{\text{общ.}}$) характеризовался большой изменчивостью как в периоды наблюдений, так и между различными реками. Минимум параметра ($N_{\text{общ.}}/P_{\text{общ.}}$) наблюдался в зоне коагуляционно-сорбционной ступени маргинального фильтра, но в устьях некоторых малых рек он может отмечаться и в зоне гравитационной ступени. В этой зоне концентрации общего фосфора могут достигать уровня содержания общего азота или даже превышать его. Подобная ситуация, видимо, связана с особенностями пространственного распределения граничных поверхностей (вода-берег, вода-дно, вода-макрофиты) в устьевых объектах с наличием приливных осушек. Эти границы определяют скорости минерализации органических соединений фосфора и азота, а также интенсивность потребления их минеральных солей макрофитами и фитопланктоном. Этот факт, в частности, рекомендуется учитывать при сбросе сточных вод с высокими концентрациями солей азота и фосфора в устьях рек Белого и Баренцева морей. При этом особое внимание следует уделять выбору расположения точек отбора проб, чтобы они в наибольшей степени были репрезентативными для измеряемых показателей. Одна из них обязательна должна располагаться на участке наиболее массового разрастания галофитной растительности.

Для установления закономерностей таких вариаций концентраций общего азота и фосфора в устьевых областях арктических рек необходимо проведение специальных исследований, которые имеют не только научное, но и важное прикладное значение для контроля состояния прибрежных экосистем, особенно находящихся в зоне воздействия населённых пунктов, промышленных и транспортных объектов.

Список литературы:

1. Коробов В.Б. Исследования режима устьевых областей рек Белого моря. // Геология морей и океанов. Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. 3. Москва, 16-20 ноября 2015 г. – М.: ГЕОС, 2015, с. 199-202.
2. Мискевич И.В., Алабян А.М., Демиденко Н.А., Коробов В.Б., Панченко Е.Д. Формирование высокой мутности вод в малых приливных эстуариях Белого и Баренцева морей. – Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2022. № 4. С. 142-153.
3. Алабян А. М., Панченко Е. Д., Алексеева А. А. Особенности динамики вод в приливных устьях малых рек бассейна Белого моря // Вестник Московского университета. Серия 5: География, 2018. – № 4. – С. 39–48.
4. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т.4, №5. С.735-747.
5. Гордеев В.В. Геохимия системы река-море. М.: ИП Матушкина И.И., 2012. 452 с.
6. Гордеев В.В., Филиппов А.С., Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н., Покровский О.С., Шевченко В.П., Дара О.М. Особенности геохимии речного стока в Белое море // Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. М.: Научный мир, 2012. С. 225-308.
7. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. – М.: Академия, 2003. – 400 с.
8. Маслов А.В., Шевченко В.П., Кузнецов А.Б., Штайн Р., Герланд С. Изотопно-геохимическая характеристика осадочного материала из дрейфующих льдов западной Арктики. – Доклады Академии наук, 2018, т. 479, № 6, с. 682-687.
9. Маслов А.В., Кузнецов А.Б., Политова Н.В., Шевченко В.П., Козина Н.В., Новигатский А.Н., Кравчишина М.Д., Алексеева Т.Н. Распределение редких и рассеянных элементов и изотопный состав Nd, Pb и Sr в поверхностных донных осадках Баренцева моря. – Геохимия, 2020, т. 65, № 6, с. 566-582.
10. Дрейк Ч., Имбри Дж., Кнаус Дж., Турекиан К. Океан сам по себе и для нас. – М.: «Прогресс», 1982. – 468 с.
11. Сапожников В.В., Аржанова Н.В., Мордасова Н.В. Гидрохимические особенности биопродуктивности и продукционно-деструкционные процессы в Белом море // Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера,

