

ISSN (Online): 2658-4255

RUSSIAN ARCTIC



russian-arctic.info

Volume 6 № 1/2024

OCEANOLOGY

TIDES ALONG THE WESTERN COAST
NOVAYA ZEMLYA

Ph: Yan Silchenko
Fox

RUSSIAN ARCTIC VOLUME 6 № 1 2024 SCIENTIFIC PEER-REVIEWED JOURNAL

CHIEF EDITOR

KIRA ZMIEVA

EDITORIAL BOARD

Belozersky Gennady Doctor of Sciences (St.Peterburg, 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. Peterburg, 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)
Kokin Sergey, PhD (Harbin, China)
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, Russia)
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. Peterburg, 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, A.M., Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Tokarevich Nikolay, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Turichin Gleb, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Varivodov Vladimir, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Zvorykina Julia, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Chebrov Danila, PhD (Petropavlovsk Kamchatsky, Russia)
Ivanov Boris, PhD (St.Peterburg, Russia)
Karyakin Yuri, PhD (Moscow, Russia)
Khvostova Marina, PhD (Moscow, Russia)
Klimanov Igor, PhD (Moscow, Russia)
Lopukhina Maria (Moscow, Russian)
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.Peterburg, Russia)
Tsykalov Anatoly, PhD (Krasnoyarsk, Russia)
Yulin Alexander, PhD (St.Petersburg, Russia)
Hajime Yamaguchi, professor (Tokyo, Japan)
Younkyoo Kim, professor (Seoul, Korea)
Takuji Waseda (Tokyo, Japan)
Rhee Han Woo, cadidate of Doctor of IR (Seoul, Korea)
Thomas Krumpfen, PhD in geoscience (Bremen, Germany)



EDITORIAL STAF

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 №ФС77-72859 от 22 мая 2018 года

FOUNDER AND PUBLISHER

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

CEO

Yu.V. Belikova

THE EDITORIAL THANKS

reviewers and editorial board members
for help in preparing this issue



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

Issue date: 05.04.2024



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



CONTENTS

- 04** EDITORIAL
- 05** CHRONIC OCCUPATIONAL DISEASES WITH SHORT DEVELOPMENT PERIODS IN THE IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION
S.A. Syurin
- 14** ALGORITHMIC FOUNDATIONS FOR THE STUDY OF ELECTROMAGNETIC PROCESSES IN THE ELECTRIC DRIVE OF A SEALED VALVE
K.K. Kim , S.N. Ivanov , Kh.Kh. Azimov
- 26** SOME FEATURES OF ICE CONDITIONS IN THE NORTHWESTERN PART OF THE ARCTIC OCEAN FOR THE PERIOD 1979-2022
A.V. Popova, A.V. Rubchenya, B.V. Ivanov
- 33** TIDES ALONG THE WESTERN COAST NOVAYA ZEMLYA
G.N. Voinov, N.V. Lebedev, S.M. Morozova
- 48** FEATURES OF MORBIDITY AND FUNCTIONAL STATUS OF MINING WORKERS IN THE MURMANSK REGION
S.V. Pryanichnikov
- 62** COLD WATER AND ITS EFFECT ON THE ELECTROMAGNETIC PROPERTIES OF CRYOSPHERIC OBJECTS
A.A. Gurulev, G.S. Bordonskiy
- 71** METEOROLOGICAL STATION "PYRAMID" - SOVIET SCIENTIFIC HERITAGE ON THE SPITSBERGEN ARCHIPELAGO
B.V. Ivanov

У ВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!



Перед Вами первый в 2024 году выпуск научного журнала «Российская Арктика» и, как всегда, мы отобрали для Вас материалы, содержащие результаты наиболее значимых и актуальных научных исследований, проводимых учеными в Арктике и для Арктики.

Активное освоение Арктики и стремительный научно-технический прогресс сделали особенно актуальными вопросы развития соответствующих научных проектов. Сегодня тысячи ученых по всему миру трудятся над решением сложнейших задач освоения северных территорий с одновременным сохранением уникальной природы и биоразнообразия. Тем не менее, несмотря на огромный пласт научных исследований, проведенных учеными в последние 100 лет, накопленные и новые проблемы освоения Арктической зоны России свидетельствуют о наличии многочисленных пробелов в имеющемся массиве знаний. Спектр таких проблем широк, и среди них чаще всего называют неполноту знаний о новейших климатических изменениях, научного прогнозирования развития Арктической зоны РФ в условиях

дальнейших санкционных ограничений, недостаточное научное обоснование необходимой и достаточной численности населения на этих территориях, системы ее расселения, а также влияния арктического климата на общее здоровье и заболеваемость.

Итак, в этом номере мы поговорим об арктической медицине, а именно: о хронических профессиональных патологиях с короткими сроками развития на предприятиях северных регионов и об особенностях заболеваемости и функционального состояния работников горнорудного производства в Мурманской области. Также уделим внимание геоэкологии в части оценки особенностей ледовых условий в северо-западной части Ледовитого океана в период с 1979-2022 г. и анализа приливов вдоль западного побережья Новой Земли. А в области электротехники и электроэнергетики в данном выпуске представлены работы, посвященные основам исследования электромагнитных процессов в электроприводе герметичной задвижки, а также характеристикам холодной воды и ее влияния на электромагнитные свойства криосферных объектов.

Приятного прочтения!

*С уважением,
Главный редактор,
Кира Змиева*

Научная статья

УДК 613.614.2 (985)

DOI: 10.24412/2658-4255-2024-1-05-13



EDN: EBZPJF

Для цитирования:

Сюрин С.А. Хроническая профессиональная патология с короткими сроками развития в Арктической зоне Российской Федерации // Российская Арктика. 2024. Т. 6. № 1. С. 05-13.

<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-1-05-13>

Получена: 04.12.2023

Принята: 29.01.2024

Опубликована: 06.02.2024

For citation:

Syurin S.A. Chronic occupational diseases with short development periods in the in the Arctic zone of the Russian Federation. Russian Arctic, 2024, vol. 6, no. 1, pp. 05-13. (In Russian).

<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-1-05-13>

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Финансирование.

Исследование не имело спонсорской поддержки



ХРОНИЧЕСКАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПАТОЛОГИЯ С КОРОТКИМИ СРОКАМИ РАЗВИТИЯ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

С.А. Сюрин

Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: kola.reslab@mail.ru

Аннотация

Наряду с распространенностью и тяжестью течения, важнейшей характеристикой хронического профессионального заболевания являются сроки его формирования, которые, как правило, превышают 10 лет. Цель исследования состояла в изучении причин развития, структуры и распространенности профессиональных заболеваний, регистрируемых при укороченных (не более 10 лет) сроках воздействия вредных производственных факторов. Изучен реестр выписок из карт учета профессионального заболевания (Приказ Министерства здравоохранения России от 28.05.2001г. №176) за 2007-2021 годы по Арктической зоне Российской Федерации. Установлены 10286 хронических профессиональных заболеваний, из которых в 45 (0,44%) случаях продолжительность стажа работника составила 1-5 лет, в 180 (1,75%) случаях – 6-10 лет и в 10061 (97,81%) случае – более 10 лет. Выявлены следующие характерные черты для заболеваний с укороченным сроком (1-10 лет) формирования: большие доли женщин и работников здравоохранения среди заболевших лиц; большая доля заболеваний, возникших при допустимых и вредных класса 3.1 условиях труда; в структуре их вызывающих вредных производственных воздействий большее значение имеют биологические и химические факторы; среди обстоятельств их развития повышена роль профессионального контакта с инфекционным агентом и несовершенства санитарно-технических установок; в структуре патологии более значительную долю занимают инфекционные болезни (туберкулез органов дыхания), заболевания органов дыхания и кожи. Некоторые обстоятельства возникновения и регистрации нарушений здоровья при коротких сроках воздействия вредных производственных факторов остаются не совсем ясными. Для предупреждения возможных случаев необоснованной регистрации этих заболеваний как профессиональных, целесообразно создание экспертной системы аудита данных, вводимых в отчетную документацию Роспотребнадзора.

Ключевые слова: условия труда, бактериологические и химические факторы, профессиональная патология, сроки развития, Арктика

CHRONIC OCCUPATIONAL DISEASES WITH SHORT DEVELOPMENT PERIODS IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

S.A. Syurin

Northwest Public Health Research Center, Saint-Petersburg, Russia

E-mail: kola.reslab@mail.ru

Abstract

Along with the prevalence and severity of the course, the most important characteristic of a chronic occupational disease is the period of its formation, which, as a rule, exceeds 10 years. The aim of the study was to analyze the causes, structure and prevalence of occupational diseases that developed during shortened (no more than 10 years) periods of exposure

to production hazards. We carried out an analysis of the data from the register of extracts from occupational disease records (Order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated May 28, 2001 No. 176) for 2007-2021 in the Russian Arctic. In 2007-2021, 10,286 chronic occupational diseases were first identified in the Russian Arctic. In 45 (0.44%) cases, the length of service was 1-5 years, in 180 (1.75%) cases - 6-10 years, and in 10061 (97.81%) cases - more than 10 years. The following characteristic features have been established for diseases with a shortened period of formation (1-10 years): larger proportions of women and health workers among the sick people; a larger proportion of diseases that occurred under permissible and harmful class 3.1 working conditions; biological and chemical factors are of greater importance in the structure of their production hazards; occupational contact with an infectious agent and imperfection of sanitary installations are of greater importance among the circumstances of their development; infectious diseases (respiratory tuberculosis), diseases of the respiratory system and skin occupy a larger share in the structure of occupational pathology. Some circumstances of the occurrence and registration of health disorders arising from short-term exposure to production hazards remain not entirely clear. To prevent possible cases of unsubstantiated recognition of these diseases as occupational ones, it is advisable to create an expert system for auditing data entered into the reporting documentation of Rospotrebnadzor.

Keywords: working conditions, bacteriological and chemical factors, occupational diseases, terms of development, Arctic

Введение

В 2014-2017 годах в России не соответствовали требованиям санитарно-эпидемиологических норм и правил 73,62% - 72,53% рабочих мест (более поздние данные не публиковались), что являлось причиной ежегодного развития в 2014-2022 годах 7891-4286 профессиональных заболеваний (ПЗ) и отравлений^{1,2,3,4,5}. Наряду с распространенностью и тяжестью течения, важнейшей характеристикой ПЗ являются сроки формирования патологических функциональных и морфологических изменений после начала контакта с вредными производственными факторами [1-3].

Учитывая модернизацию технологических процессов и применение более эффективных средств индивидуальной и коллективной защиты, считается, что развитие хронического ПЗ реально, как правило, после 10 лет экспозиции к вибрации, шуму, фиброгенным аэрозолям и другим вредным производственным воздействиям, соответствующим классам труда 3.2-3.4 [4-7]. Для класса вредности 3.1 его развитие не должно быть характерным при любой продолжительности стажа, так как возникающие функциональные изменения восстанавливаются, как правило, при более длительном (чем к началу следующей смены) прерывании контакта с вредными факторами⁶. Работы при опасном классе 4 проводятся по особым регламентам, направленным на минимизацию риска возникновения профессиональной патологии.

В связи с вышесказанным, обоснованность первичной регистрации хронических ПЗ с короткими сроками развития вызывает сомнения. Тем не менее, такой исход возможен при низком качестве предварительных и периодических медицинских осмо-

1 О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2014 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2015.

2 О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2015 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2016.

3 О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2016 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2017.

4 О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2017 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2018.

5 О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023.

6 Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. М., 2005.

тров, неполном анализе профессионального маршрута работника, при неправильном применении или неприменении средств индивидуальной защиты и некоторых других обстоятельствах развития ПЗ [2, 3, 8-10]. При анализе ПЗ с короткими сроками развития необходимо принимать во внимание возможность возникновения индивидуальной повышенной чувствительности к вредному производственному фактору вследствие ранее перенесенных или сопутствующих заболеваний и травм. Например, повышенная чувствительность к вибрации и шуму отмечается при синдроме или болезни Рейно, а также предшествующих обморожениях [11, 12]. Надо иметь в виду и возможность влияния на формирование ПЗ вредных непроизводственных факторов, прежде всего, курения [13, 14].

Цель исследования состояла в изучении причин развития, структуры и распространенности ПЗ, регистрируемых при укороченных (не более 10 лет) сроках воздействия вредных производственных факторов.

Материалы и методы

Изучены данные реестра выписок из карт учета профессиональных заболеваний (отравлений) (Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 28.05.2001 г. № 176 «О совершенствовании системы расследования и учета профессиональных заболеваний в Российской Федерации»). Выполнен сравнительный анализ впервые зарегистрированных ПЗ, сроки развития которых составили 1-5, 6-10 и более 10 лет в границах Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ), определенных Указом Президента России от 2 мая 2014 года № 296⁷ в 2007-2021 годах.

Полученные результаты обработаны статистически с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2016 и программы Epi Info, v. 6.04d. Рассчитывались t-критерий Стьюдента для несвязанных выборок, критерий согласия (χ^2), критерий аппроксимации (R^2). Числовые данные в тексте и таблицах представлены как абсолютные и процентные значения, среднее арифметическое и его стандартная ошибка ($M \pm m$). Нулевая гипотеза считалась критической при $p < 0,05$.

Результаты исследования

В 2007-2021 годах в АЗРФ были впервые выявлены 10286 хронических профессиональных заболеваний и отравлений. Из них на момент официальной регистрации в 45 (0,44%) случаях продолжительность стажа составила до 5 лет, в 180 (1,75%) случаях – 6 -10 лет и в 10061 (97,81%) случае – более 10 лет.

Анализ числа первичных хронических ПЗ выявил их регистрацию в каждом из первых десяти лет трудовой деятельности. Число заболеваний было минимальным в первом году с последующим постоянным увеличением ($R^2=0,987$) до десятого года (рис.).



Рисунок. Число диагностируемых хронических профессиональных заболеваний в первые 10 лет экспозиции к вредным производственным факторам

Проведен анализ основных демографических и производственных характеристик групп работников с различными сроками формирования ПЗ (табл. 1). Установлено, что при сроке развития патологии до 10 лет, по сравнению со сроком развития свыше 10 лет, у работников отмечались меньшие возраст и продолжительность стажа ($p < 0,001$). Помимо этого, среди них был меньшим удельный вес мужчин ($p < 0,001$) и лиц, занятых в добыче полезных ископаемых ($p = 0,017$) и на транспорте ($p = 0,008$), а большим – удельный вес лиц, занятых в обрабатывающих производствах ($p = 0,013$) и в здравоо-

ранении ($p < 0,001$). Различия между группами работников со сроками формирования ПЗ 1-5 лет и 6-10 лет были менее выраженными. Среди лиц со сроком развития ПЗ 1-5 лет отмечались меньшие продолжительность стажа ($p < 0,001$) и процентная доля мужчин ($p < 0,001$) и бóльшая процентная доля работников здравоохранения ($p < 0,001$).

Таблица 1.
Общая характеристика работников с хронической профессиональной патологией в зависимости от сроков её развития

Показатель	Срок развития ≤ 10 лет			Срок развития > 10 лет
	1 - 5 лет	6 – 10 лет	1-10 лет	
Число работников, из них:	39	136	175	7835
мужчины, абс.(%)	22 (56,4)	106 (77,9)*	128 (73,1)	7327 (93,5)**
женщины, абс.(%)	17 (43,6)	30 (22,1)*	47 (26,9)	508 (6,5)**
Возраст, лет	47,2±1,3	48,0±0,8	47,8±0,7	52,3±0,1**
Стаж, лет	3,69±0,71	8,66±0,18*	7,52±0,45	25,5±0,1**
Общее число заболеваний, абс.	45	180	225	10061
Число заболеваний у одного работника, абс.	1,15±0,07	1,32±0,06	1,29±0,06	1,28±0,04
Вид экономической деятельности:				
Добыча полезных ископаемых, абс.(%)	16 (35,6)	89 (49,4)	105 (46,7)	5505 (54,7)
Обрабатывающие производства, абс.(%)	15 (33,3)	61 (33,9)	76 (33,8)	2651 (26,3)**
Строительство, абс.(%)	1 (2,2)	21 (11,7)	22 (9,8)	1088 (10,8)
Транспорт и связь, абс.(%)	1 (2,2)	5 (2,8)	6 (2,7)	733 (7,3)**
Здравоохранение, абс.(%)	12 (26,7)	3 (1,7)*	15 (6,7)	50 (0,5)**
Прочие, абс.(%)	0	1 (0,6)	1 (0,4)	34 (0,3)

Примечание для таблиц 1-3. * - статистически значимые различия ($p < 0,05$) между группами со стажем 1-5 лет и 6-10 лет; ** - статистически значимые различия ($p < 0,05$) между группами со стажем 1-10 лет и > 10 лет.

Формирование ПЗ в четырех сравниваемых группах преимущественно происходило при классах вредности условий труда 3.2 и 3.3 (табл. 2). При стаже 1-5 лет и 6-10 лет различия в распределении случаев ПЗ по классам условий труда отсутствовали. Однако доля ПЗ с развитием в течение 1-10 лет, по сравнению со сроком развития более 10 лет, была больше при классах условий труда 2 ($p < 0,001$) и 3.1 ($p = 0,018$).

Среди технических обстоятельств формирования ПЗ доля профессионального контакта с инфекционным агентом (микобактерия туберкулеза) была выше при стаже 1-5 лет по сравнению со стажем 6-10 лет ($p < 0,001$), а при стаже 1-10 лет — выше, чем при стаже более 10 лет ($p < 0,001$). Также при сроке развития 1-10 лет, по сравнению со сроком более 10 лет, большее значение в формировании ПЗ имело несовершенство санитарно-технических установок ($p < 0,001$), а меньшее - конструктивные недостатки машин, механизмов и другого оборудования ($p < 0,001$).