- криосфера, речной сток и биосфера. М.: Научный мир, 2012. С. 433-472.
12. Redfield A.C., Ketchum B.H., Richards F.A. 1963. The Influence of Organisms on the Composition of Sea Water // *The Sea*. NY. V. 2. P. 26–49.
 13. Минеева Н.М. Оценка связи содержания хлорофилла и биогенных элементов в крупных равнинных водохранилищах. – *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2021, № 53, с. 151-168.
 14. Михайлов В.Н. Принципы типизации и районирования устьевых областей рек (аналитический обзор) // *Водные ресурсы*. 2004. Т.31. № 1. С.5–14.
 15. Удалов А.А., Бурковский И.В., Мокиевский В.О., Столяров А.П., Мазей Ю.А., Сабурова М.А., Чертопруд М.В., Чертопруд Е.С., Ильинский В.В., Колобов М.Ю., Пономарёв С.А. Изменение основных характеристик микро-, мейо- и макробентоса по градиенту солёности в эстуарии Белого моря. – *Океанология*, 2004, т. 44, № 4, с. 549-560.
 16. Мискевич И.В., Лещев А.В. Статистическая характеристика содержания взвесей в макроприливных эстуариях рек Белого и Баренцева морей. «Океанологические исследования». 2021. Том 49. № 2. С.67-79.
 17. Мискевич И.В., Чульцова А.Л. Оценка содержания общего азота и общего фосфора в растворимой форме в устьях малых рек Белого моря // *Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии*. Т. III. М.: ИО РАН, 2019. С.198-201.
 18. Каплин П.А., Леонтьев О.К., Лукьянова С.А., Никифоров Л.Г. Берега. – М.: Мысль, 1991, 479 с.
 19. Лоция Баренцева моря. Ч. II. – СПб.: ГУНиО МО РФ, 1995. – 462 с.
 20. Лоция Белого моря. – СПб.: ГУНиО МО РФ, 1995. – 335 с.
 21. Нецветаева О.П. Изменчивость кислородонасыщения вод в устьевой области р. Северной Двины // *Arctic Environmental Research*. - 2017. - Т. 17. № 2. - С. 88-97.
 22. Скибинский Л.Э. Современное гидрохимическое состояние прибрежных и устьевых акваторий Белого и Печорского морей. // Автореферат дисс. на соискание учёной степени кандидата географических наук. – М.: ИО РАН, 2003. – 27 с.
 23. Шевцова О.В. Связь суточной изменчивости и среднесуточных концентраций гидрохимических показателей в прибрежной зоне моря. – *Водные ресурсы*, 2013, т. 40, № 2, с. 192-205.

References:

1. Korobov V.B. Issledovaniya rezhima ust'evykh oblastej rek Belogo morya. // *Geologiya morej i okeanov. Materialy XXI Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (SHkoly) po morskoy geologii*. Т. 3. Moskva, 16-20 noyabrya 2015 g. – М.: GEOS, 2015, s. 199-202. (In Russian)
2. Miskevich I.V., Alabyan A.M., Demidenko N.A., Korobov V.B., Panchenko E.D. Formation of high water turbidity in small tidal estuaries of the White and Barents Seas. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*. 2022; (4): 142-153.
3. Alabyan A.M., Panchenko E.D., Alekseeva A.A. HYDRODYNAMIC FEATURES OF SMALL TIDAL ESTUARIES OF THE WHITE SEA BASIN. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*. 2018; (4): 39-48.
4. Lisitzin A.P. A Marginal Filter of the Ocean. *Okeanologiya*. 1994. Т.4. №5. s. 735-747.
5. Gordeev V.V. Geohimiya sistemy reka-more. М.: IP Matushkina I.I., 2012. 452 s. (In Russian)
6. Gordeev V.V., Filippov A.S., Kravchishina M.D., Novigatskij A.N., Pokrovskij O.S., Shevchenko V.P., Dara O.M. Osobennosti geohimii rechnogo stoka v Beloe more // *Sistema Belogo morya. T. II. Vodnaya tolshcha i vzaimodejstvuyushchie s nej atmosfera, kriosfera, rechnoj stok i biosfera*. М.: Nauchnyj mir, 2012. s. 225-308. (In Russian)
7. Dobrovol'skij V.V. Osnovy biogeohimii. – М.: Akademiya, 2003. – 400 s. (In Russian)
8. Maslov A.V., Shevchenko V.P., Kuznetsov A.V., Stein R., Gerland S. Isotopic and Geochemical Characteristics of Western Arctic Ice-Refted Sediments. *Doklady Earth Sciences*. 2018. Т. 479. № 2. s. 534-538.
9. Maslov A.V., Kuznetsov A.V., Politova N.V., Shevchenko V.P., Kozina N.V., Novigatsky A.N., Kravchishina M.D., Alexeeva T.N. Distribution of Trace and Rare-Earth Elements, and Nd, Pb, and Sr Isotopes in the Surface Sediments of the Barents Sea. – *Geochemistry International*. 2020. Т. 58. № 6. s. 687-703.
10. Drejk CH., Imbri Dzh., Knaus Dzh., Turekian K. Okean sam po sebe i dlya nas. – М.: «Progress», 1982. – 468 s. (In Russian)
11. Sapozhnikov V.V., Arzhanova N.V., Mordasova N.V. Gidrohimicheskie osobennosti

- bioproduktivnosti i produkcionno-destrukcionnye processy v Belom more // Sistema Belogo morya. T. II. Vodnaya tolshcha i vzaimodejstvuyushchie s nej atmosfera, kriosfera, rechnoj stok i biosfera. M.: Nauchnyj mir, 2012. S. 433-472. (In Russian)
12. Redfield A.C., Ketchum B.H., Richards F.A. 1963. The Influence of Organisms on the Composition of Sea Water // *The Sea*. NY. V. 2. P. 26-49.
 13. Mineeva N.M. ocenka svyazi sodержaniya hlorofilla i biogennyh elementov v krupnyh ravninnyh vodohranilishchah. – *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*. 2021, № 53, s. 151-168. (In Russian)
 14. Mihajlov V.N. Principy tipizacii i rajonirovaniya ust'evyh oblastej rek (analiticheskij obzor) // *Vodnye resursy*. 2004. T.31. № 1. S.5-14. (In Russian)
 15. Udalov A.A., Burkovskij I.V., Mokievskij V.O., Stolyarov A.P., Mazej YU.A., Saburova M.A., CHertoprud M.V., CHertoprud E.S., Il'inskij V.V., Kolobov M.YU., Ponomaryov S.A. Izmenenie osnovnyh harakteristik mikro-, mejo- i makrobentosa po gradientu solyonosti v estuarii Belogo morya. – *Okeanologiya*, 2004, t. 44, № 4, s. 549-560.
 16. Miskevich I.V., Leshchev A.V. Statisticheskaya harakteristika sodержaniya vzvesej v makroprilivnyh estuariyah rek Belogo i Barenceva morej. «*Okeanologicheskie issledovaniya*». 2021. Tom 49. № 2. S.67-79. (In Russian)
 17. Miskevich I.V., CHul'cova A.L. Ocenka sodержaniya obshchego azota i obshchego fosfora v rastvorimoj forme v ust'yah malyh rek Belogo morya // *Geologiya morej i okeanov: Materialy XXII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (SHkoly) po morskoy geologii*. T. III. M.: IO RAN, 2019. S.198-201. (In Russian)
 18. Kaplin P.A., Leont'ev O.K., Luk'yanova S.A., Nikiforov L.G. Berega. – M.: Mysl', 1991, 479 s. (In Russian)
 19. Lociya Barenceva morya. CH. II. – SPb.: GUNiO MO RF, 1995. – 462 s. (In Russian)
 20. Lociya Belogo morya. – SPb.: GUNiO MO RF, 1995. – 335 s. (In Russian)
 21. Necvetaeva O.P. Izmenchivost' kislorodonasyscheniya vod v ust'evoj oblasti r. Severnoj Dviny // *Arctic Environmental Research*. - 2017. - T. 17. № 2. - S. 88-97. (In Russian)
 22. Skibinskij L.E. Sovremennoe gidrohimicheskoe sostoyanie pribrezhnyh i ust'evyh akvatorij Belogo i Pechorskogo morej. // *Avtoreferat diss. na soiskanie uchyonoj stepeni kandidata geograficheskikh nauk*. – M.: IO RAN, 2003. – 27 s. (In Russian)
 23. Shevtsova O.V. Relationships between Diurnal Variations and Mean Daily Concentrations of Hydrochemical Characteristics in a Sea Coastal Zone. – *Water Resources*. 2013. T. 40. № 2. 181-193.

Научная статья

УДК 664.8/.9

DOI: 10/24412/2658-4255-2022-4-61-67

Для цитирования:

А.С. Краснова, Г.В.Семенов,
Ж.Л. Гучок
Кисломолочные сублимиро-
ванные продукты питания
для населения, работающего
в условиях крайнего севера
// Российская Арктика. 2022.
№ 19. С. 61–67

Получена: 31.10.2022

Принята: 20.11.2022

Опубликована: 05.12.2022



КИСЛОМОЛОЧНЫЕ СУБЛИМИРОВАННЫЕ ПРОДУКТЫ ПИТАНИЯ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ, РАБОТАЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

А.С. Краснова¹ , Г.В. Семенов² , Ж.Л. Гучок³ 

¹ ФГБОУ ВО "Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия
ira3891@mail.ru

² ФГБОУ ВО "Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия
sgv47@yandex.ru

³ ФГБОУ ВО "Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия
janna-gala@yandex.ru

Аннотация:

Сублимированные продукты имеют широкий потенциал для создания полноценного рациона питания людей, работающих вахтовым методом в Арктическом регионе, благодаря их свойствам, которые они приобретают после процесса сублимационной сушки. Проведены исследования влияния температуры сублимации на суммарное содержание антиоксидантов в сублимированных йогуртах с ягодным пюре. Образцами исследования являлись йогурты с ягодными пюре, выработанные термостатным способом. Приготовленные йогурты замораживали при температуре минус 40°C и интенсивной циркуляции воздуха. Далее образцы подвергали вакуумной сублимационной сушке при температурах сублимации от минус 10°C до минус 30°C с шагом 5°C. В сублимированных образцах йогурта определяли суммарное содержание антиоксидантов амперометрическим методом на приборе «Цвет-Яуза-01-АА» и органолептические показатели. Определено, что вакуумная сублимационная сушка при более низкой температуре сублимации приводит к сохранению большего содержания антиоксидантов. Органолептическая оценка приготовленных йогуртов выявила, что изменение температура сублимации влияет на общее восприятие вкуса, цвета и запаха сублимированных йогуртов. Обоснован выбор режима сублимационной сушки, обеспечивающий максимальный уровень сохранности качества сублимированных йогуртов с ягодными пюре.

Ключевые слова: Крайний Север, Арктика, питание, население, работающее вахтовым методом, сублимационная сушка, сублимированные йогурты, антиоксидантная активность, органолептическая оценка

SOUR MILK FREEZE-DRIED PRODUCTS FOR THE POPULATION WORKING IN THE FAR NORTH

I.S. Krasnova¹ , G.V. Semenov² , Zh.L. Guchok³ 

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian Biotechnological University
ira3891@mail.ru

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian Biotechnological University
sgv47@yandex.ru

³ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian Biotechnological University
janna-gala@yandex.ru

Abstract:

Freeze-dried products have a great potential for creating a complete diet for people working on a rotational basis in the Arctic region, due to their properties that they acquire after the freeze-drying process. Researches of the effect of primary drying temperature on the total content of antioxidants in freeze-dried yoghurts with berry puree have been carried

out. The objects of researches were yoghurts with berry puree produced by the thermostatic method. Prepared yoghurts were frozen at a temperature of minus 40°C and intensive air circulation. After the samples were subjected to vacuum freeze-drying at primary drying temperatures from minus 10°C to minus 30°C with a step of 5°C. In freeze-dried samples of yogurt, the total content of antioxidants was determined by the amperometric method on the device "Tsvet-Yauza-01-AA" and sensory characteristics. It has been determined that vacuum freeze-drying at lower primary drying temperatures results in the retention of a higher content of antioxidants. Sensory properties of prepared yoghurts revealed that changing the primary drying temperature affects the overall perception of taste, colour and smell of freeze-dried yoghurts. The choice of the freeze-drying mode, which provides the maximum level of preservation of the quality of freeze-dried yoghurts with berry puree, is substantiated.

Keywords: Far North, Arctic, nutrition, population working on a rotational basis, freeze-drying, freeze-dried yoghurts, antioxidant activity, sensory evaluation

Введение

Среди кисломолочных продуктов наибольшей популярностью пользуются йогурты, в первую очередь благодаря своему вкусу и способности нормализовать микрофлору желудочно-кишечного тракта. Ассортимент йогуртов расширяется с каждым годом во всем мире. Одним из перспективных направлений повышения комплекса полезных свойств йогуртов является введение в их рецептуру различных фруктов и ягод. Их применение в рецептурах йогуртов значительно улучшает вкус йогуртов, их витаминный состав, обогащает пищевыми волокнами, которые являются хорошими пребиотиками и антиоксидантами, увеличивающими срок хранения продуктов [1,2].

Вместе с тем, употребление свежих йогуртов в условиях Крайнего Севера достаточно проблематично, в связи с длительными сроками доставки и коротким сроком хранения данного продукта. Отмечено, что питание населения, работающего вахтовым методом на территории Российской Арктики, характеризуются чрезмерным употреблением продуктов с высоким содержанием углеводов, рафинированных сахаров, и содержащих насыщенные жирные кислоты [3]. В рационе не хватает свежих овощей, фруктов и ягод, яиц, молока и молочных продуктов, что связано с существующей микробиологической и химической контаминацией пищевых продуктов на всех административных территориях Арктической зоны [4]. Сложившаяся ситуация приводит к развитию различных алиментарно-зависимых хронических неинфекционных заболеваний, таких как ожирение, атеросклероз, ишемическая болезнь сердца, артериальная гипертензия, сахарный диабет, авитаминозы и др. [5,6] у лиц, временно проживающих в условиях Крайнего Севера.