Вредные производственные факторы, вызывавшие ПЗ, существенно отличались в четырех группах. При сроке развития патологии 1-5 лет, по сравнению с 6-10 лет, была больше доля биологического фактора и шума, а меньше – повышенной тяжести трудовых процессов. Биологический фактор (микобактерия туберкулеза) играл особенно значительную роль в развитии ПЗ в первый и второй годы работы: три из четырех и три из пяти случаев ПЗ приходились на туберкулез органов дыхания.

Сравнение ПЗ с периодами развития 1-10 лет и более 10 лет показало большее значение для коротких сроков химических и биологических факторов ($p < 0,001$), а для длительных – факторов физической природы: шума ($p = 0,019$), локальной вибрации ($p = 0,004$) и общей вибрации ($p = 0,007$).

Таблица 2.
Условия развития хронической профессиональной патологии с различными сроками экспозиции к вредным производственным факторам

Показатель	Срок развития ≤ 10 лет			Срок развития > 10 лет
	1 - 5 лет	6 – 10 лет	1-10 лет	
Класс условий труда, абс.(%)				
Класс 2	1 (2,2)	6 (3,3)	7 (3,1)	51 (0,5)**
Класс 3.1	8 (17,8)	41 (22,8)	49 (21,8)	1602 (15,9)**
Класс 3.2	18 (40,0)	77 (42,8)	95 (42,2)	4450 (44,2)

Показатель	Срок развития ≤ 10 лет			Срок развития > 10 лет
	1 - 5 лет	6 – 10 лет	1-10 лет	
Класс 3.3	16 (35,6)	37 (20,6)	53 (23,6)	2475 (24,6)
Класс 3.4	1 (2,2)	15 (8,3)	16 (7,1)	1134 (11,3)
Класс 4	1 (2,2)	4 (2,2)	5 (2,2)	339 (3,4)
Обстоятельства, абс.(%)				
Конструктивные недостатки машин, механизмов, оборудования	10 (22,2)	59 (32,8)	69 (30,7)	4313 (42,9)**
Несовершенство технологических процессов	17 (37,8)	94 (52,2)	111 (49,3)	4451 (44,2)
Несовершенство рабочих мест	4 (8,9)	9 (5,0)	13 (5,8)	926 (9,2)
Несовершенство санитарно-технических установок	4 (8,9)	11 (6,1)	15 (6,7)	185 (1,8)**
Профессиональный контакт с инфекционным агентом	7 (15,6)	1 (0,6)*	8 (3,6)	17 (0,2)**
Прочие	3 (6,7)	6 (3,3)	9 (4,0)	179 (1,8)
Производственный фактор, абс.(%)				
Биологические факторы	11 (24,4)	2 (1,1)*	13 (5,8)	24 (0,2)**
Химические вещества всех классов опасности	7 (15,6)	36 (20,0)	43 (19,1)	730 (7,3)**
Шум	10 (22,2)	18 (10,0)*	28 (12,4)	1872 (18,6)**
Тяжесть трудового процесса	9 (20,0)	73 (40,6)*	82 (36,4)	3489 (34,7)
Аэрозоли фиброгенные	3 (6,7)	17 (9,4)	20 (8,9)	921 (9,2)
Вибрация локальная	2 (4,4)	18 (10,0)	20 (8,9)	1610 (16,0)**
Вибрация общая	2 (4,4)	16 (8,9)	17 (7,6)	1396 (13,9)**
Микроклимат охлаждающий	1 (2,2)	0	1 (0,4)	19 (0,2)

В структуре профессиональной патологии, имевшей период развития 1-5 лет, доли инфекционных заболеваний и тугоухости были больше ($<0,001$ и $p=0,027$ соответственно), а доля болезней костно-мышечной системы – меньше ($p<0,001$), чем при развитии заболеваний в течение 6-10 лет. В числе инфекционных заболеваний при стаже 1-10 лет был только туберкулез органов дыхания (хронические формы), а при стаже более 10 лет - туберкулез органов дыхания и других органов, вирусный гепатит и эхинококкоз (хронические формы).

В структуре профессиональной патологии при стаже 1-10 лет, по сравнению со стажем более 10 лет, отмечались больший удельный вес инфекционных, респираторных и кожных заболеваний ($p<0,001$). В структуре профессиональной патологии со сроком развития, превышавшим 10 лет, больший удельный вес имели заболевания класса «Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин» и уха ($p<0,001$). Из числа наиболее распространенных нозологических единиц профессиональной патологии, нейросенсорная тугоухость и вибрационная болезнь чаще развивались после 10 лет экспозиции к шуму и вибрации. Связь частоты формирования радикулопатии с экспозицией до или более 10 лет выявлена не была (табл. 3).

Таблица 3.

Характеристика хронической профессиональной патологии с различными сроками развития

Показатель	Срок развития ≤ 10 лет			Срок развития > 10 лет
	1 - 5 лет	6 – 10 лет	1-10 лет	
Класс болезней, абс.(%)				
Инфекционные и паразитарные	11 (24,4)	3 (1,7)*	14 (6,2)	23 (0,2)**
Уха и сосцевидного отростка	10 (22,2)	18 (10,0)*	28 (12,4)	1876 (18,6)**
Органов дыхания	10 (22,2)	46 (25,6)	56 (24,9)	1417 (14,1)**
Костно-мышечной системы	8 (17,8)	59 (32,8)*	67 (29,8)	2879 (28,6)
Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин	3 (6,7)	28 (15,6)	31 (13,8)	2507 (24,9)**
Нервной системы	2 (4,4)	23 (12,8)	25 (11,1)	1263 (12,6)
Системы кровообращения	1 (2,2)	0	1 (0,4)	4 (0,04)

Показатель	Срок развития ≤ 10 лет			Срок развития > 10 лет
	1 - 5 лет	6 – 10 лет	1-10 лет	
Глаза и его придаточного аппарата	0	1 (0,6)	1 (0,4)	1 (0,01)
Кожи и подкожной клетчатки	0	2 (1,1)	2 (0,9)	10 (0,1)**
Злокачественные новообразования	0	0	0	81 (0,8)
Наиболее распространенные нозологические единицы, абс.(%)				
Нейросенсорная тугоухость	10 (22,2)	18 (10,0)*	28 (12,4)	1875 (18,6)**
Радикулопатия	7 (15,6)	38 (21,1)	45 (20,0)	2042 (20,3)
Вибрационная болезнь	3 (6,7)	24 (13,3)	27 (11,1)	2355 (21,2)**

Обсуждение результатов

Проведенное исследование показало, что вопреки обоснованным ожиданиям, хронические ПЗ с коротким сроком развития (условно принята цифра ≤ 10 лет стажа) регулярно регистрируются у работников предприятий в АЗРФ. Правда, их удельный вес относительно невелик и составляет 2,19%. Обращают на себя внимание следующие характерные черты этой группы ПЗ:

- 1) большие доли женщин и работников здравоохранения среди заболевших лиц;
- 2) большая доля заболеваний, возникших при допустимых и вредных класса 3.1 условий труда;
- 3) в структуре их вызывающих вредных производственных воздействий большее значение имеют биологические и химические факторы;
- 4) среди обстоятельств их развития более значимы профессиональный контакт с инфекционным агентом и несовершенство санитарно-технических установок;
- 5) в структуре профессиональной патологии повышены доли инфекционных болезней (туберкулез органов дыхания), заболеваний органов дыхания и кожи.

Учитывая представленные данные, можно признать существование хронических ПЗ с укороченным периодом формирования. Они обусловлены инфекционными воздействиями (микобактерии туберкулеза) и химическими веществами, в том числе аллергенами, действие которых не определяется продолжительностью экспозиции [15, 16]. Важным обстоятельством развития этих ПЗ, вероятно, являются нарушения правил техники безопасности, не всегда указываемые в официальных документах. Большую долю женщин, среди заболевших лиц, можно объяснить преобладанием женщин среди экспонированных к вредным воздействиям работников здравоохранения среднего и младшего звена [17, 18], а также возможным снижением резистентности женского организма к воздействию вредных условий труда [19].

Некоторые обстоятельства возникновения и регистрации нарушений здоровья при коротких сроках воздействия вредных производственных факторов остаются не совсем ясными. Вызывает сомнение реальное существование хронических ПЗ с укороченным периодом развития от воздействия физических факторов, включая фиброгенные аэрозоли, и повышенной тяжести труда, а также при допустимых условиях труда [3]. Так, самый ранний случай радикулопатии зарегистрирован после одного года работы во вредных условиях труда, нейросенсорной тугоухости – после двух лет, вибрационной болезни и хронического бронхита – после трех лет. Крайне маловероятно, что эти сроки достаточны для возникновения не только морфологических, но и функциональных изменений, характерных для этих заболеваний. По всей вероятности, в этих случаях имелись ранее сформировавшиеся нарушения здоровья (на предшествующих местах работы), которые не были выявлены при изучении профессионального маршрута работника и проведении предварительного медицинского осмотра. Вполне вероятно сознательное сокрытие работником этих нарушений с целью последующего получения ПЗ [2].

Для предотвращения регистрации недостаточно обоснованных случаев ПЗ, целесообразно создание экспертной системы контроля сведений, вводимых в отчетную документацию Роспотребнадзора. Объектом такого аудита должны быть, например, случаи диагнозов пылевых заболеваний органов дыхания, вибрационной болезни, нейросенсорной (сенсоневральной) тугоухости при стаже работы до пяти лет.

В целом, наличие у работников предприятий в АЗРФ хронических профессиональных заболеваний с короткими сроками развития подчеркивает необходимость технологической модернизации производства для улучшения условий труда, совершенствования средств защиты работников от воздействия вредных производственных факторов и медицинских мероприятий, направленных на повышение устойчивости организма к вредным производственным и климатическим воздействиям. С учетом полученных

данных, прежде всего, должно быть снижено негативное действие биологических факторов, вредных химических веществ, шума и повышенной тяжести труда у женщин и лиц, занятых в здравоохранении. При этом приоритет должна иметь профилактика туберкулезной инфекции, заболеваний органов дыхания и негативного воздействия шума на функцию слуха. Инструментами для решения поставленных целей могут быть строгое соблюдение регламентов технологических процессов и требований техники безопасности, качественные предварительные и периодические медицинские осмотры, регулярное проведение курсов оздоровительного лечения, своевременный перевод на работы, не связанные с воздействием вредных производственных факторов.

Ограничением исследования можно считать отсутствие заключений консультативно-экспертных комиссий центров профессиональной патологии с аргументацией установления ПЗ у лиц, с коротким стажем работы во вредных условиях труда и при работе в допустимых условиях труда.

Заключение

Установлены особенности причин развития, структуры и распространенности профессиональных заболеваний у лиц с коротким стажем работы во вредных условиях труда при разных видах экономической деятельности. Для предупреждения возможных случаев необоснованной регистрации этой группы заболеваний как профессиональных, целесообразно создание экспертной системы аудита сведений, вводимых в отчетную документацию Роспотребнадзора.

Информация о вкладе авторов: автор подтверждает единоличную ответственность за концепцию и дизайн исследования, сбор и анализ данных, интерпретацию результатов, а также подготовку рукописи.

Соблюдение этических стандартов: данное исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Список литературы:

1. Анисимов И.М., Трепаков М.В., Фомин А.И., Дягилева А.В. Оценка зависимости риска возникновения профессионального заболевания от стажа контакта с вредным производственным фактором // Вестник научного центра. 2019. № 3. С. 38-41.
2. Сюрин С.А. Стажевые особенности профессиональной патологии работников промышленных предприятий в Арктике // Медицина труда и промышленная экология. 2020. № 60 (8). С. 456-461. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-8-511-517
3. Сюрин С.А. Сроки формирования профессиональной патологии при воздействии различных по природе и интенсивности вредных факторов (на примере предприятий в Арктике) // Безопасность и охрана труда. 2023. № 3. С. 32-37. DOI: 10.54904/52952_2023_3_32
4. Спиринов В.Ф., Старшов А.М. К некоторым проблемам хронического воздействия производственного шума на организм работающих (обзор литературы) // Анализ риска здоровью. 2021. № 1. С. 186-196. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.19
5. Сюрин С.А. Профессиональная патология органов дыхания в Арктической зоне России // Санитарный врач. 2019. № 11. С. 45-51.
6. Талыкова Л.В., Гущин И.В. Связь патологии костно-мышечной системы с профессией у рабочих подземных рудников Арктической зоны Российской Федерации // Экология человека. 2017. № 6. С. 11-15.
7. Чистова Н.П., Маснабиева Л.Б., Кудаева И.В. Вибрационная болезнь: дозостажевые характеристики и особенности клинической картины при воздействии локальной вибрации и сочетанном воздействии локальной и общей вибрации // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. 2021. Т. 29. № 12. С. 30-35. DOI: 10.35627/2219-5238/2021-29-12-30-35
8. Атаманчук А.А., Кабанова Т.Г. Трудности выявления профессиональных заболеваний в России // Медицина труда и промышленная экология. 2017. № 9. С. 11-12.
9. Аубакиров С.М. Медицинские осмотры как фактор раннего выявления профессиональных и общих соматических заболеваний // Здравоохранение Югры: опыт и инновации. 2022. № 1 (30). С. 72-75.

10. Бабанов С.А., Будаш Д.С., Байкова А.Г., Бараева Р.А. Периодические медицинские осмотры и профессиональный отбор в промышленной медицине // Здоровье населения и среда обитания. 2018. № 5. С. 48-53.
11. Pettersson H., Burström L., Nilsson T. Raynaud's phenomenon among men and women with noise-induced hearing loss in relation to vibration exposure // *Noise Health*. 2014. № 16 (69). P. 89-94. DOI: 10.4103/1463-1741.132087.
12. Stjernbrandt A., Abu Mdaighem M., Pettersson H. Occupational noise exposure and Raynaud's phenomenon: a nested case-control study // *Int J Circumpolar Health*. 2021. № 80 (1). P. 1969745. DOI: 10.1080/22423982.2021.1969745
13. Cherniack M., Clive J., Seidner A. Vibration exposure, smoking, and vascular dysfunction // *Occup Environ Med*. 2000. № 57 (5). P. 341-347. DOI: 10.1136/oem.57.5. 341
14. Syurin S., Vinnikov D. Occupational disease claims and non-occupational morbidity in a prospective cohort observation of nickel electrolysis workers // *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12. № 1. P. 7092. DOI: 10.1038/s41598-022-11241-5
15. Валеева Э.Т., Галимова Р.Р., Дистанова А.А. Условия труда, профессиональная и профессионально обусловленная патология у работников производств полимерных изделий // *Санитарный врач*. 2019. № 3. С. 28-33.
16. Масыгутова Л.М., Абдрахманова Е.Р., Ахметшина В.Т., Хафизова А.С., Хайруллин Р.У. О состоянии профессиональной аллергической заболеваемости в современных условиях // *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. 2020. Т. 28. № 2. С. 249-252. DOI: 10.32687/0869-866X-2020-28-2-249-252
17. Кляритская И.Л., Максимова Е.В., Жукова Н.В., Григоренко Е.И., Мошко Ю.А. Профессиональные заболевания медицинских работников // *Крымский терапевтический журнал*. 2019. № 3. С. 5-11.
18. Гарипова Р.В., Стрижаков Л.А., Умбетова К.Т., Сафина К.Р. Профессиональные заболевания медицинских работников от воздействия инфекционных агентов: современное состояние проблемы // *Медицина труда и промышленная экология*. 2021. Т. 61. № 1. С. 13-17. DOI: 10.31089/1026-9428-2021-61-1-13-17
19. Панков В.А., Кулешова М.В. Анализ профессиональной заболеваемости женщин трудоспособного возраста // *Гигиена и санитария*. 2019. Т. 98 № 10. С. 1056-1061. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-10-1056-1061

References:

1. Anisimov I.M., Trepakov M.V., Fomin A.I., Dyagileva A.V. Assessment of the dependence of the risk of an occupational disease on the length of contact with a harmful production factor. *Vestnik Nauchnogo centra*, 2019, no. 3, pp. 38-41. (In Russian).
2. Syurin S.A. Experience characteristics of occupational pathology of workers at industrial enterprises in the Arctic. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2020, no. 60 (8), pp. 456-461. (In Russian). DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-8-511-517
3. Syurin S.A. Time frame for occupational pathology development caused by harmful factors of different nature and intensity (using the example of enterprises in the Arctic). *Bezopasnost' i ohrana truda*, 2023, no. 3, pp. 32-37. (In Russian). DOI: 10.54904/52952_2023_3_32
4. Spirin V.F., Starshov A.M. On certain issues related to chronic exposure to occupational noise and impacts exerted by it on workers (literature review). *Analiz riska zdorov'yu*, 2021, no. 1, pp. 186-196. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.19.eng (In Russian).
5. Syurin S.A. Occupational respiratory pathology in the Arctic zone of Russia. *Sanitarnyy vrach*, 2019, no. 11, pp. 45-51. (In Russian).
6. Talykova L.V., Gushchin I.V. The relationship between the musculoskeletal diseases and the profession of underground miners in the Arctic zone of the Russian Federation. *Ekologiya cheloveka*, 2017, no. 6, pp. 11-15. (In Russian).
7. Chistova N.P., Masnavieva L.B., Kudaeva I.V. Vibration Disease: Exposure Level and Duration-Dependent Characteristics and Features of the Clinical Picture Following Local and Combined Local and Whole Body Vibration. *Public Health and Life Environment – PH&LE*, 2021, vol. 29, no. 12, pp. 30-35. (In Russian). DOI: 10.35627/2219-5238/2021-29-12-30-35
8. Atamantchuk A.A., Kabanova T.G. Difficulties in diagnosis of occupational diseases in Russia. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*, 2017, no. 9, pp. 11-12. (In Russian).

9. Aubakirov S.M. Medical examinations as a factor in the early detection of occupational and general somatic diseases. *Zdravookhranenie Yugry: opyt i innovacii*, 2022, vol. 1 (30), pp. 72-75. (In Russian).
10. Babanov S.A., Budash D.S., Baikova A.G., Baraeva R.A. Periodic medical examinations and professional selection in industrial medicine. *Public Health and Life Environment – PH&LE*, 2018, no. 5, pp. 48-53. (In Russian).
11. Pettersson H., Burström L., Nilsson T. Raynaud's phenomenon among men and women with noise-induced hearing loss in relation to vibration exposure. *Noise Health*, 2014. No. 16 (69), pp. 89-94. DOI: 10.4103/1463-1741.132087
12. Stjernbrandt A., Abu Mdaighem M., Pettersson H. Occupational noise exposure and Raynaud's phenomenon: a nested case-control study. *Int J Circumpolar Health*, 2021. No. 80 (1), p. 1969745. DOI: 10.1080/22423982.2021.1969745
13. Cherniack M., Clive J., Seidner A. Vibration exposure, smoking, and vascular dysfunction. *Occup Environ Med*, 2000. No. 57 (5), pp. 341-347. DOI: 10.1136/oem.57.5. 341
14. Syurin S., Vinnikov D. Occupational disease claims and non-occupational morbidity in a prospective cohort observation of nickel electrolysis workers. *Scientific Reports*, 2022. Vol. 12, no. 1, p. 7092. DOI: 10.1038/s41598-022-11241-5
15. Valeeva E.T., Galimova R.R., Distanova A.A. Working conditions, occupational and work-related pathology in the polymer production workers. *Sanitarnyy vrach*, 2019, no. 3, pp. 28-33. (In Russian).
16. Masyagutova L.M., Abdrakhmanova E.R., Akhmetshina V.T., Khafisova A.S., Khayrullin R.U. On situation with occupational allergic morbidity in modern conditions. *Problemi socialnoi gigieni, zdravookhraneniya i istorii meditsini*, 2020, vol. 28, no. 2, pp. 249-252. (In Russian). DOI: 10.32687/0869-866X-2020-28-2-249-252
17. Klyaritskaya I.L., Maksimova E.V., Zhukova N.V., Grigorenko E.I., Moshko Yu.A. Occupational diseases of medical workers. *Krymskij terapevticheskij zhurnal*, 2019, no. 3, pp. 5-11. (In Russian).
18. Garipova R.V., Strizhakov L.A., Umbetova K.T., Safina K.R. Occupational diseases of medical workers from exposure to infectious agents: current state of the problem. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2021, vol. 61, no. 1, pp. 13-17. (In Russian). DOI: 10.31089/1026-9428-2021-61-1-13-17
19. Pankov V.A., Kuleshova M.V. Analysis of the occupational morbidity among working-age women. *Gigiena i Sanitaria [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*, 2019, vol. 98, no.10, pp. 1056-1061. (In Russian). DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-10-1056-1061

Научная статья

УДК 621.825:621.313.392

DOI: 10.24412/2658-4255-2024-1-14-25



EDN: QSQPPC

Для цитирования:

Ким К.К., Иванов С.Н.,
Азимов Х.Х. Алгоритмические
основы исследования
электромагнитных
процессов в электроприводе
герметичной задвижки //
Российская Арктика. 2024.
Т. 6. № 1. С. 14-25.

<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-1-14-25>

Получена: 21.12.2023

Принята: 01.02.2024

Опубликована: 29.03.2024

For citation:

Kim K.K., Ivanov S.N.,
Azimov Kh.Kh.. Algorithmic
foundations for the study of
electromagnetic processes in
the electric drive of a sealed
valve. Russian Arctic, 2024,
vol. 6, no. 1, pp. 14-25.

(In Russian).

<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-1-14-25>

Финансирование.

Исследование выполнено
за счет гранта Российского
научного фонда № 24-29-00089
<https://rscf.ru/project/24-29-00089/>

АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ
В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ГЕРМЕТИЧНОЙ ЗАДВИЖКИК.К. Ким^{1*} , С.Н. Иванов² , Х.Х. Азимов² 

¹ Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия

² Комсомольский-на-Амуре государственный университет,
г. Комсомольск-на-Амуре, Россия

E-mail: [*kimkk@inbox.ru](mailto:kimkk@inbox.ru)

Аннотация

Рассмотрен алгоритм исследования электромагнитных процессов в приводе герметичной задвижки, эксплуатируемой в условиях низких температур. Показана возможность установки между статором и ротором приводного электродвигателя дополнительного элемента, выполняющего функции герметизации и нагрева. Построена геометрическая модель привязки дополнительного элемента к базовой детали – статору двигателя. Приведено распределение плотности тока в герметизирующем элементе. Предложена методика учета влияния параметров герметизирующего элемента на процесс электрохимического преобразования энергии при перемещении шибера задвижки. Синтезирована математическая модель привода с использованием системы пространственных векторов статора, ротора и герметизирующего элемента. Модель содержит уравнение движения, позволяющее учесть моменты инерции и нагрузки, включающие приведенную массу шибера и потери трения в задвижке. Приведены механические характеристики привода с различными параметрами герметичного элемента. Показано, что основное влияние на электромагнитный момент оказывает активное сопротивление герметизирующего элемента. Увеличение относительного сопротивления элемента приводит к возрастанию момента. Индуктивное сопротивление дополнительного элемента существенного влияния на эффективность работы привода не оказывает. При большом активном сопротивлении энергетические характеристики привода задвижки приближаются к характеристикам привода, у которого герметизирующий элемент между статором и ротором отсутствует.

Ключевые слова: электропривод, задвижка, герметизирующий элемент, электромагнитные процессы, моделирование

ALGORITHMIC FOUNDATIONS FOR THE STUDY
OF ELECTROMAGNETIC PROCESSES IN THE
ELECTRIC DRIVE OF A SEALED VALVEК.К. Kim^{1*} , S.N. Ivanov² , Kh.Kh. Azimov² 

¹ Federal State Budget Educational Institution for Higher Education "Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University", St. Petersburg, Russia

² Komsomolsk-on-Amur State University, Komsomolsk-on-Amur, Russia

E-mail: [*kimkk@inbox.ru](mailto:kimkk@inbox.ru)

Abstract

An algorithm for studying electromagnetic processes in the drive of a sealed valve operated at low temperatures is considered. The possibility of installing an additional element between the stator and rotor of the drive electric motor that performs the functions of sealing and heating is shown.

A geometric model has been constructed for linking an additional element to the base part - the motor stator. The current density distribution in the sealing element is shown. A method for taking into account the influence of the parameters of the sealing element on the process of electromechanical energy conversion when moving the valve gate is proposed. A mathematical model of the drive has been synthesized using a system of spatial vectors of the stator, rotor and sealing element. The model contains an equation of motion that allows one to take into account moments of inertia and loads, including the reduced mass of the gate and friction losses in the valve. The mechanical characteristics of the drive with various parameters of the sealed element are given. It is shown that the main influence on the electromagnetic torque is exerted by the active resistance of the sealing element. An increase in the relative resistance of the element leads to an increase in torque. The inductive reactance of the additional element does not have a significant effect on the efficiency of the drive. With a high active resistance, the energy characteristics of the valve drive approach those of a drive that does not have a sealing element between the stator and the rotor.

Keywords: electric drive, valve, sealing element, electromagnetic processes, modeling

Введение

Развитие отечественной энергетической инфраструктуры предполагает освоение ряда перспективных территорий, перечисленных в Указе № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» и дополнении к нему. Отличительной особенностью этих зон является не только сложный климатический режим, подробный анализ которого приведен в материалах государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации», но также удаленность и труднодоступность технологических объектов добычи в первую очередь нефтегазового сырья, требующих развитой системы магистральных трубопроводов. Протяженность отечественных трубопроводных систем, по которым перекачивается не менее 90% всех добываемых нефтегазовых ресурсов, составляет более 250 тыс. км, из которых порядка 70 тыс. км без учета введенных в эксплуатацию в 2023 году используется для транспорта нефти и нефтепродуктов [1]. Эксплуатируемые трубопроводные магистрали состоят из технологических модулей, включающих запорные элементы, расстояние между которыми достигает 30 км. Возникновение аварийных ситуаций на удаленных участках трубопроводов приводит к выбросам перекачиваемого сырья, что представляет большую опасность для окружающей среды, а в некоторых случаях приводит к необратимым последствиям [2]. По причине удаленности поиск места аварии и доставка до него оперативно-технического персонала может занимать неопределенное время, это также относится и к участкам трубопроводов, проходящих под водой. Отдельным фактором, подтверждающим актуальность рассматриваемой проблемы, являются произошедшие 26 сентября 2022 года массовые утечки газа вследствие разрушения части международных подводных газопроводов.

Очевидно, что создание автоматических приводных устройств, обеспечивающих в случае утечки оперативную локализацию места повреждения, является актуальной задачей. Своевременное устранение на основе постоянного мониторинга процессов повреждений, обусловленных техническими и антропогенными факторами, снижает прямой экономический ущерб, составляющий порядка 1,5 млрд. руб. в год, но, что в условиях Арктической зоны особенно важно, ограничивает воздействие продуктов транспортирования на окружающую среду. В настоящее время электропривода находят практическое применение в различном технологическом оборудовании, начиная с миниатюрных механизмов, например, привод клапана блока терморегулирования системы жизнеобеспечения человека в условиях сверхнизких температур, заканчивая силовыми установками для перемещения крупногабаритных объектов. При этом почти в 50% из эксплуатируемых электротехнических комплексов используются привода с линейным перемещением исполнительного механизма [3].

Проведенный авторами анализ показал, что в условиях Арктической зоны существующие привода не полностью удовлетворяют требованиям надежности, в частности вследствие конструкционной сложности. Повышение надежности приводных механизмов линейного перемещения при обеспечении требуемых усилий и переме-

щений может рассматриваться как одно из приоритетных направлений увеличения эффективности объектов энергетического комплекса. Актуальность исследования также подтверждается информацией о существующих системах электропривода возвратно-поступательного движения на базе электромеханических преобразователей, показывающей заинтересованность производителей и потребителей энергетического оборудования в его дальнейшей модернизации и совершенствовании с целью улучшения технико-экономических характеристик [4-12].

Задача разработки электроприводов, адаптированных к условиям низких температур и характеризующихся высокой надежностью, может быть решена с использованием результатов, полученных авторами при создании теплогенерирующих перекачивающих устройств на основе электромеханических преобразователей. В данной статье приведен алгоритм проектирования и исследования электромагнитных процессов в приводном устройстве герметичной задвижки, а также примеры его реализации.

Материалы и методы

Состояния проблемы создания высоконадежных электроприводов показывает, что научные исследования в данной области ведутся во всех промышленно развитых странах [13-19].

Российскими учеными опубликовано достаточно много результатов, полученных при анализе эксплуатационных режимов электромеханических приводов для задвижек в нефтегазовой промышленности. Наиболее значимыми работами в данной области являются публикации А.Г. Гарганеева, А.С. Каракулова, А.И. Удовиченко, О.В. Потетенко, Н.Г. Шевченко, Е.С. Коваль, А.О. Смирнова, Н.И. Куракина, Р.А. Мышко, Г.В. Кулинченко и ряд других.

В статье [5] приводится экспериментальная оценка эффективности привода запорной арматуры на основе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с редуктором и безредукторного синхронного двигателя с вращающимся ротором. Авторами разработаны две модели привода на основе приведенных типов двигателей, протестированы методы оценки эффективности в реальном времени и получены данные для оценки энергоэффективности привода в процессе позиционирования. При использовании асинхронного двигателя в приводе запорных арматур наблюдается снижение его коэффициента полезного действия (КПД) с 60 % до 22 % (с учетом КПД редуктора). Применение синхронного двигателя связано со сложностью конструкции, трудностью пуска и регулирования скорости.

Сравнение типов редукторов (волнового, планетарного, червячно-колесного) по показателям «выходной крутящий момент/масса» применительно к мехатронным системам трубопроводной арматуры сделано в статье [6]. По мнению авторов, преимуществом редукторов червячно-колесного типа является естественная статическая самоблокировка. Таким же преимуществом обладает и винтовая пара. Авторы также отмечают, что невозможно однозначно сказать, какой тип привода выбрать в данном конкретном случае, они делают заключение, что по показателям веса, габаритов и цены невозможно спроектировать электропривод без редуктора, способный развивать крутящий момент аналогичный электроприводу с редуктором.

В работе [7] рассмотрены электродвигатели для бесступенчатого привода запорных арматур на базе различных электродвигателей, в том числе и с постоянными магнитами. Отмечено, что процесс пуска электродвигателя с большим пусковым моментом является сложной научной и практической проблемой. Такой режим возникает, например, в момент открытия заслонки трубопровода, когда на нее оказывается максимальная нагрузка. Оптимальным решением, по мнению авторов, является использование привода, содержащего асинхронный двигатель и редуктор, работающего с частотой вращения вала 10...120 об/мин.

Анализ имеющихся работ показывает, что создание приводов, непосредственно ориентированных на экстремальные температурные условия в большинстве публикаций не рассматривается.

Подробное описание конструкции привода герметичной задвижки, рассматриваемой в данной статье, приведено в работах [20, 21]. Информация о непосредственном приводе герметичной задвижки на базе асинхронного двигателя с интегрированным механизмом «винт-гайка» приведена в [21]. Авторами показано, что использование электромеханического преобразователя с линейным перемещением исполнительного элемента в качестве привода герметичной задвижки является перспективным вследствие существенного упрощения

конструкции, что обеспечивает высокую надежность и экологическую безопасность трубопроводной системы. Адаптация конструкции привода для низких температур обеспечивается электропроводящим герметизирующим элементом, выполняющим функции дополнительного теплового источника.

Оценка выполнимости привода герметичной задвижки с учетом влияния герметизирующего элемента, представляющим собой короткозамкнутую неподвижную обмотку, может быть сделана на основе алгоритмического и математического исследования и анализа эффективности преобразования электромагнитной энергии в механическую с учетом эксплуатационных условий. Теоретическую базу исследования наряду с традиционными методиками проектирования, разработками в областях электро-, термо- и гидродинамики, составляют методы автоматизированного проектирования, инженерного анализа и статистическое планирование эксперимента. Выбор в качестве силового элемента привода асинхронного двигателя с герметичным статором и короткозамкнутым ротором со встроенным элементом «винт-гайка» позволяет использовать математические модели, реализованные на основе теории обобщенного электромеханического преобразователя энергии.

На начальном этапе с использованием технологии построения виртуальных трехмерных моделей создается геометрическая форма объекта исследования, которая обеспечивает гибкую параметризацию и возможность учета определяющих факторов, влияющих на эксплуатационные характеристики привода.

Реализация системного подхода включает поэтапное решение задачи исследования путем построения трехмерной параметрической модели привода герметичной задвижки, увязки форм и размеров сопрягаемых элементов, полного описания геометрической формы, вариативное проектирование исследуемого устройства. Для разработки и анализа параметрической модели, обеспечивающей реализацию алгоритма исследования электромагнитных процессов, использованы методы твердотельного проектирования. Для определения значимых проектных параметров в алгоритме может быть предусмотрен блок планирования вычислительного эксперимента с использованием статистической обработки и анализа данных на базе критериев оптимизации проектных параметров комплекса при переменном векторе внешних возмущений. Проведение вычислительного эксперимента для нахождения характеристик потоковых процессов реализуется численными методами инженерного анализа, что обусловлено нелинейностью математических моделей. Принятие решения о завершении задачи исследования осуществляется сравнением результатов вычислительного и натурального экспериментов. Физическая реализация исполнительской части привода, необходимая для проведения экспериментальной верификации данных имитационного моделирования, осуществляется быстрым прототипированием.

Структурно электропривод герметичной задвижки рассматривается как сложная иерархическая модель, состоящая из алгоритмически упорядоченных элементов, раздельно выполняющих целевые задачи, но при этом охваченных централизованными глобальными связями.

Стратегической основой исследования и реализации такой модели на системном уровне является алгоритм ее функционирования и определяющие критерии: количественная оценка эффективности выполнения приводом целевой функции – перемещение исполнительного элемента на заданное расстояние с требуемой скоростью в условиях реального нагружения.

Исследование электромагнитных процессов является частью общего алгоритма проектирования привода с учетом тепловых, механических и гидравлических составляющих в задвижке, который приведен на рис.1.

Концептуально проектирование рассматривается как синтез структурной схемы и обоснование выбора ее элементов на основе глобального алгоритма, реализующего выполнение целевых функций, отражающих мультифизический технологический процесс. Для его реализации необходима информация о функциональных возможностях и принципах работы объекта исследования. Под «мультифизичностью» понимается одновременность протекания и взаимовлияния электромагнитных, механических, тепловых и гидравлических процессов.

Результаты

Параметрическая модель асинхронного двигателя с привязкой герметизирующего элемента к внутренней расточке корпуса статора, являющегося базовой деталью, выполненная в системе проектирования T-Flex CAD, приведена на рис.2.