Решением данной проблемы может являться использование сублимированных продуктов питания. Это позволит обогатить рацион продуктами, к которым они привыкли в повседневной жизни в местах своего проживания, и улучшить состояние здоровья приезжего населения. Вакуумная сублимационная сушка предполагает два этапа: этап предварительного замораживания растительного сырья и последующую сублимационную сушку. В свою очередь, сублимационная сушка также состоит из двух стадий. На первом этапе основная часть вымерзшей влаги удаляется фазовым переходом «лед-пар», оставшаяся физически связанная влага удаляется испарением на этапе досушки. Известно, что степень сохранности полезных компонентов, и в первую очередь антиоксидантных веществ, зависит от температуры, при которой происходит фазовый переход «лед-пар». Однако более низкая температура фазового перехода приводит как к увеличению продолжительности цикла сушки, так и к увеличению общих энергозатрат на процесс обезвоживания [7]. Целью представленной работы является определение конкретных числовых зависимостей между уровнем сохранности антиоксидантов и режимом сублимационной сушки, что имеет большое значение в условиях промышленного производства сублимированных продуктов.

Материалы и методы

Приготовление образцов

Йогурты вырабатывали из пастеризованного нормализованного молока с массо-

вой долей жира 3,2%. Нормализацию молока проводили по массовой доле сухих веществ путём внесения сухого молока, по показателям качества отвечающего установленным требованиям. При изготовлении опытных образцов использовали закваску, полученную на основе штаммов молочнокислых бактерий (*Streptococcus salivarius thermophilus* и *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus*). Образцы йогуртов получали термостатным способом путем сквашивания при температуре $37 \pm 1^\circ\text{C}$. После достижения необходимой титруемой кислотности ($88 \pm 5^\circ\text{T}$) образцы йогурта охлаждали до $4 \pm 2^\circ\text{C}$.

На основе анализа литературных данных о содержании фруктовых пюре в йогуртах [8], предварительных опытов и, исходя из расчета массовой доли сухих веществ в готовом продукте, в йогурт добавляли земляничное пюре в количестве 15% и перемешивали до получения однородной консистенции. Далее образцы йогуртов разливали на противни и замораживали.

Замораживание

Для получения мелкокристаллической структуры йогуртов, их замораживали в морозильной камере при температуре минус 40°C и интенсивной циркуляции воздуха. Далее противни с замороженным продуктом помещали в лабораторную вакуумную сублимационную установку СВП-0,36 [9].

Вакуумная сублимационная сушка

Вакуумную сублимационную сушку проводили в каждом эксперименте при различных температурах на стадии сублимации в диапазоне от минус 10 до минус 30°C . Температура на стадии завершения сушки оставалась прежней и составляла $36-38^\circ\text{C}$. Общую продолжительность процесса и продолжительность стадии сублимации определяли по изменению температуры в слое высушиваемого сырья. Общая продолжительность цикла сушки варьировалась от 16 до 24 часов. Общее количество высушенных образцов составило 5: йогурты с земляничным пюре, высушенные при температуре сублимационной сушки минус 10°C , минус 15°C , минус 20°C , минус 25°C , минус 30°C . Далее определяли показатели качества высушенных йогуртов.

Определение антиоксидантной активности

Суммарное содержание антиоксидантов определяли с использованием прибора «Цвет-Яуза-01-АА» амперометрическим методом, основанным на измерении силы тока, возникающего при электрохимическом окислении исследуемого вещества на поверхности стеклоуглеродного анода с потенциалом + 1,3 В. При таких значениях потенциала происходит окисление фенольных (R-OH), тиоловых (R-SH) и других соединений, протекающих по схеме: $\text{R-OH} - \text{R-O} + \text{e}^- + \text{H}^+$ и может быть использовано как модельное, при измерении активности поглощенных свободных радикалов [10]. После усиления силы тока он преобразуется в цифровой сигнал. При определении антиоксидантов в качестве элюента использовали водный раствор ортофосфорной кислоты. Градуировку прибора проводили по галловой кислоте.

Органолептическая оценка приготовленных йогуртов

Поскольку антиоксиданты относятся к веществам, отвечающим за цвет, вкус и аромат продукта, была также проведена органолептическая оценка полученных йогуртов. Сублимированные йогурты регидратировали водой комнатной температуры до исходного содержания сухих веществ. Одиннадцать экспертов оценивали приготовленные йогурты. Дегустаторами были взрослые здоровые добровольцы (в возрасте от 18 до 50 лет), которые употребляли йогурты и не имели аллергии на употребление этих продуктов. Органолептическая оценка включала цвет, запах, вкус, консистенцию и общее восприятие. Эксперты оценивали каждый показатель по пятибалльной шкале.

Результаты и обсуждение

Вакуумная сублимационная сушка йогуртов

В таблице 1 представлены параметры процесса вакуумной сублимационной сушки йогуртов.