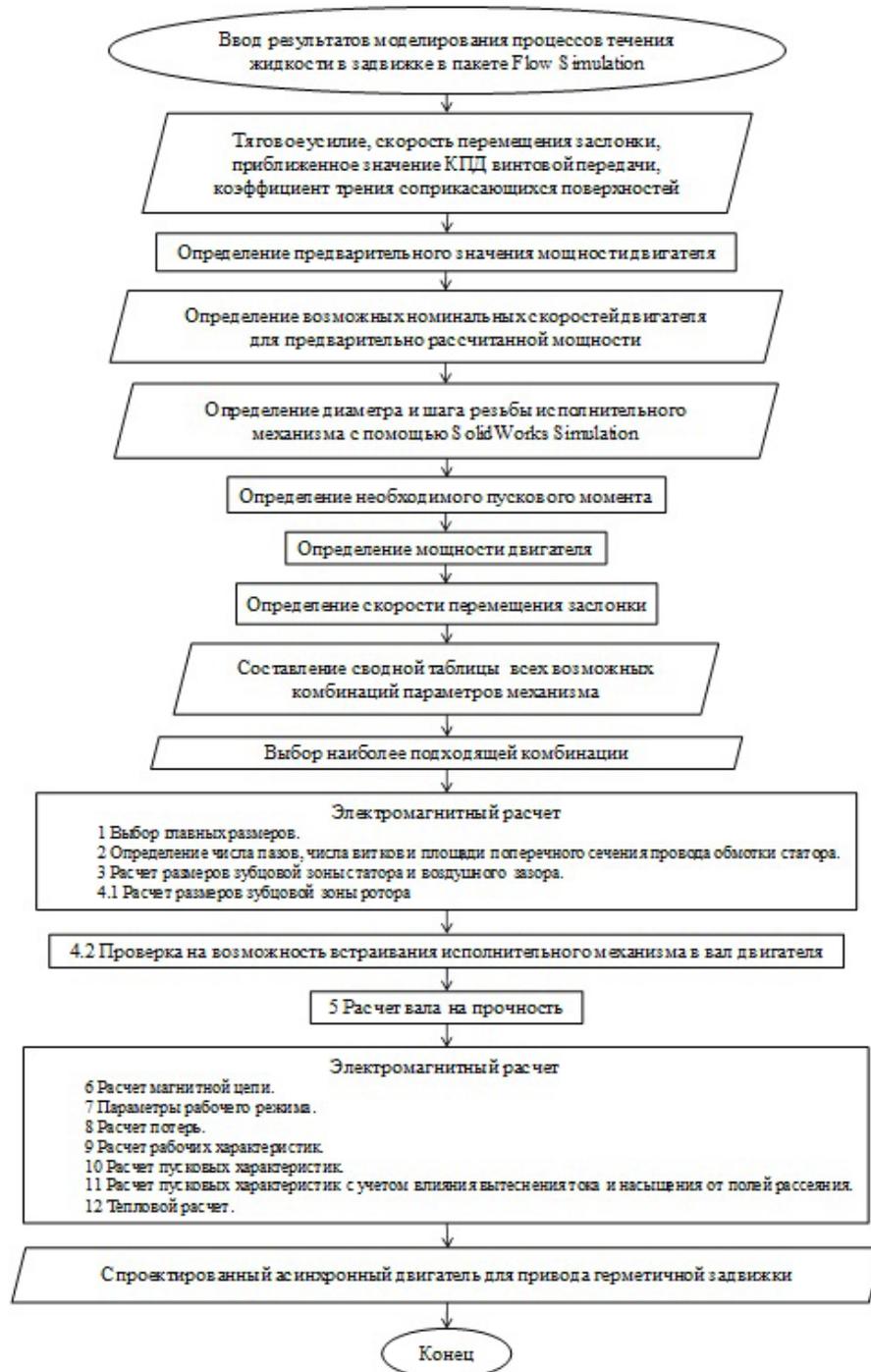


Рисунок 1. Общий алгоритм проектирования привода задвижки

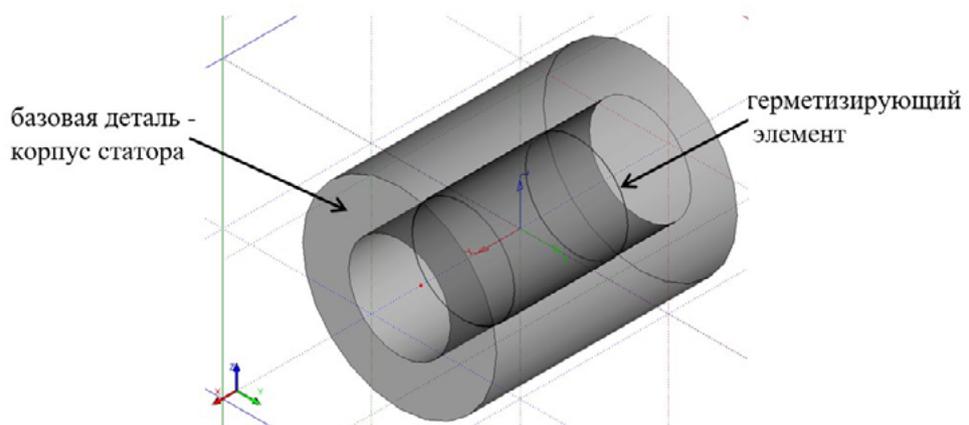


Рисунок 2. Позиционирование герметизирующего элемента в корпусе статора

При исследовании электромагнитных процессов в построенной геометрической модели с целью оценки влияния герметизирующего элемента на характеристики привода, требуется учесть следующее:

- наличие элемента из немагнитного материала увеличивает зазор между статором и ротором;
- способ непосредственного охлаждения ротора не связан со статором.
- для уменьшения потерь на трение ротора с жидкостью и потерь в герметизирующем элементе целесообразно обеспечить соотношение длины активной части l_t к полюсному делению τ не меньше 2;
- короткозамкнутый ротор выполнен с полым валом;
- пазовые клинья исключают деформации герметизирующего элемента от внутреннего давления в нем.

Герметизирующий элемент рассматривается в виде тороидальной короткозамкнутой обмотки, соответственно схема замещения электромеханического преобразователя для одной фазы включает параметры трех обмоток: статора, ротора и герметизирующего элемента. Очевидно, что последний будет препятствовать прохождению магнитного поля в ротор вследствие индуцированных вихревых токов, значения которых обусловлены физическими характеристиками элемента [22-25]. Результаты моделирования, полученные в программе ANSYS и приведенные на рис.3, показывают, что точная оценка эффекта влияния герметизирующего элемента невозможна вследствие неравномерного распределения в нем плотности вихревых токов (рис. 3: l_t – длина элемента; l_b – длина вылета, определяемая длиной лобовых частей обмотки; материал – бронза).

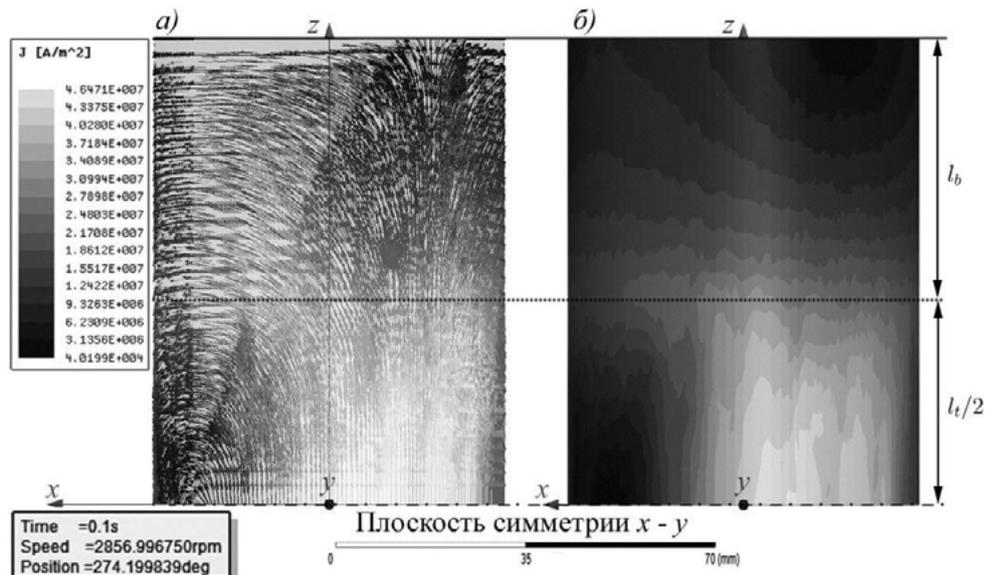


Рис. 3. Распределение плотности тока в герметизирующем элементе: а) вектор плотности тока; б) модуль плотности тока

Для математической формализации привода герметичной задвижки использовано описание в виде системы пространственных векторов [26].

В математической модели с синхронно вращающейся системой координат, реализованной с векторным представлением переменных, входные величины описываются сигналами постоянного тока, которые изменяются только в переходных режимах. Пространственный вектор \bar{U}_1 вращается с частотой ω_0 и является управляющим. Модель включает матрицы-столбцы фазных напряжений, связанных токов и потокосцеплений, в симметричном режиме токов нулевой последовательности нет, учитывается одна фаза двигателя.

Уравнения связи потокосцеплений и токов:

$$\langle \psi_1 \rangle = |L_1| \langle i_1 \rangle + |L_{12}| \langle i_1 \rangle + |L_{1x}| \langle i_1 \rangle;$$

$$\langle \psi_2 \rangle = |L_{21}| \langle i_1 \rangle + |L_2| \langle i_1 \rangle + |L_{2x}| \langle i_1 \rangle;$$

$$\langle \psi_x \rangle = |L_{x1}| \langle i_1 \rangle + |L_{x2}| \langle i_1 \rangle + |L_x| \langle i_1 \rangle,$$

где $|L_1|$, $|L_2|$, $|L_x|$ - матрицы индуктивностей, определяемые выражениями:

$$\begin{aligned}
 [L_1] &= \begin{bmatrix} L_{m\phi} + L_{1\sigma} & -\frac{1}{2}L_{m\phi} & -\frac{1}{2}L_{m\phi} \\ -\frac{1}{2}L_{m\phi} & L_{m\phi} + L_{1\sigma} & -\frac{1}{2}L_{m\phi} \\ -\frac{1}{2}L_{m\phi} & -\frac{1}{2}L_{m\phi} & L_{m\phi} + L_{1\sigma} \end{bmatrix}; \\
 [L_2] &= \begin{bmatrix} L_{m\phi} + L_{2\sigma} & -\frac{1}{2}L_{m\phi} & -\frac{1}{2}L_{m\phi} \\ -\frac{1}{2}L_{m\phi} & L_{m\phi} + L_{2\sigma} & -\frac{1}{2}L_{m\phi} \\ -\frac{1}{2}L_{m\phi} & -\frac{1}{2}L_{m\phi} & L_{m\phi} + L_{2\sigma} \end{bmatrix}; \\
 [L_x] &= \begin{bmatrix} L_{m\phi} + L_{x\sigma} & -\frac{1}{2}L_{m\phi} & -\frac{1}{2}L_{m\phi} \\ -\frac{1}{2}L_{m\phi} & L_{m\phi} + L_{x\sigma} & -\frac{1}{2}L_{m\phi} \\ -\frac{1}{2}L_{m\phi} & -\frac{1}{2}L_{m\phi} & L_{m\phi} + L_{x\sigma} \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

В описании модели использованы следующие обозначения: мгновенные значения напряжений статора - $u_{1A'}, u_{1B'}, u_{1C'}$; мгновенные значения токов в фазных обмотках статора, ротора, герметизирующего элемента соответственно - $i_{1A'}, i_{1B'}, i_{1C'}, i_{2a'}, i_{2b'}, i_{2c'}$; $i_{xA'}, i_{xB'}, i_{xC'}$; полные потокосцепления тех же обмоток - $\Psi_{1A'}, \Psi_{1B'}, \Psi_{1C'}, \Psi_{2a'}, \Psi_{2b'}, \Psi_{2c'}, \Psi_{xA'}, \Psi_{xB'}, \Psi_{xC'}$; активные сопротивления и собственные индуктивности обмоток - $R_1, R_2, R_x; L_1, L_2, L_x$; индуктивности обмоток, обусловленные наличием потоков рассеяния, - $L_{1\sigma}, L_{2\sigma}, L_{x\sigma}$; потокосцепление и индуктивность намагничивающего контура - Ψ_m, L_m ; угол поворота ротора - γ ; коэффициент рассеяния - σ .

Система уравнений с использованием пространственных векторов во вращающейся системе координат имеет вид:

$$\begin{cases} \vec{U}_1 = R_1 \vec{I}_1 + \frac{\partial \vec{\Psi}_1}{\partial t} + j\omega_0 \vec{\Psi}_2 \\ 0 = R_2 \vec{I}_2 + \frac{\partial \vec{\Psi}_2}{\partial t} + j\omega_2 \vec{\Psi}_2 \\ 0 = R_x \vec{I}_x + \frac{\partial \vec{\Psi}_x}{\partial t} + j\omega_0 \vec{\Psi}_x \\ \vec{\Psi}_1 = L_1 \vec{I}_1 + L_m \vec{I}_2 + L_m \vec{I}_x \\ \vec{\Psi}_2 = L_m \vec{I}_1 + L_2 \vec{I}_2 + L_m \vec{I}_x \\ \vec{\Psi}_x = L_m \vec{I}_1 + L_m \vec{I}_2 + L_x \vec{I}_x \end{cases} \quad (1)$$

В (1) внешними управляющими воздействиями являются не только составляющие пространственного вектора \vec{U}_1 , но и частота, поэтому необходимо преобразование в систему, связанную с вектором $\vec{\Psi}_2$. Пространственный вектор $\vec{\Psi}_2$ в комплексном виде при совмещении действительной оси с α , а мнимой - с β :

$$\vec{\Psi}_2 = \Psi_{2a} + j\Psi_{2b}.$$

Для согласования систем координат необходимо выполнение условия:

$$\Psi_{2b} = 0.$$

Уравнение электрического равновесия применительно к ротору имеет вид:

$$0 = R_2 \vec{I}_2 + \frac{d\vec{\Psi}_2}{dt} + j\omega_2 \vec{\Psi}_2 \quad \frac{d\vec{\Psi}_2}{dt} = -R_2 i_{2a}; \omega_0 = \frac{R_2 i_{2b}}{\Psi_{2a}} + p_{II} \omega. \quad (2)$$

Вектор намагничивающего тока:

$$\vec{I}_m = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_x.$$

С учетом уравнений (2) система (1) принимает вид:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d\vec{\Psi}_1}{dt} &= \vec{U}_1 - R_1\vec{I}_1 - jw_0\vec{\Psi}_1; \frac{d\Psi_{2a}}{dt} = -R_2i_{2a}; \frac{d\vec{\Psi}_x}{dt} = -R_x\vec{I}_x - jw_0\vec{\Psi}_x; \\ \vec{I}_1 &= L_{1\sigma}^{-1}(\vec{\Psi}_1 - \vec{\Psi}_m); \vec{I}_2 = L_{2\sigma}^{-1}(\vec{\Psi}_2 - \vec{\Psi}_m); \vec{I}_x = L_{x\sigma}^{-1}(\vec{\Psi}_x - \vec{\Psi}_m); \\ \vec{\Psi}_m &= L_m\vec{I}_1 + L_m\vec{I}_2 + L_m\vec{I}_x; w_0 = \frac{R_2i_{2b}}{\Psi_{2a}} + p_n w; \frac{dw}{dt} = \frac{1}{J} \left(\frac{3}{2} p_n (\vec{I}_2 \cdot \vec{\Psi}_m) - M_c \right). \end{aligned} \right. \quad (3)$$

Система уравнений (3) содержит уравнение движения, обусловленного взаимодействием тока \vec{I}_2 и потокосцепления $\vec{\Psi}_m$, и учитывает моменты инерции J и нагрузки M_c , включающие приведенную массу шибера и потери трения в задвижке [21]. Модель позволяет учесть изменение насыщения магнитной цепи за счет коэффициента связи основного магнитного потока и намагничивающего тока, соответствующего ненасыщенной машине с постоянными индуктивностями рассеяния $L_{1\sigma}, L_{2\sigma}, L_{x\sigma}$:

$$L_1 = L_{1\sigma} + k_\psi(\Psi_m) L_{m'}; \quad L_2 = L_{2\sigma} + k_\psi(\Psi_m) L_{m'}; \quad L_x = L_{x\sigma} + k_\psi(\Psi_m) L_{m'}$$

Обсуждение

Механические характеристики электропривода герметичной задвижки, формализованного системой (3), выполненные в разных программных средах приведены на рис.4. В качестве базового варианта для расчета выбран общепромышленный асинхронный двигатель, номинальные параметры которого приведены в таблице 1. Момент трения на шибере предварительно имеет линейный характер, определяемый коэффициентом трения 0,36 (латунь-латунь).

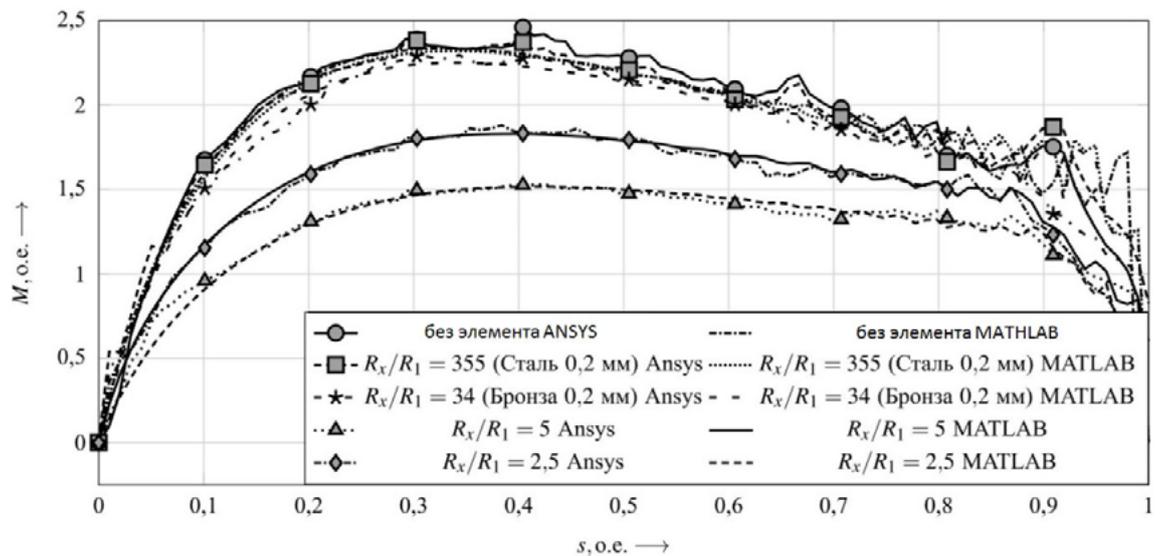


Рисунок 4. Механические характеристики электропривода герметичной задвижки

Таблица 1.

Технические данные

Мощность $P_{2н}$, кВт	30
Линейное напряжение U , В	380
Ток фазы $I_{Фн}$, А	191
Частота питания f , Гц	
Момент двигателя $M_{нr}$, Н	61
Частота вращения w_{or} , с ⁻¹	25
Число полюсов $2p_n$	4
КПД (с учетом герметизирующего элемента), %	75
Коэффициент мощности, %	80
Момент инерции ротора с учетом шибера J , кг·м ²	0,25
Скольжение $s_{нr}$, о.е.	0,16

Анализ полученных результатов показывает, что основное влияние герметизирующего элемента на электромагнитный момент связано с его активным сопротивлением R_x . Увеличение относительного сопротивления элемента R_x/R_1 (R_1 – активное сопротивление фазной обмотки статора) приводит к разнотемповому возрастанию номинального, пускового, критического моментов. Индуктивное сопротивление необходимо учитывать только при $R_x/R_1 < 2$. Теоретически при $R_x \rightarrow \infty$ и $Lx \rightarrow 0$ энергетические характеристики привода задвижки приближаются к характеристикам привода при отсутствии между статором и ротором герметизирующего элемента. При соотношении $R_x/R_1 > 100$ снижение КПД не превышает 3%.

Заключение

Создание новых типов автономных силовых приводов линейного перемещения на базе специальных электромеханических устройств с учетом удаленных эксплуатационных факторов позволяет повысить эффективность критических объектов инфраструктуры энергетического комплекса. Рассмотренный алгоритм исследования электромагнитных процессов в электроприводе герметичной задвижки на основе его описания системой пространственных векторов позволяет учесть влияние определяющих параметров на эффективность работы устройства. Математическая модель, полученная на основе векторного описания входных и выходных переменных, а также внешних и внутренних возмущений, позволяет учесть нелинейность коэффициентов, связанных с определяемыми активными сопротивлениями, индуктивностями, взаимными индуктивностями. Оценка влияния размерных соотношений, встроенных в геометрическую модель, создает возможность последующей трехмерной оптимизации основных элементов привода и задвижки с учетом тепловых и гидродинамических процессов в магистрали. Это позволяет не только обеспечить заданный технологический режим, но и устойчивость системы в условиях низких температур за счет утилизации тепловыделений в герметизирующем элементе.

Список литературы:

1. Транспорт в России. 2022: Статистический сборник. М.: Росстат, 2022. 101 с.
2. Куракина Н.И., Мышко Р.А. ГИС моделирования нефтяных разливов на магистральных трубопроводах // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2020. № 2. С. 52-60. EDN: YRLRDZ
3. Свечарник Д.В. Электрические машины непосредственного привода: Безредукторный электропривод. М.: Энергоатомиздат, 1988. 208 с.
4. Castellini L., D'Andrea M., Borgarelli N. Analysis and design of electro-mechanical actuator for gate valve in oil&gas applications // 2014 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM 2014). Ischia, Italy. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Curran Associates, Inc. (Sep 2014). P. 378-384.
5. Кулинченко Г.В., Масленников А.М., Бахута В.А., Червяков В.Д. Оценка эффективности электропривода запорной арматуры // Восточно-Европейский журнал корпоративных технологий. Харьков, 2019. Т. 4. № 8. С. 36-44. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.174203
6. Гарганеев А.Г., Каракулов А.С., Ланграф С.В. Электропривод запорной арматуры как мехатронная система // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. НГТУ. 2013. № 2. С. 180-187. EDN: QBRYDX
7. Удовиченко А.В., Калужский Д.Л., Уваров Н.А., Мехтиев А.Д. Электродвигатели для регулируемого привода запорной арматуры // Электроника. 2021. Т. 21. № 10, 2727. С. 1-14. DOI:10.3390/electronics10212727
8. Jia-Yue G., Hui-Ying C. Development of the Intelligent Secondary Protection Device of Sewage Pipeline Exhaust Valve // 2015 Seventh International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. 2015. P. 388-391. DOI: 10.1109/ICMTMA.2015.99
9. Гринченков В.П., Павленко И.А. Электромагнитные приводы с возвратно-поступательным и возвратно-вращательным принципом действия для клапанов // Изв. вузов. Электромеханика. 2009. № 4. С. 51 – 57. EDN: LAFQIT
10. Ганнель Л.В. Оптимизация профиля скорости позиционных линейных электроприводов // Изв. вузов. Электромеханика. 2021. Т. 64. № 2. С. 50-55. DOI:10.17213/0136-3360-2021-2-50-55
11. Ахрамеева Е.В., Кузнецова Т.Р. Модель преобразователя углового перемещения в линейное на базе передачи «винт-гайка» // Известия ТулГУ. Технические науки. 2022. Вып. 9. С. 24-28. DOI: 10.24412/2071-6168-2022-9-24-29

12. Васин С.А., Плахотникова Е.В. Методика расчета величины крутящего момента настройки электропривода в системе электроприводной запорной арматуры с прямолинейным перемещением запорного органа // Записки Горного института. 2018. Т. 232. С. 407-412. DOI: 10.31897/PMI.2018.4.407
13. Гарганеев А.Г., Динь К.К., Сипайлова Н.Ю., Кашин Е.И. Оптимизация геометрии зубцовой зоны гистерезисной муфты запорной арматуры нефтепровода // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 7. С. 155–164. DOI: 10.18799/24131830/2019/7/2192
14. Матросов А.В. Анализ режимов многомашинного электрогидравлического привода затвора гидротурбины // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2016. № 1 (238). С. 19-27. DOI: 10.5862/JEST.238.2
15. Гарганеев А.Г. Синхронно-гистерезисный двигатель в электроприводе трубопроводной арматуры // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов международной научно-практической конференции. Томский государственный университет. 2012. № 1. С. 95-99. EDN: TKCANF
16. Garganeev A.G. Application synchronous-hysteresis motors as electrical drivers for tube armature // 11-th International Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, APEIE. Novosibirsk, 2012. P. 135-137. DOI: 10.1109/APEIE.2012.6629088
17. Гарганеев А.Г., Кюи Д.К., Кашин Е.И. Электропривод задвижки трубопроводной арматуры с гистерезисной муфтой // Доклады ТУСУР. Томск, 2018. Т. 21. № 1. С. 127–131. DOI:10.21293/1818-0442-2018-21-1-127-131
18. Каракулов А.С., Ланграф С.В. Разработка системы управления электроприводом запорной арматуры методом разделения математических моделей объектов управления // Известия ВУЗов. Электромеханика. 2006. № 3. С. 54-56. EDN: KGCUKV
19. Вэнь-чжи Ц., Тянь-ян Чж., Дань Цз., Пин Я. Анализ магнитной силы электромагнитного шарового клапана во время гидравлических переходных процессов в трубопроводе // Международная конференция по гидроэнергетике и мехатронике (FPM). Харбин, 2015. С. 1113-1117. DOI: 10.1109/FPM.2015.7337285
20. Ким К.К., Иванов С.Н. Моделирование комбинированного электропривода // Известия вузов. Электромеханика. 2019. Т. 62. № 3. С. 44-50. DOI:10.17213/0136-3360-2019-3-44-50
21. Иванов С.Н., Ким К.К., Колесник М.Б. Определение мощности электропривода герметичной задвижки с учетом действующих нагрузок // Энергобезопасность и энергосбережение. 2023. № 1. С. 68-77. EDN: FVUMHU
22. David C. White, Herbert H. Woodson. Electromechanical Energy Conversion. New York, John Wiley and Sons, Inc. 1959. 528 p.
23. Иванов-Смоленский А.В. Электромагнитные силы и преобразование энергии в электрических машинах. М. : Высш. шк., 1989. 312 с.
24. Куцевалов В.М. Вопросы теории и расчета асинхронных машин с массивными роторами. М.-Л.: Энергия, 1966. 304 с.
25. Фисенко В.Г. Численные расчеты электромагнитных полей в электрических машинах на основе метода конечных элементов. М. : МЭИ (ТУ), 2002. 44 с.
26. Голоколос Д.А., Иванов С.Н., Ким К.К., Бельский К.О. Синтез системы управления экранированным асинхронным двигателем на основе векторного описания // Ученые записки КнАГТУ. 2023. № I (65). С. 31-39. DOI: 10.17084/20764359-2023-65-31

References:

1. Transport v Rossii. 2022: Statisticheskiiy sbornik [Transport in Russia. 2022: Statistical collection]. Moscow. Rosstat, 2022, 101 p. (In Russian).
2. Kurakina N.I., Myshko R.A. GIS modelirovaniya neftnyanyh razlivov na magistralnyh truboprovodah [GIS modeling of oil spills on main pipelines]. *Izvestiya SPBGEHTU «LEHTI»* [News of St. Petersburg Electrotechnical University "LETI"], 2020, no. 2, pp. 52-60. (In Russian). EDN: YRLRDZ
3. Svecharnik D.V. *Elektricheskiye mashiny neposredstvennogo privoda: Bezreduktornyy elektropriwod* [Direct drive electric machines: Gearless electric drive]. Moscow. Energoatomizdat, 1988, 208 p. (In Russian).
4. Castellini L., D'Andrea M., Borgarelli N. Analysis and design of electro-mechanical actuator for gate valve in oil&gas applications // 2014 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM 2014). Ischia, Italy. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Curran Associates, Inc. (Sep 2014), pp. 378-384.
5. Kulinchenko G.V., Maslennikov A.M., Bahuta V.A., Chervyakov V.D. Ocenka ehffektivnosti ehlektroprivoda zapornoj armatury [Evaluation of the efficiency of the electric drive of shut-off valves]. *Vostochno-Evropejskij zhurnal korporativnyh tekhnologij* [East

- European Journal of Corporate Technologies*]. Kharkov, 2019, vol. 4, no. 8, pp. 36-44. (In Russian). DOI: 10.15587/1729-4061.2019.174203
6. Garganeev A.G., Karakulov A.S., Langraf S.V. Ehlektroprivod zapornoj armatury kak mekhatronnaya sistema [Electric drive of shut-off valves as a mechatronic system]. *Nauchnyj vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Scientific bulletin of the Novosibirsk State Technical University]. NSTU, 2013, no. 2, pp. 180-187. (In Russian). EDN: QBRYDX
 7. Udovichenko A.V., Kaluzhskij D.L., Uvarov N.A., Mekhtiev A.D. Ehlektroprivod dlya reguliruemogo privoda zapornoj armatury [Electric motors for adjustable drive of shut-off valves]. *Ehlektronika* [Electronics], 2021, vol. 21, no.10, pp. 1-14. (In Russian). DOI:10.3390/electronics10212727
 8. Jia-Yue G., Hui-Ying C. Development of the Intelligent Secondary Protection Device of Sewage Pipeline Exhaust Valve // 2015 Seventh International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, 2015, pp. 388-391. DOI: 10.1109/ICMTMA.2015.99
 9. Grinchenkov V.P., Pavlenko I.A. Ehlektromagnitnye privody s vozvratno-postupatelnyim i vozvratno-vrashchatelnym principom dejstviya dlya klapanov [Electromagnetic actuators with reciprocating and reciprocating rotary operating principles for valves]. *Izvestiya vuzov. Ehlektromekhanika* [Izv. universities Electromechanics], 2009, no. 4, pp. 51-57. (In Russian). EDN: LAFQIT
 10. Garganeev A.G., Din K.K., Sipajlova N.Yu., Kashin E.I. Optimizaciya geometrii zubcovoj zony gisterezisno mufty zapornoj armatury nefteprovoda [Optimization of the geometry of the tooth zone of the hysteresis coupling of shut-off valves of an oil pipeline]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* [News of Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering], 2019, vol. 330, no. 7, pp. 155-164. (In Russian). DOI: 10.18799/24131830/2019/7/2192
 11. Gannel L.V. Optimizaciya profilya skorosti pozicionnyh linejnyh ehlektroprivodov [Optimization of the speed profile of positional linear electric drives]. *Izvestiya vuzov. Ehlektromekhanika* [Izv. universities Electromechanics], 2021, vol. 64, no. 2, pp. 50-55. (In Russian). DOI:10.17213/0136-3360-2021-2-50-55
 12. Matrosov A.V. Analiz rezhimov mnogomashinnogo ehlektrogidravlicheskogo privoda zatvora gidroturbiny [Analysis of the modes of a multi-machine electro-hydraulic drive of a hydraulic turbine gate]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta* [Scientific and technical bulletins of the St. Petersburg State Polytechnic University], 2016, vol. 238, no. 1, pp. 19-27. (In Russian). DOI: 10.5862/JEST.238.2
 13. Ahrameeva E.V., Kuznecova T.R. Model preobrazovatelya uglovogo peremeshcheniya v linejnoe na baze peredachi «vint-gajka» [Model of an angular to linear displacement converter based on a screw-nut transmission]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki* [News of Tula State University. Technical Science], 2022, vol. 9, pp. 24-28. (In Russian). DOI: 10.24412/2071-6168-2022-9-24-29
 14. Garganeev A.G. Sinhronno-gisterezisnyj dvigatel v ehlektroprivode truboprovodnoj armatury [Synchronous-hysteresis motor in the electric drive of pipeline fittings]. Ehlektronnye sredstva i sistemy upravleniya. Materialy dokladov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii [Electronic means and control systems. Materials of reports of the international scientific and practical conference]. Tomsk State University, 2012, no. 1, pp. 95-99. EDN: TKCANF
 15. Garganeev A.G. Application synchronous-hysteresis motors as electrical drivers for tube armature // 11-th International Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, APEIE. Novosibirsk, 2012. pp. 135-137. DOI: 10.1109/APEIE.2012.6629088
 16. Garganeev A.G., Kyui D.K., Kashin E.I. Ehlektroprivod zadvizhki truboprovodnoj armatury s gisterezisnoj muftoj [Electric drive for pipeline valve valves with hysteresis coupling]. *Doklady TUSUR* [TUSUR reports]. Tomsk, 2018, vol. 21, no. 1, pp. 127-131. (In Russian). DOI:10.21293/1818-0442-2018-21-1-127-131
 17. Vasin S.A., Plahotnikova E.V. Metodika rascheta velichiny krutyashchego momenta nastrojki ehlektroprivoda v sisteme ehlektroprivodnoj zapornoj armatury s pryamolinejnym peremeshcheniem zapornogo organa [Methodology for calculating the value of the electric drive setting torque in a system of electric drive shut-off valves with linear movement of the shut-off element]. *Zapiski Gornogo instituta* [Notes of the Mining Institute], 2018, vol. 232, pp. 407-412. (In Russian). DOI: 10.31897/PMI.2018.4.407
 18. Karakulov A.C., Langraf S.V. Razrabotka sistemy upravleniya ehlektroprivodom zapornoj armatury metodom azdeleniya matematicheskikh modelej upravleniya

- [Development of a control system for the electric drive of shut-off valves using the method of separating mathematical models of control objects]. *Izvestiya vuzov. Ehlektromekhanika [Izv. universities Electromechanics]*, 2006, no. 3, pp. 54-56. (In Russian). EDN: KGCUKV
19. Vehn-chzhi C., Tyan-yan Chzh., Dan Cz., Pin Ya. Analiz magnitnoj sily ehlektromagnitnogo sharovogo klapana vo vremya gidravlicheskih perekhodnyh processov v truboprovode [Analysis of Magnetic Force of Solenoid Ball Valve During Hydraulic Transients in Pipeline]. *Mezhdunarodnaya konferenciya po gidroehnergetike i mekhatronike (FPM) [International Conference on Fluid Power and Mechatronics (FPM)]*. Harbin, 2015, pp. 1113-1117. DOI: 10.1109/FPM.2015.7337285
 20. Kim K.K., Ivanov S.N. Modelirovanie kombinirovannogo ehlektroprivoda [Simulation of a combined electric drive]. *Izvestiya vuzov. Ehlektromekhanika [Izv. universities Electromechanics]*, 2019, vol. 62, no. 3, pp. 44-50. (In Russian). DOI:10.17213/0136-3360-2019-3-44-50
 21. Kim K.K., Ivanov S.N., Kolesnik M.B. Opredelenie moshchnosti ehlektroprivoda germetichnoj zadvizhki s uchetom dejstvuyushchih nagruzok [Determination of the power of the electric drive of a sealed valve taking into account the existing loads]. *Ehnergobezopasnost I ehnergoberezhenie [Energy security and energy saving]*, 2023, no. 1, pp. 68-77. (In Russian). EDN: FVUMHU
 22. David C. White, Herbert H. Woodson. *Electromechanical Energy Conversion*. New York, John Wiley and Sons, Inc, 1959, 528 p.
 23. Ivanov-Smolenskij A.V. Ehlektromagnitnye sily I preobrazovanie ehnergii v ehlektricheskikh mashinah [Electromagnetic forces and energy conversion in electrical machines]. Moscow. Higher school, 1989, 312 p. (In Russian).
 24. Kucevalov V.M. *Voprosy teorii I rascheta asinhronnyh mashin s massivnymi rotorami [Questions of theory and calculation of asynchronous machines with massive rotors]*. Moscow-Leningrad publ. Energy, 1966, 304 p. (In Russian).
 25. Fisenko V.G. Chislennye raschety ehlektromagnitnyh polej v ehlektricheskikh mashinah na osnove metoda konechnykh ehlementov [Numerical calculations of electromagnetic fields in electrical machines based on the finite element method]. Moscow. MPEI (TU), 2002, 44 p. (In Russian).
 26. Golokolos D.A., Ivanov S.N., Kim K.K., Belskij K.O. Sintez sistemy upravleniya ehkranirovannym asinhronnym dvigatelem na osnove vektornogo opisaniya [Synthesis of a control system for a shielded asynchronous motor based on a vector description]. *Uchenye zapiski KnAGTU [Scientific notes of KnAGTU]*, 2023, vol. 65, no. I, pp. 31-39. (In Russian). DOI: 10.17084/20764359-2023-65-31

Научная статья

УДК 551.46

DOI: 10.24412/2658-4255-2024-1-26-32



EDN: IAXSMF

Для цитирования:

Попова В.Г., Рубченя А.В.
Иванов Б.В. Некоторые
особенности ледовых условий
в северо-западной части
Северного Ледовитого океана
за период 1979-2022 гг. //
Российская Арктика. 2024.
Т. 6. № 1. С. 26-32.
<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-1-26-32>

Получена: 25.12.2023

Принята: 05.02.2024

Опубликована: 12.03.2024

For citation:

Popova V.G., Rubchenya A.V.,
Ivanov B.V. Some features
of ice conditions in the
northwestern part of the Arctic
Ocean for the period 1979-2022.
Russian Arctic, 2024, vol. 6,
no. 1, pp. 26-32. (In Russian).
<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-1-26-32>

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии
конфликта интересов

Финансирование.