Результаты исследований показывают, что снижение температуры сублимации сопровождается увеличением суммарной продолжительности процесса сублимационной сушки (столбец 3) и продолжительности этапа сублимации (столбец 4). Снижение температуры сублимации приводит к пропорциональному снижению интенсивности удаления влаги на этапе сублимации (столбец 5). Конечная влажность высушенных образцов составила 3,5-4,0%. Они легко измельчались и превращались в порошок.

Таблица 1

Параметры вакуумной сублимационной сушки йогуртов

Средняя за цикл температура сублимации, °С	Средняя температура на поверхности десублиматора, °С	Продолжительность сушки, ч		Интенсивность удаления влаги на этапе сублимации, кг/ч*м ²
		общая	этапа сублимации	
-10	-20	16,0	11,0	1,5
-15	-26	18,0	12,5	1,0
-20	-30	20,0	13,0	0,8
-25	-36	22,5	16,0	0,7
-30	-40	24,0	18,0	0,5

Антиоксидантная активность йогурта

Поскольку вещества, обладающие антиоксидантной активностью, по своей природе являются термолабильными компонентами, антиоксидантная активность сильно зависит от уровня температурного воздействия. Таким образом, наличие антиоксидантов может быть использовано для оценки режимных параметров сублимационной сушки и четко коррелирует с другими показателями качества [11,12].

Данные по суммарному содержанию антиоксидантов в йогуртах представлены на рисунке 1.

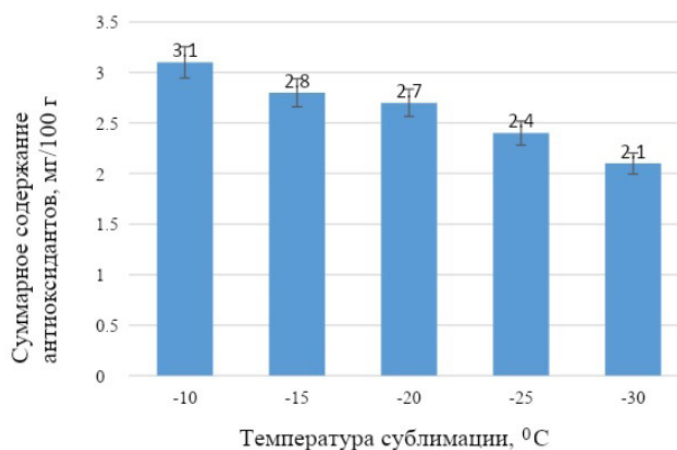


Рисунок 1 - Суммарное содержание антиоксидантов в йогуртах, высушенных при различных температурах сублимации от (-10 °С) до (-30 °С).

Результаты исследований свидетельствуют, что снижение температуры сублимации приводит к более высокой сохранности антиоксидантных веществ в йогуртах. Так, при температуре сублимации минус 10°С, суммарное содержание антиоксидантов находилось на уровне 2,1 мг/100 г продукта. При снижении температуры сублимации до минус 20°С, суммарное содержание антиоксидантов увеличилось на 28-30%. Дальнейшее снижение температуры сублимации до температуры минус 30°С привело к повышению суммарного содержания антиоксидантов еще на 13-15%, что связано со следующими причинами. Известно, что к антиоксидантам относятся антоцианы, катехины, лейкоантоцианы, полифенолы, флавонолы и другие вещества, обладающие высокой летучестью по своей физической природе. Понижение температуры фазового перехода сопровождается пропорциональным увеличением количества жидких веществ в составе сырья, находящегося в замороженном состоянии. Это способствует их лучшему сохранению в составе уже высушенного материала. Та часть влаги, которая остается в незамерзшем состоянии, удаляется из высушиваемого объекта испарением вместе с водорастворимыми летучими компонентами, содержащимися в растворе.

Органолептическая оценка приготовленных йогуртов

Результаты органолептической оценки исследуемых йогуртов представлены в таблице 2.

Йогурт с пюре приобрел приятный светло-розовый оттенок разной интенсивности, равномерно распределенный по всему объему продукта. Дегустаторы оценили йогурты почти на том же уровне, что и контроль по этому показателю.

При оценке запаха йогуртов, дегустаторы отметили, что йогурты, высушенные при более низких температурах, приобрели более выраженный приятный запах и аромат, характерные для обогащающей добавки из ягодного пюре до сублимационной сушки.

В образцах йогуртов, высушенных при более высоких температурах сублимации, запах был едва заметен. Эти данные коррелируют со значениями антиоксидантной активности. В образцах с более выраженным запахом и вкусом ягод обнаружено более высокое содержание веществ, обладающих антиоксидантными свойствами. Эксперты отметили аналогичную зависимость при оценке вкуса.