Исследование выполнено за
счет гранта РФФИ № 24-27-00112
«Современные изменения
арктического климата и
экстремальные колебания
погоды в западном секторе
Северного морского пути».



НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА ЗА ПЕРИОД 1979-2022 ГГ.

В.Г. Попова*¹, А.В. Рубченя², Б.В. Иванов^{1,3}

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,
Россия

² Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова,
Росгидромет, Москва, Россия

³ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
Санкт-Петербург, Россия

E-mail: *popovavi.popova@yandex.ru

Аннотация

В статье представлены результаты исследования долгопериодных изменений ледовитости и сплоченности морского ледяного покрова в северо-западной части Северного Ледовитого океана (СЛО) за период 1979-2022 гг. Материалы были получены из базы данных по морскому льду, созданной в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте (АНИИ). Получены количественные сравнительные оценки изменения указанных ледовых характеристик. На фоне общего понижения ледовитости в исследуемом районе, для рассматриваемого периода можно выделить два временных интервала и переходный период, различающиеся продолжительностью, абсолютными значениями ледовитости и характером межгодовой изменчивости.

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, ледовитость, сплоченность, долгопериодные изменения, Арктика

SOME FEATURES OF ICE CONDITIONS IN THE NORTHWESTERN PART OF THE ARCTIC OCEAN FOR THE PERIOD 1979-2022

A.V. Popova*¹, A.V. Rubchenya², B.V. Ivanov^{1,3}

¹ St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

² State Oceanographic Institute named after N.N. Zubov, Moscow, Russia

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

E-mail: *popovavi.popova@yandex.ru

Abstract

The article investigates the long-term changes in ice cover and concentration of ice in the northwestern part of the Arctic Ocean (AO) for the period 1979-2022. The data were obtained from the sea ice database created at Arctic and Antarctic Research Institute (AARI). Quantitative comparative assessments of these mentioned ice characteristics are obtained. Taking into account the general ice cover decrease in the study area, three time periods are to be identified. These periods differ in duration, absolute values of sea ice extent and the nature of interannual variability.

Keywords: Arctic Ocean, arctic, concentration of ice, long-period changes, Arctic

Введение

Арктический бассейн является областью наиболее чувствительной к изменениям глобального климата [6]. Наиболее значимым индикатором последствий изменения климата является ледяной покров, объективный мониторинг и оперативный анализ которого стал возможен после организации и проведения регулярных спутниковых наблюдений [13].

Оценка происходящих изменений ледовых условий важна как для понимания климатических тенденций, так и для практической деятельности человека. Последнее обстоятельство связано с расширением деятельности хозяйствующих субъектов в Арктической зоне Российской Федерации, связанной с поисками и разработкой месторождений углеводородного сырья, осуществлением безопасной навигации на трассах Северного Морского пути и т.п. В то же время, наблюдаемые в Арктике изменения климата в сторону его потепления, увеличивают площадь открытой воды в морях в летний период, что способствует возникновению опасного ветрового волнения, слабо прогнозируемых перемещений отдельных скоплений дрейфующего льда, что является серьезной опасностью для транспортных судов, не обладающих требуемым ледовым классом [9]. Так называемая «атлантификация» [3, 6] приводит к вытеснению из привычной среды обитания полярных морских экосистем и замещение их более южными видами. Наверху полярной экосистемы находятся крупные млекопитающие (например, белые медведи), которые вынужденно мигрируют на север в среду с более ограниченными возможностями для питания, что может способствовать резкому сокращению их численности

Основной вывод, который присутствует в ряде основополагающих работ отечественных исследований относительно изменения ледовых условий в Арктике, это не только общее сокращение площади ледяного покрова в Северном Ледовитом океане (СЛО), но и сокращение площадей, занятых многолетними толстыми льдами и их замещение более тонкими однолетними, а также общее сокращение ледовитости в большинстве районов Арктического бассейна. Наиболее интенсивно эти события, которые можно определить, как значимая смена ледовых эпох, наблюдались с 1995 по 2005 гг., в зависимости от региона [8].

Наиболее значимыми индикаторами изменения современных ледовых условий являются такие характеристики как ледовитость и сплоченность ледяного покрова, которые определяют площадь покрытия акватории льдами различных видов.

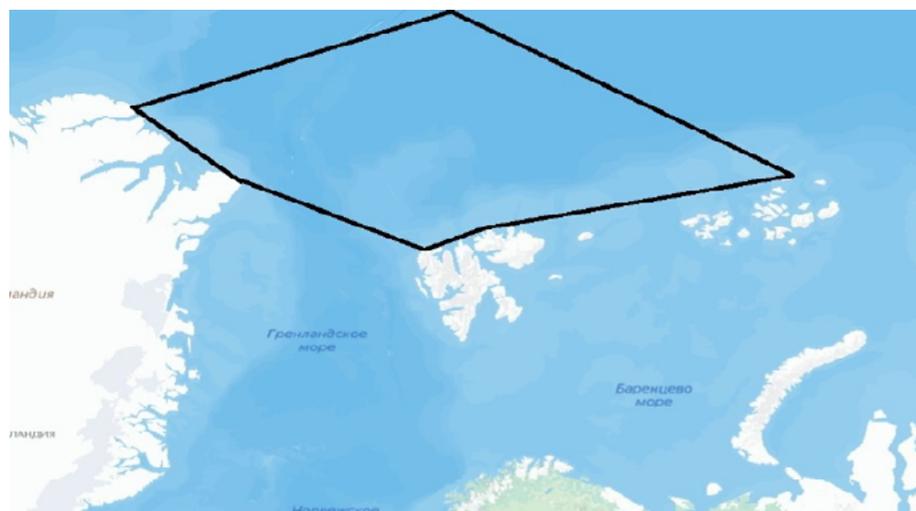
Ледовитость - степень покрытия льдом акватории водного объекта, определяется как отношение площади, занятой льдом любой сплоченности (густоты льдов), к общей площади акватории водного объекта [2]. Ледовитость может выражаться как в процентах, так и в тысячах квадратных километров.

Сплоченность льда - условная величина, которая характеризует степень покрытия поверхности воды дрейфующим льдом; её количественное значение оценивается через отношение общей площади льда к общей площади видимой морской поверхности.

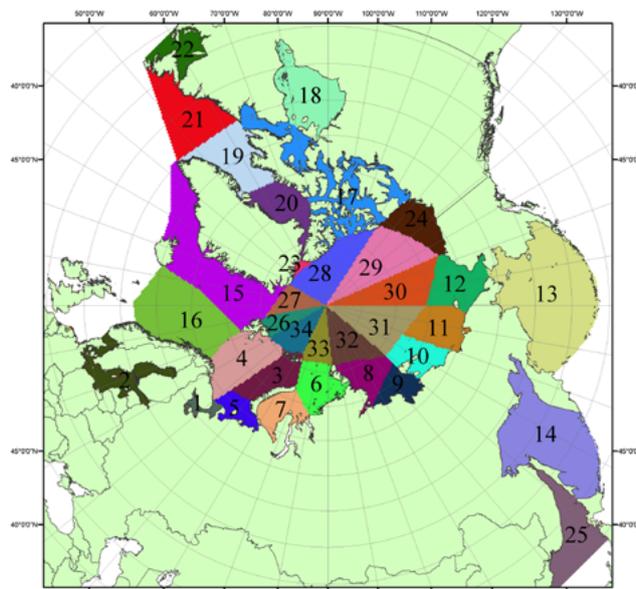
В данной работе значения ледовитости представлены как в процентах покрытия льдом рассматриваемой акватории, так и в тысячах квадратных километрах и используется, так называемая, приведенная сплоченность [2, 13]. Последняя означает отношение, выраженное, в десятых долях и описывающее общую площадь морской поверхности, покрытую льдом как часть всей рассматриваемой площади.

Материалы и методы

Источником данных, которые были использованы в нашей работе для получения количественных оценок ледовых характеристик, послужил архив данных по морскому льду Арктического и антарктического научно-исследовательского института (АНИИ) [13]. Исследуемый район – сектора акватории СЛО между Северным полюсом, Гренландией, Шпицбергом и Землей Франца-Иосифа, общей площадью 980,5 тыс. км² (рис. 1а).



(а)



(б)

Рисунок 1. Район исследований (а) и общее районирование СЛО по классификации ААНИИ (б)

Данный район в наименьшей степени исследован российскими и зарубежными авторами. Он представляет интерес с той точки зрения, что именно здесь всегда наблюдаются максимальные площади, занятые многолетними льдами в течение всего года по сравнению с другими районами СЛО, например, примыкающими к окраинным арктическим морям. Здесь происходит основной вынос арктических льдов из центральной части бассейна (через пролив Фрама). Данный выбор сделан также вследствие того, что в данном районе можно ожидать минимальную ледовитости, поскольку ледяной покров здесь присутствует круглогодично. По классификации ААНИИ это сектора с номерами 26, 27, и 34 (рис. 16).

Для каждого сектора из базы данных по морскому льду ААНИИ получены уже готовые средние по площади сектора оценки ледовитости и сплоченности.

Обсуждение результатов

Анализ ледовых условий в выбранном регионе был выполнен для периода 1979-2022 гг. Основным результатом представлен на рис. 2, из которого следует, что за исследуемый интервал времени наблюдается устойчивое уменьшение ледовитости, которое наиболее ярко проявилось в июне. Приблизительно с 2003 года сокращение ледовитости в исследуемом районе СЛО наблюдается во все сезоны года. При этом в некоторые года в зимний период полного покрытия района ледяным покровом (максимальная ледовитость, равная 980,5 тыс. км²) не наблюдается.

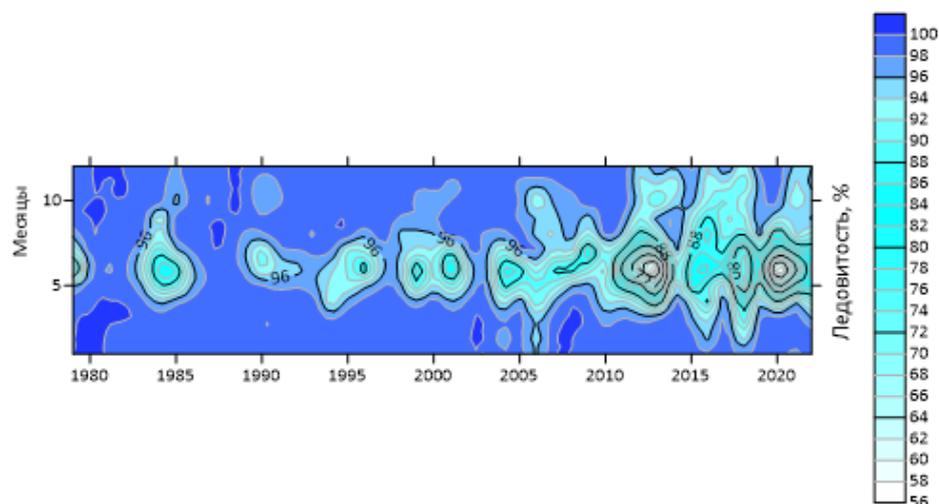


Рисунок 2. Ледовитость (в %) исследуемого района по данным ААНИИ за период 1979-2022 гг.

В работе рассчитаны значения аномальности ледовитости относительно среднего значения для всего периода наблюдений (рис. 3). Начиная с начала инструментальных наблюдений и практически до 2011 года отмечалась тенденция, соответствующая устойчивому уменьшению положительных аномалий ледовитости. После 2011 г. аномалии ледовитости сменили знак, перейдя в отрицательную область. В последующий период (2011-2022 г.) наблюдалось значительное возрастание межгодовой изменчивости аномалий ледовитости. Хотя, собственно, характер изменения аномалий ледовитости уменьшился незначительно: с $-9,1$ тыс. км²/10 лет до $-7,3$ тыс. км², соответственно. При этом колебания среднегодовых значений ледовитости в этот период отмечались относительно среднего значения, находящегося на уровне отрицательной аномалии равной, приблизительно -42 ± 5 тыс. км². При этом максимальные величины отрицательных аномалий достигали 100 тыс. км² (2018 г.), что составляет, порядка, 10% от значения максимальной ледовитости в исследуемом районе. Таким образом при сохранении общей тенденции многолетних изменений ледовитости за весь рассматриваемый период (1979-2022 гг.), период 1979-2011 гг. характеризуются слабой межгодовой изменчивостью по сравнению с периодом 2011-2022 гг.

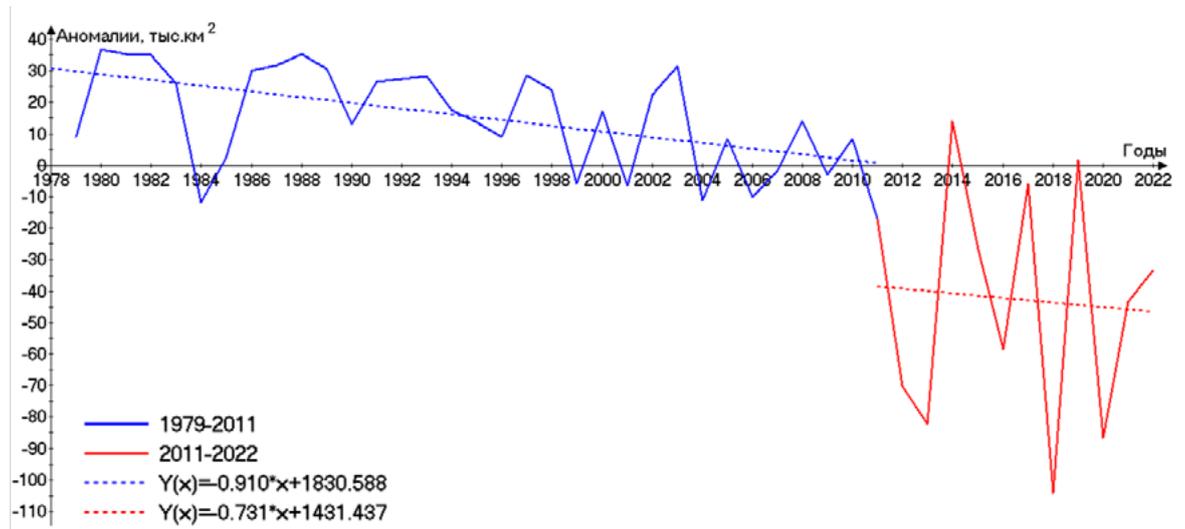


Рисунок 3. Аномалии ледовитости относительно среднего за период 1979-2022 гг. (1979-2011; 2011-2022 – периоды для оценки трендов на рисунке)

Были произведены расчеты интервалов времени (количества суток), в течение которых в зимний период (с октября по май) ледовитость района достигала максимума, т.е. покрытие акватории льдами любой сплоченности составляло 100%. Результаты представлены на рис. 4.

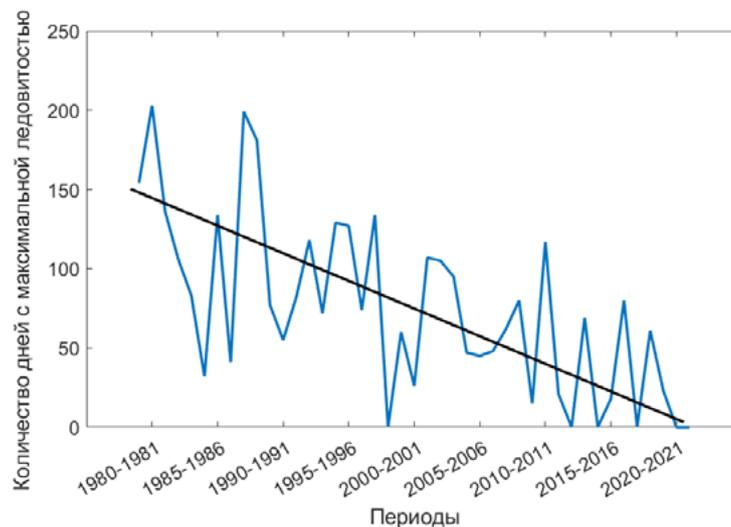


Рисунок 4. Количество дней с максимальной ледовитостью в зимний период года

В последние 10-15 лет часто показатель ледовитости даже в зимний период времени не достигает максимума (исходя из рис. 4), то есть не происходит полного заполнения льдом акватории. Тогда как ранее данная картина наблюдалась лишь 1 раз (зимой 1999-2000 гг.).