Добавление ягодного пюре оказало положительное влияние на консистенцию восстановленных йогуртов. Дегустаторы отметили, что йогурты стали немного гуще, оставаясь при этом однородным и без комочков. Дегустаторы отдали предпочтение по общему впечатлению йогуртам, высушенными при более низких температурах сублимации.

Таблица 2

Органолептическая оценка исследуемых йогуртов

Йогурт	Цвет	Запах	Аромат	Консистенция	Общее впечатление
Йогурт без добавок	4,8	4,6	4,7	4,7	4,6
Йогурт с пюре, высушенный при минус 10 °С	4,7	4,2	4,3	4,5	4,5
Йогурт с пюре, высушенный при минус 15 °С	4,7	4,4	4,3	4,5	4,7
Йогурт с пюре, высушенный при минус 20 °С	4,9	4,6	4,6	4,7	4,6
Йогурт с пюре, высушенный при минус 25 °С	4,9	5,0	4,8	4,8	4,8
Йогурт с пюре, высушенный при минус 35 °С	4,9	5,0	4,9	4,9	5,0

Выводы

Проведенные испытания позволили сделать вывод, что при сублимационной сушке температура сублимации оказывает существенное влияние на сохранение термолабильных компонентов, обладающих антиоксидантной активностью. Более низкие температуры сублимационной сушки приводят к более значительному сохранению антиоксидантных веществ.

Показано, что температура сублимации также влияет на органолептические показатели йогуртов. Таким образом, можно контролировать качество сухих сублимированных продуктов путем изменения температуры сублимации. Отсюда возникает перспектива выбора по согласованию с потенциальными потребителями заданного уровня качества готового продукта, тесно взаимосвязанного с общей стоимостью сублимационной сушки.

В качестве приоритетного рекомендован режим сушки при температуре сублимации минус 30°С и температуре досушки 36-38°С. Этот режим обеспечивает наиболее высокое качество высушенного продукта. При этом он может быть обеспечен в серийно выпускаемых отечественных сублимационных установках, например, фирмой «СХ-Техника» (г. Казань).

Показано, что по согласованию с заказчиком может быть выбран и другой режим сушки, с небольшим снижением качества, но с меньшими длительностью процесса сушки и удельными энергозатратами.

Учитывая повышенные требования к продуктам питания людей, работающих в

условиях Северных и Арктических регионов, следует использовать режимы сублимационной сушки, обеспечивающие максимальный уровень сохранности полезных веществ в высушенных продуктах.

Список литературы:

1. Sukhikh S.A., Astakhova L.A., Golubcova Yu.V., Lukin A.A., Prosekova E.A., Milent`eva I.S. Functional dairy products enriched with plant ingredients. // *Foods and Raw Materials*, 2019, vol. 7, no 2, pp. 428–438. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-428-438>;
2. Стаценко Е.С., Литвиненко О.В., Кодирова Г.А., Кубанкова Г.В., Корнева Н.Ю., Покотило О.В. Разработка технологии производства кисломолочных напитков, обогащенных соевым белковым ингредиентом // *Техника и технология пищевых производств*, 2021, №51(4), С.784-794. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-784-794>
3. Еганян Р.А. Особенности питания жителей Крайнего Севера России (обзор литературы) // *Профилактическая медицина*. 2013. №5. С. 41-47;
4. Истомин А.В., Федина И.Н., Шкурихина С.В., Кутакова Н.С. Питание и Север: гигиенические проблемы Арктической зоны России (Обзор литературы) // *Гигиена и санитария*, 2018, Т. 97. №6. С.557-563;
5. Лобанова Л.П., Агбалян Е.В., Буганов А.А. Обеспеченность микронутриентами пришлого населения Крайнего Севера // *Вопросы питания*. 2007. №5. С. 51-54.;
6. Бекетова Н.А., Коденцова В. М., Вржесинская О. А. Обеспеченность витаминами жителей сельских поселений российской Арктики // *Вопросы питания*. 2017. Т. 86, № 3. С. 83-91. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00049>
7. Semenov, G.V., Tikhomirov, A.A., Krasnova, I.S. The choice of the Parameters of Vacuum Freeze Drying to thermolabile materials with desired quality level. // *International journal of Applied Engineering Research*, 2016, vol. 11, no. 13, pp. 8056-8061.
8. Бусыгин А.А., Алексеенко Е.В. Конструирование наполнителя на фруктово-ягодной основе для применения в кисломолочных продуктах // *Innovations in life sciences: сборник материалов IV международного симпозиума*, Белгород, 2022. С. 332-334.
9. Семёнов Г.В., Краснова И.С. Сублимационная сушка: монография. Москва: Дели плюс, 2021. 326 с.
10. Донская Г.А., Дрожжин В.М. Напитки молочные с повышенным содержанием белка // *Переработка молока*. 2017. № 2. С. 24-27.
11. Routray W., Mishra H.N. Scientific and Technical Aspects of Yogurt Aroma and Taste: A Review. // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2011, vol. 10, pp. 208-220;
12. Matter A.A., Mahmoud E.A.M., Zidan N.S. Fruit Flavored Yoghurt: chemical, functional and rheological properties. *International Journal of Environmental and Agriculture Research*, 2016, vol. 2, no. 5, pp. 57-66.