Оценки изменения сплоченности льда для исследуемых районов СЛО представлены на рис. 5. Отмечается тенденция устойчивого уменьшения сплоченности во всех районах, при этом наибольшая скорость уменьшения сплоченности наблюдается в районе №36 (сектор к северу от архипелага Земля Франца Иосифа).

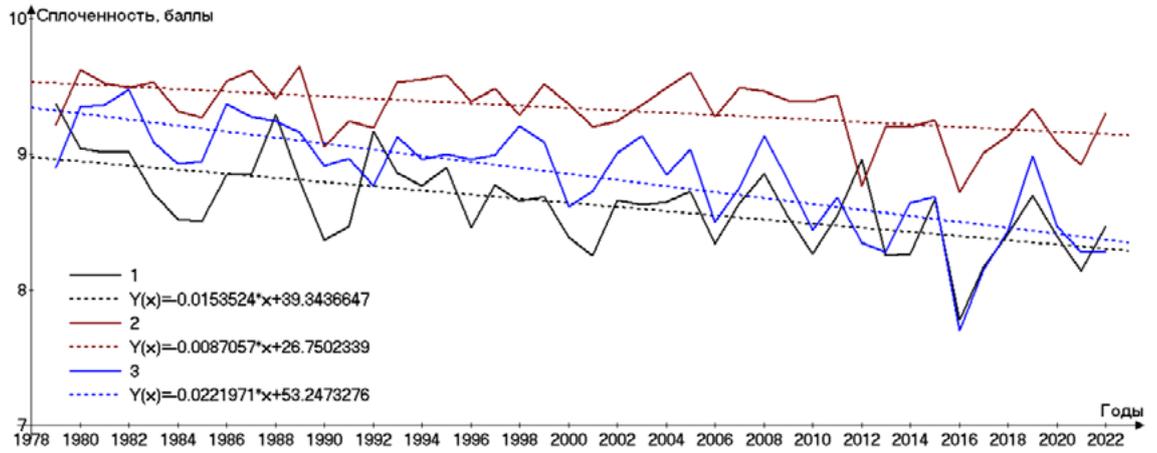
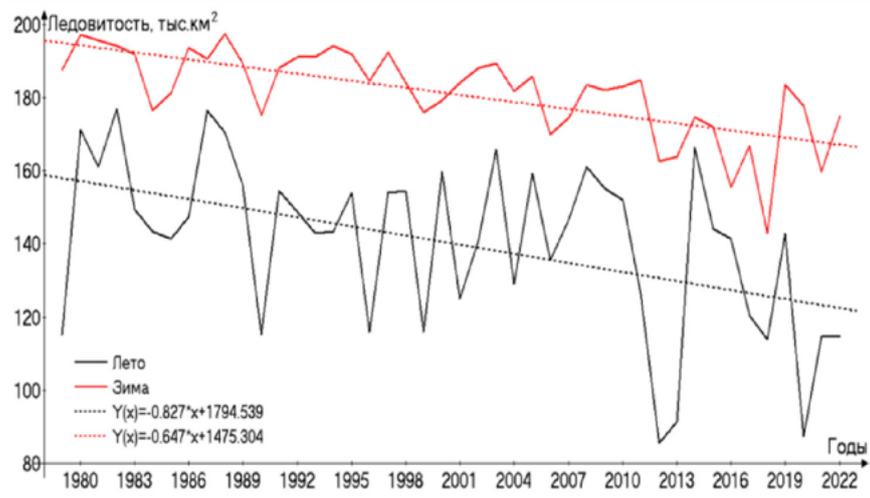
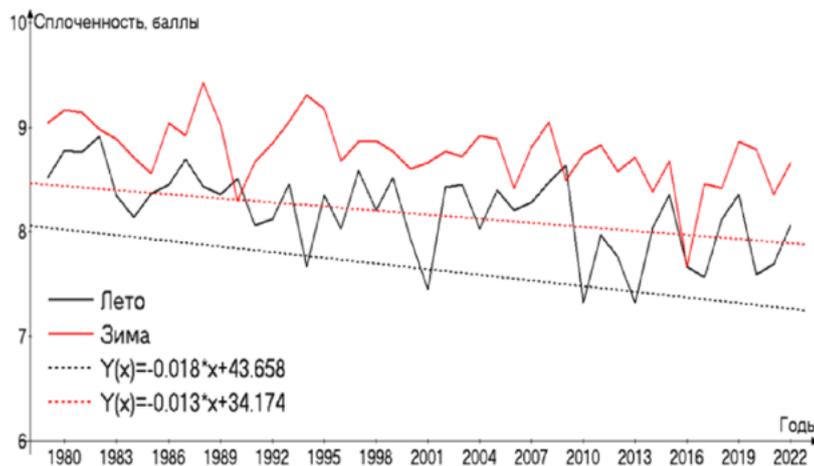


Рисунок 5. Изменения сплоченности ледяного покрова и оценки линейных трендов для каждого из районов соответственно
 1 – район №26, 2 – район №27, 3 – район №34

Сравнение характера изменения ледовитости и сплоченности за весь период наблюдений для отдельных сезонов года, которые были определены в соответствии с рекомендациями специалистов ААНИИ (зима октябрь-май, лето июнь-сентябрь), был выполнен на примере района № 26 (в данном районе наиболее четко прослеживаются отрицательные тренды) и представлены на рис. 6.



(а)



(б)

Рисунок 6. Значения ледовитости (а) и сплоченности (б) в зимний и летний период года.

В целом, и в летний, и в зимний периоды тенденции изменений обоих характеристик совпадают как по знаку, так и по скорости.

Увеличение пространств чистой воды в летний период года способствует повышенному поглощению солнечной энергии и, как следствие, более интенсивному таянию льда, как с боковой, так и нижней поверхности [5]. Результат – сокращение общего количества льда. Уменьшение сплоченности в зимний период способствует увеличению теплоотдачи в атмосферу за счет турбулентных потоков явного и скрытого тепла с пространств открытой воды [7]. Это, в свою очередь, обуславливает повышение температуры в приземном слое атмосферы, что, собственно, мы и наблюдаем в высоких широтах при анализе не только средних зимних температур воздуха, но и среднегодовых оценок [12]. В целом, выявленным нами особенностям ледовых условий соответствуют ситуации, которые ведущие отечественные климатологи [1] определяют, как «положительная» фаза Арктического колебания. Данная фаза наблюдается с начала 70-х годов прошлого столетия, хотя в последние десятилетия она и переходит в более нейтральное состояние.

Заключение

Выполненный анализ, результаты которого, безусловно, следует рассматривать как предварительные, позволяет сделать следующие выводы:

1. Выявлено общее уменьшение как ледовитости рассмотренной акватории, так и сплоченности (ледяного покрова), что косвенно указывает на увеличение пространств чистой воды и на соответствующее увеличение теплоотдачи в атмосферу, как минимум в зимний период года;

2. Весь исследуемый интервал времени (1979-2022 гг.) можно разделить на три периода, каждый из которых характеризуется своим собственным индивидуальным ледовым режимом:

- первый период - «устойчивый режим» (1979-2000 гг.), когда межгодовая изменчивость ледовитости была незначительна;
- второй период - «переходный режим» (2000-2005 гг.), когда происходит значительное уменьшение значений ледовитости во все сезоны года;
- третий период - «современный режим» (начиная, примерно, с 2006 г. и по настоящее время), когда наблюдается значительное увеличение межгодовой изменчивости ледовитости, а также не наблюдается полного покрытия льдом исследуемой акватории в зимний период.

Список литературы:

1. Климат Арктики: процессы и изменения / Под. ред. И.И. Мохова, В.А. Семенова. М.: Физматкнига, 2022. 360 с.
2. Международная символика для морских ледовых карт и номенклатура морских льдов / Аркт. и антаркт. НИИ. Под общ. ред. Б.А. Крутских. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 56 с.
3. Алексеев Г.В., Булатов Л.В., Захаров В.Ф., Иванов В.В. Тепловая экспансия атлантических вод в Арктическом бассейне / Метеорология и Гидрология. 1998. № 7. С. 69-78.
4. Алексеев Г.В. Формирование и динамика современного климата Арктики: монография / под ред. проф. Г.В. Алексеева. ААНИИ. СПб.: Гидрометеоиздат, 2004. 266 с.
5. Доронин Ю.П. Тепловое взаимодействие атмосферы и гидросферы в Арктике / Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 300 с.
6. Иванов В.В., Алексеев В.В., Алексеева Т.А., Колдунов Н.В., Репина И.А., Смирнов А.В. Арктический ледяной покров становится сезонным? // Исследования Земли из Космоса. 2013. №4. С. 50-65.
7. Макштас А.П. Тепловой баланс арктических льдов в зимний период / Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 66 с.
8. Миронов Е.У., Клячкин С.В., Смоляницкий В.М., Юлин А.В., Фролов С.В. Современное состояние и перспективы исследований ледяного покрова морей российской Арктики // Российская Арктика. 2020. №10. С. 13-29. DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12102
9. Фильчук К.В., Коробов В.Б., Юлин А.В., Шевелева Т.В. Влияние наблюдаемых изменений климатических условий на хозяйственную деятельность в морях Российской Арктики // Российская Арктика. 2022. № 17. С. 21-33. DOI: 10.24412/2658-4255-2022-2-21-33

10. Pörtner H.-O., Roberts D.C., Tignor M., Poloczanska E.S., Mintenbeck K. [et al.] Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, 2022. Cambridge University Press Publ.. Cambridge, UK and New York, NY, USA. 3056 pp. DOI: 10.1017/9781009325844
11. Isaksen K., Nordli Ø., Ivanov B., Køltzow M., Aaboe S. [et al.] Exceptional warming over the Barents area. *Nature. Scientific Report*. 2022. Vol. 12. P. 9371. DOI: 10.1038/s41598-022-13568-5
12. Ivanov B.V. Comparing the «earlier» and the «modern» warming in West Arctic on example of Svalbard // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Turbulence, Atmosphere and Climate Dynamics, 2019. Vol. 231. P. 012023. DOI: 10.1088/1755-1315/231/1/012023
13. Мировой центр данных по морскому льду Арктического и Антарктического Научно-Исследовательского Института (МЦД МЛ ААНИИ). URL: <http://wdc.aari.ru/datasets/ssmi/> (дата обращения: 24.06.2023).

References:

1. *The climate of the Arctic: processes and changes*. Edited by I.I. Mokhov, V.A. Semenova. Moscow, Fizmatkniga. 2022, 360 p. (In Russian).
2. International symbols for sea ice maps and nomenclature of sea ice. *Arkt. and Antarctica*. Research Institute. Under the general editorship of B.A. Krutskikh. L., Hydrometeoizdat Publ., 1984, 56 p. (In Russian).
3. Alekseev G.V., Bulatov L.V., Zakharov V.F., Ivanov V.V. Thermal expansion of Atlantic waters in the Arctic basin. *Meteorology and Hydrology*, 1998, no.7, pp.69-78. (In Russian).
4. Alekseev G.V. *Formation and dynamics of the modern climate of the Arctic: monograph*. In Alekseev G.V. (ed.), St. Petersburg, Hydrometeoizdat Publ., 2004, 266 p. (In Russian).
5. Doronin Yu.P. *Thermal interaction of the atmosphere and hydrosphere in the Arctic*. Leningrad, Hydrometeoizdat Publ., 1969, 300 p. (In Russian).
6. Ivanov V.V., Alekseev V.V., Alekseeva T.A., Koldunov N.V., Repina I.A., Smirnov A.V. Is the Arctic ice cover becoming seasonal?. *Earth Exploration from Space*. 2013, no. 4, pp. 50-65. (In Russian).
7. Makshtas A.P. *Thermal balance of Arctic ice in winter*. Leningrad, Hydrometeoizdat Publ., 1984, 66 p. (In Russian).
8. Mironov E.U., Klyachkin S.V., Smolyanitsky V.M., Yudin A.V., Frolov S.V. The current state and prospects of research on the ice cover of the seas of the Russian Arctic. *Russian Arctic*, 2020, no.10, pp. 13-29. (In Russian). DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12102
9. Filchuk K.V., Korobov V.B., Yudin A.V., Sheveleva T.V. Influence of observed changes in climatic conditions on economic activity in the seas of the Russian Arctic. *Russian Arctic*, 2022, no. 17, pp. 21-33. (In Russian). DOI: 10.24412/2658-4255-2022-2-21-33
10. Pörtner H.-O., Roberts D.C., Tignor M., Poloczanska E.S., Mintenbeck K. [et al.] Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, 2022. Cambridge University Press Publ.. Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp. DOI: 10.1017/9781009325844
11. Isaksen K., Nordli Ø., Ivanov B., Køltzow M., Aaboe S. [et al.] Exceptional warming over the Barents area. *Nature. Scientific Report*, 2022, vol. 12, p. 9371. DOI: 10.1038/s41598-022-13568-5
12. Ivanov B.V. Comparing the "earlier" and the "modern" warming in West Arctic on example of Svalbard. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Turbulence, Atmosphere and Climate Dynamics, 2019, vol. 231, p. 012023. DOI: 10.1088/1755-1315/231/1/012023
13. The World Sea Ice Data Center of the Arctic and Antarctic Research Institute (ICD ML AANI) (In Russian). Available at: <http://wdc.aari.ru/datasets/ssmi/> (date of access: 06/24/2023).

Научная статья

УДК 551.466.78

DOI: 10.24412/2658-4255-2024-1-33-47



EDN: QLKIMW

Для цитирования:

Войнов Г.Н., Лебедев Н.В., Морозова С.М. Приливы вдоль западного побережья Новой Земли // Российская Арктика. 2024. Т. 6. № 1. С. 33-47.

<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-1-33-47>

Получена: 01.02.2024

Принята: 16.02.2024

Опубликована: 29.03.2024

For citation:

Voinov G.N., Lebedev N.V., Morozova S.M. Tides along the western coast Novaya Zemlya. Russian Arctic, 2024, vol. 6, no. 1, pp. 33-47. (In Russian). <https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-1-33-47>

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Финансирование.

Исследование не имело спонсорской поддержки

ПРИЛИВЫ ВДОЛЬ ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ
НОВОЙ ЗЕМЛИГ.Н.Войнов*^{1,2}, Н.В.Лебедев², С.М.Морозова³

¹ Санкт-Петербургское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова», Санкт-Петербург, Россия

² Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

³ Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: *voinovgn@mail.ru

Аннотация

Приведены новые оценки гармонических постоянных прилива на летний период (август) и зимний период (апрель) по многолетним наблюдениям за уровнем моря, произведенные в пунктах: Русская Гавань, мыс Лагерный, Малые Кармакулы, губа Белушья, губа Черная. Дана характеристика сезонной изменчивости приливов в пунктах Русская Гавань, Малые Кармакулы, губа Белушья. Рассмотрены особенности распространения приливных волн приливов M_2 и K_1 вдоль западного побережья Новой Земли. Показано, что на акватории от Русской Гавани до губы Белушьей наблюдается стоячий вид приливной волны. Результаты наблюдений подтверждают наличие узловой зоны прилива в районе о-ва Междущарский.

Ключевые слова: волны M_2 , K_1 , гармонические постоянные, приливы, сезонный ход, Новая Земля

TIDES ALONG THE WESTERN COAST NOVAYA ZEMLYA

G.N. Voinov*^{1,2}, N.V. Lebedev², S.M. Morozova³

¹ St-P. branch of FSBI "N.N. Zubov state oceanographic institute", St. Petersburg, Russia

² Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

³ St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

E-mail: *voinovgn@mail.ru

Abstract

New estimates of harmonic constants of the tide for the summer (August) and winter (April) periods are proposed at the Russkaya Gavan, cape Lagerniy, cape Maliye Karmakuli, bay Belushya, bay Chernaya. The harmonic analysis of the tide was carried out using the least squares method according to the AARI version. Hourly level observations at the Russkaya Gavan post for the entire observation period from 1966 to 1991 brought to a homogeneous form using the calibration method. Comparison of the average seasonal course of the tide in the annual cycle based on the results of tide analysis shows significant differences.

Keywords: M_2 , K_1 tides, harmonic constants, seasonal variations tide, Novaya Zemlya

Введение

Исследование приливов морей Северного Ледовитого океана (СЛО) и в том числе на побережье Новой Земли являлось целью работ Великой северной экспедиции [1]. Первые инструментальные наблюдения за уровнем моря по футштоку в проливе Маточкин Шар были произведены Ф.П. Литке в 1823 г. [2]. Началом систематических регулярных наблюдений за уровнем моря на Новой Земле следует считать 1877 г. в связи с открытием полярной станции (п/ст.) Малые Кармакулы [3]. Однако измере-

ния уровня моря производились только 3 раза в сутки и не могли быть обработаны методами гармонического анализа, используемыми в то время.

Первое обобщающее исследование приливов СЛО и на Новой Земле представлено в классической работе А.М. Бухтеева [4]. В этом труде даны результаты обработки и гармонического анализа уровня с помощью метода Дарвина в губе Белушьей и губе Крестовой на Новой Земле.

Более длительные наблюдения за уровнем моря на Новой Земле стали проводиться в XX веке. В работах Гидрографической экспедиции Северного Ледовитого океана (ГЭСЛО) были получены наблюдения за уровнем в губе Черной (1921 г.), у м. Лагерный в проливе Маточкин Шар (1924 г.) и в проливе Карские Ворота. В работе В.Ю. Визе [5] приведены результаты обработки и гармонического анализа наблюдений за уровнем, выполненных в экспедиции Г.Я. Седова при зимовке в бухте Фоки в 1912-1913 гг.

Обобщение всех сведений о приливах на Новой Земле на начало XX в. дано в работе Вс.А. Березкина [6]. В этой работе выполнено сравнение характеристик прилива в 5 пунктах вдоль побережья Новой Земли от бухты Фоки до губы Черной. Был сделан вывод о движении приливной волны вдоль западного побережья Новой Земли с юга на север, что в целом не соответствует действительности. Также была предложена котидальная карта Баренцева моря, построенная по данным о прикладных часах, собранных по побережью Баренцева моря и Новой Земли. Конечно, эта карта не могла правильно отражать структуру приливной волны M_2 ввиду отсутствия наблюдений в открытом море.