References:

1. Sukhikh S.A., Astakhova L.A., Golubcova Yu.V., Lukin A.A., Prosekova E.A., Milent`eva I.S. Functional dairy products enriched with plant ingredients. // *Foods and Raw Materials*, 2019, vol. 7, no 2, pp. 428–438. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-428-438>;
2. Statsenko E.S., Litvinenko O.V., Kodirova G.A., Kubankova G.V., Korneva N.Yu., Pokotilo O.V. Razrabotka tekhnologii proizvodstva kislomolochnykh napitkov, obogashchennykh soevym belkovym ingrediyyentom [Development of technology for the production of fermented milk drinks enriched with soy protein ingredient]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Technique and technology of food production], 2021, vol. 51, no. 4, pp. 784-794. (In Russian.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-784-794>;
3. Eganian RA. Osobennosti pitaniya zhitelej Krajnego Severa Rossii [Nutritional characteristics in dwellers of the Far North of Russia (a review of literature)]. *Profilakticheskaya medicina*. [The Russian Journal of Preventive Medicine and Public Health]. 2013, no. 5, pp. 41-47. (In Russian.).
4. Istomin A.V., Fedina I.N., Shkurihina S.V., Kutakova N.S. Pitanie i Sever: gigienicheskie problemy Arkticheskoy zony Rossii (Obzor literatury) [Nutrition and the North: hygienic problems of the Arctic zone of Russia (the review of the literature).] *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 2018, vol. 97, no. 6, pp. 557-563 (In Russian.). DOI: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2018-97-6-557-563>;

5. Lobanova L.P., Agbalyan E.V., Buganov. Obespechennost' mikronutrientami prishlogo naseleniya Krajnego Severa [Providing of non-natives of the Far North with micronutrients.] *Voprosy pitaniya* [Problems of Nutrition], 2007, no 5, pp. 51-54. (In Russian.);
6. Beketova N.A., Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., Keshabyants E.E., Sokolnikov A.A., Kosheleva O.V. Obespechennost' vitaminami zhitelej sel'skih poselenij rossijskoj Arktiki [Vitamin status of rural residents, living in Russian Arctic]. *Voprosy pitaniya* [Problems of Nutrition], 2017, vol. 86, no. 3, pp. 83-91. (In Russian.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00049>
7. Semenov, G.V., Tikhomirov, A.A., Krasnova, I.S. The choice of the Parameters of Vacuum Freeze Drying to thermolabile materials with desired quality level. *International journal of Applied Engineering Research*, 2016, vol. 11, no. 13, pp. 8056-8061.
8. Busygin A.A., Alekseenko E.V. Konstruirovaniye napolnitelya na fruktovo-yagodnoj osnove dlya primeneniya v kislomolochnyh produktah [Designing a filler based on fruit and berries for use in fermented milk products] // *Innovations in life sciences: sbornik materialov IV mezhdunarodnogo simpoziuma* [Innovations in life science: collection of materials of the IV International Symposium], Belgorod, 2022. S. 332-334 (In Russian).
9. Semenov G.V., Krasnova I.S. *Sublimacionnaya sushka* [Freeze drying]. Moscow: DeLi plus, 2021, 326 p. (In Russian.).
10. Donskaya G.A., Drozhzhin V.M. Napitki molochnyye s povyshennym sodержaniyem belka [Dairy drinks with high protein content]. *Pererabotka moloka* [Milk processing], 2017, no. 2, pp. 24-27. (In Russian.);
11. Routray W., Mishra H.N. Scientific and Technical Aspects of Yogurt Aroma and Taste: A Review. // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2011, vol. 10, pp. 208-220;
12. Matter A.A., Mahmoud E.A.M., Zidan N.S. Fruit Flavored Yoghurt: chemical, functional and rheological properties. *International Journal of Environmental and Agriculture Research*, 2016, vol. 2, no. 5, pp. 57-66.

«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.