В результате деятельности полярных станций и обширных экспедиционных исследований Баренцева моря к середине XX в. был собран большой массив материалов по уровню и течениям, которые послужили основой Справочника по гидрологическому режиму Баренцева моря и отдельных его районов [7]. В Справочнике опубликованы гармонические постоянные 8 основных суточных и полусуточных волн для 9 пунктов вдоль западного побережья Новой Земли. Для этих пунктов даны сведения о характере и величине приливов. Гармонический анализ прилива выполнялся по кратковременным сериям продолжительностью 30 или 15 суток с помощью метода Дарвина. Мелководные волны не помещены в таблицы. Однако не подлежит сомнению их влияние на точность расчета времен и высот полных и малых вод прилива и полное описание кривой приливных колебаний уровня. Заметим, что ни по одному пункту на Новой Земле не была установлена сезонная изменчивость прилива в годовом цикле.

Исследование приливных явлений Баренцева моря с середины XX в. проводилось с помощью гидродинамического моделирования. Но обзор работ по численным моделям не является задачей настоящей работы. Результаты отдельных таких работ будут привлекаться для интерпретации полученных нами новых результатов гармонического анализа наблюдений. Новые сведения о константах приливов необходимы для калибровки численных моделей.

Прошло почти столетие после публикации первого исследования приливов на Новой Земле [6]. В то время наблюдения за уровнем моря были получены на более доступном для экспедиционных работ западном побережье. Еще не было известно о существовании сезонной изменчивости гармонических постоянных прилива. Наблюдения выполнялись кратковременными сериями в 15 или 30 суток, необходимых для гармонического анализа прилива по методу Дарвина.

Собранные к началу XXI в. материалы наблюдений на п/ст. Русская Гавань и п/ст. Малые Кармакулы совместно с наблюдениями в губе Белушьей и губе Черной позволяют по-новому осветить наши знания о приливах, раскрыть особенности сезонной изменчивости гармонических постоянных прилива, ревизовать старые данные с помощью новой более гибкой и более точной методологии гармонического анализа.

Целью настоящей работы является изучение особенностей формирования и распространения приливной волны вдоль западного побережья Новой Земли на основе новых результатов гармонического анализа прилива в ряде пунктов. Также будет рассмотрен характер приливов и сезонная изменчивость констант основных волн прилива в пунктах: Русская Гавань, Лагерный, Малые Кармакулы, губа Белушья, Озерная.

Данные наблюдений и методы их анализа

В качестве основы для обработки и анализа наблюдений за уровнем моря использовалась база СПО ГОИН (многолетние ежечасные и срочные ряды для сети полярных станций). База ежечасных данных основывалась на выборке из базы данных ВНИИГМИ-МЦД.

База имела пропуски отдельных лет или месяцев и была частично дополнена за годы до 1977 г., а также восстановлена нами при наличии случайных программных пропусков по материалам, хранящимся в фондах ГОИН и ААНИИ с 1950-1960-х гг. по 1980 г. Временные ряды наблюдений в них не приведены к единому времени и одному нулю поста. Также отсутствует реальная оценка качества данных.

В 1954 г. и 1955 г. организация «Ленгипроарктика» при производстве изыскательных работ в Белушьей губе выполнила длительные ежечасные наблюдения за уровнем моря с помощью самописцев уровня моря (СУМ). Эта же организация в 1955 г. вела кратковременные ежечасные наблюдения за уровнем моря с установкой СУМ в губе Черной. По неизвестной нам причине эти материалы оказались не востребованными и не были обработаны гармоническим анализом.

На п/ст. мыс Лагерный (западный вход в пролив Маточкин Шар) и п/ст. бухта Озерная (пролив Карские Ворота, Новая Земля) в 30-е годы велись нерегулярные наблюдения за уровнем в разное время года. Обе станции функционировали несколько лет и были закрыты. Материалы этих наблюдений за уровнем моря и результаты гармонического анализа опубликованы в выпусках I, II, IV-VII трудов Арктического института [8-12]. Эти же результаты анализа продублированы в Справочнике [7].

На рис. 1 показано расположение пунктов наблюдений за уровнем моря, используемых в данной работе, а в табл. 1 даны сведения о временных рядах наблюдений для каждого пункта.

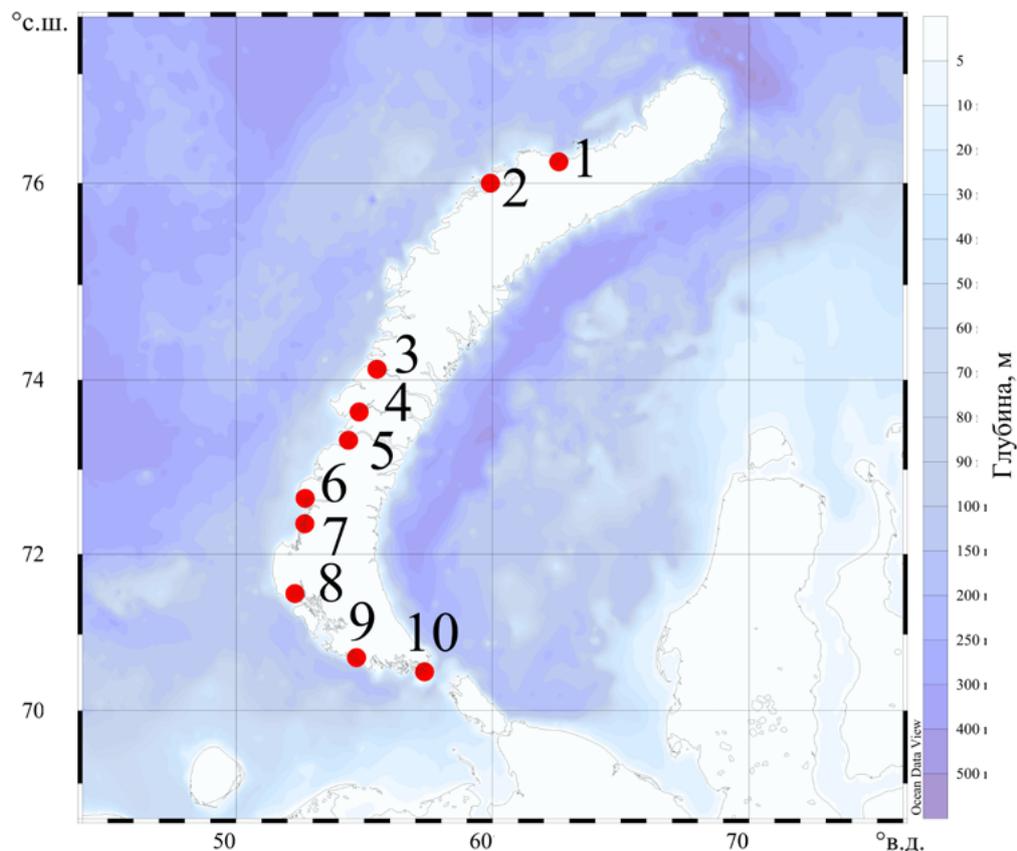


Рисунок 1. Пункты наблюдений за уровнем моря по западному побережью Новой Земли: 1 - п/ст. Русская Гавань, 2 - бухта Фоки, 3 - губа Крестовая, 4 - губа Митюшиха, 5 - п/ст. м. Лагерный, 6 - залив Пуховый, 7 - п/ст. Малые Кармакулы, 8 - губа Белушья, 9 - губа Черная, 10 - п/ст. Озерная

Таблица 1.
Сведения о временных рядах наблюдений за уровнем моря вдоль западного побережья Новой Земли

Пункт наблюдений	Географические координаты		Период анализа, годы	Источник
	Широта (с.ш.)	Долгота (в.д.)		
1. п/ст. Русская Гавань	76° 12'	62° 35'	1933 1966-1991	Справочник [7] Войнов Г.Н. (база СПО ГОИН)
2. Бухта Фоки	76° 00'	59° 55'	1912-1913	Визе В.Ю. [1]
3. Губа Крестовая	74° 07'	55° 30'	1910	Бухтеев А.М. [4]

Пункт наблюдений	Географические координаты		Период анализа, годы	Источник
	Широта (с.ш.)	Долгота (в.д.)		
4. Губа Митюшиха	73° 39'	54° 48'	1926	Справочник [7]
5. п/ст. Мыс Лагерный (пролив Маточкин Шар)	73° 20'	54° 23'	1924, 1935, 1936, 1937	Справочник [7]
6. Залив Пуховый	72° 40'	52° 42'	1926	Справочник [7]
7. п/ст. Малые Кармакулы	72° 22'	52° 41'	1939, 1940 1977-2012	Войнов Г.Н. (база СПО ГОИН)
8. Губа Белушья	71° 31'	52° 18'	1896 1954-1955	Бухтеев А.М. [4] Войнов Г.Н. (база СПО ГОИН)
9. Губа Черная	70° 42'	54° 42'	1921 1955	Березкин Вс.А. [6] Войнов Г.Н. (база СПО ГОИН)
10. п/ст. Озерная (пролив Карские Ворота, Новая Земля)	70° 31'	57° 21'	1936-1937	Справочник [7] Войнов Г.Н. (база СПО ГОИН)

В настоящее время в океанологии широко используется программа гармонического анализа прилива в MATLAB [13]. По существу, эта программа является модифицированной программой Форемана [14]. Однако в целом в этой и других программах гармонического анализа приливов не полностью учитывается сезонная изменчивость приливов, которая проявляется во многих районах Мирового океана, но наиболее сильно выражена в арктических морях на мелководье (в шельфовой зоне). Без учета этой изменчивости невозможно адекватно наблюдениям описать в годовом цикле морские приливы в прибрежных районах и на акваториях многочисленных заливов и проливов на трассе Северного морского пути.

В 90-е годы в АНИИ был разработан новый методический подход к обработке и анализу морских приливов [15]. В дальнейшем были опубликованы версии метода для анализа нерегулярных наблюдений, анализа аномальных мелководных приливов, анализа срочных наблюдений [16]. Расширенный гармонический анализ морских приливов производится по новой методике с включением волн, описывающих сезонную изменчивость основных и мелководных волн. Принципиальное отличие новой версии расширенного гармонического анализа морских приливов состоит в адекватном наблюдениям описании сезонной изменчивости приливных колебаний уровня моря для районов с сильно выраженным или аномальным ходом констант волн в годовом цикле. Это достигается за счет включения ряда новых сложных волн, модулирующих основные волны прилива M_2 , S_2 , N_2 , K_1 , O_1 в годовом цикле, а также, для районов аномальных мелководных приливов, и основных мелководных волн M_4 , MS_4 , MN_4 , M_6 , $2MS_6$, $2MN_6$. Список волн этой модели морских приливов достигает 225 составляющих (для реализаций с периодом 1 год и более) [17].

Однако во многих случаях использованной ранее методологии было недостаточно для полного восстановления сомнительных наблюдений. Ухудшение качества наблюдений за уровнем моря на полярных станциях начало происходить в середине 80-х годов и поначалу было связано с моральным старением измерительных устройств, но затем приобрело системный характер. В 90-е годы в связи с резким сокращением финансирования сети полярных станций ряд станций был закрыт, а на оставшихся произошло неизбежное в таких случаях резкое падение качества наблюдений. В них нередки случаи необъяснимо резких сдвигов нуля поста, что свидетельствует об ошибках нивелировок или их отсутствии.

Выявился дополнительный симптом низкой квалификации наблюдателей: пренебрежение учета истинного времени измерений при развязке мареограмм. *Поправки времени зачастую вообще перестали вводить при обработке лент мареографа.* Это выявляется по результатам скользящего гармонического анализа по месяцам в виде аномального ухода фазы волны M_2 . Поэтому был разработан способ калибровки приливов [18].

При производстве срочных измерений их действительное время может отличаться от нормы в пределах 30–40 мин до или после целого часа. В основу способа калибровки (для ежечасных рядов) и способа ревизии срочных измерений [16] положен феномен устойчивости во времени сезонного хода амплитуд и фаз волны M_2 в годовом цикле, а также и других волн прилива в конкретном пункте моря. Поэтому средние месячные оценки констант волны M_2 с их разбросом (средним квадратичным отклонением) служат эталоном для контроля качества данных. Ниже дадим краткое изложение приемов гармонического анализа на полярных станциях и временных пунктах наблюдений (табл. 1).

Гармонический анализ прилива на п/ст. Русская Гавань. На первом этапе были получены гармонические постоянные по всем годовым и месячным сериям за период 1966-1991 гг. В результате были выявлены аномальные сомнительные оценки в ряде месячных серий, подлежащие приведению к условиям однородности с помощью способа калибровки. В целом в 11 годовых сериях в разные месяцы года была произведена фазовая калибровка с помощью прямого и обратного преобразования Фурье. В 4 годовых сериях была выполнена амплитудная калибровка. В окончательном виде по 22 годовым сериям (в 4 сериях пропуски превышали 75%) получены оценки средних годовых констант волн и средние месячные (векторные) константы. То есть можно производить предвычисление прилива по двум вариантам: по модели прилива на основе полного анализа за весь период наблюдений и модели прилива на основе средних месячных констант. В первом варианте используются 83 волны в диапазоне от долгопериодного класса по 1/8-суточный класс, а во втором варианте 32 волны (но возможно подключение долгопериодных волн). Оба варианта дают близкие результаты кривой прилива, но первый вариант предпочтительнее для получения остаточного ряда непериодических колебаний уровня в научных целях.

Гармонический анализ прилива на п/ст. Малые Кармакулы. Как уже отмечалось выше, наблюдения на этой станции сначала выполнялись 3 раза в сутки и были почти не пригодны к гармоническому анализу. В нашем распоряжении имелся временной ряд за 1977-2012 гг., где дискретность измерений составляла 6 часов. Привлекались также кратковременные ежечасные серии в 1939 и в 1940 гг. Эти серии оказались очень полезными для привязки по времени срочных измерений и корректировки сезонного хода основных волн, так как наблюдения были выполнены в летнее и зимнее время. Для контроля срочных измерений необходимо сначала создать модель прилива с включением волн, не выделяемых вследствие наложения частот, а также мелководных волн с периодом 6 час и менее вследствие проблемы частоты Найквиста [16]. Поэтому гармонический анализ производился с двумя приближениями.

В начале из анализа были исключены годы с низким качеством наблюдений: 1977, 1981-1982, 1989-1994, 2009-2012. В наблюдениях отсутствовали измерения в двух годовых сериях. В остальных общее количество пропусков составило около 6%. Пропуски заменялись на предвычисленные значения. Затем проводился контроль по месячным сериям каждого года с отдельным критерием в летний и зимний периоды. В целом количество сомнительных значений, подлежащих замене на предвычисленные, составило 23% всего ряда. Здесь, также как и на п/ст. Русская Гавань, были сформированы две модели констант прилива: на основе средних за весь период наблюдений и средние месячные константы на весь годовой цикл.

Гармонический анализ прилива в пункте губа Белушья. Продолжительность ежечасных наблюдений составила 518 суток (с 1 августа 1954 г. по 31 декабря 1955 г.). Наблюдения имели высокое качество. Пропуски составили несколько часов. По расширенной версии гармонического анализа было выделено 79 волн, превышающих 95% доверительный интервал.

По этому набору волн был дополнен 1954 г. и из двух годовых серий определен сезонный ход основных волн прилива.

Гармонический анализ прилива в пункте губа Черная. Здесь была выполнена ежечасная серия с 12 мая по 13 августа 1955 г. (94 суток). Имелся небольшой пропуск в конце июня. Гармонический анализ проводился по стандартной версии. Было выделено 39 волн, превышающих 95% доверительный интервал. Вследствие кратковременности периода невозможно получение волн, описывающих сезонный ход прилива. Но можно определить тенденцию сезонного хода по результатам анализа 4 месячных серий.

Гармонический анализ прилива на п/ст. Лагерный и п/ст. Озерная был проведен по кратковременным ежечасным сериям наблюдений за уровнем моря по совокупности всех измерений в конкретном пункте по способу, изложенному в [19]. Этот способ позволяет получить более широкий список волн в сравнении с отдельным анализом кратковременной серии. В случае наличия наблюдений за разные годы в различные сезоны года можно выделить волны, описывающие сезонный ход прилива. Надежность выделения таких волн проверяется по мере обусловленности матрицы при решении системы нормальных уравнений.

На п/ст. Лагерный гармонический анализ проводился по сериям за 1924, 1936 (3 серии) и 1937 годы. Всего включено в совместный анализ 5 серий. На п/ст. Озерная совокупность наблюдений для гармонического анализа состояла из 4 серий: 1936, 1937 (2 серии), 1938 годы. Гармонические постоянные из совокупных анализов позволяют провести реконструкцию кратковременных серий до отдельных полных месячных серий. В конечном итоге был реконструирован сезонный ход основных волн прилива на п/ст. Лагерный и п/ст. Озерная.

Результаты анализа и их интерпретация

Наблюдения за уровнем моря по футштоку в проливе Маточкин Шар, произведенные Ф.П. Литке в 1823 г., кроме определения по ним прикладного часа более не использовались. В работе [2] не указано место установки футштока и нет описания условий наблюдений, не ясно время, по которому велись наблюдения. В створе места стоянки судна находился мыс Лагерный, поэтому с большой вероятностью можно предположить, что наблюдения по футштоку производились именно там. Выполнить гармонический анализ Адмиралтейским способом по суточной серии невозможно из-за больших пропусков (42%). Но можно оценить по этим наблюдениям устойчивость гармонических постоянных во времени. С этой целью по новым гармоническим постоянным для м. Лагерный был предвычислен ряд уровня за период с 9 по 11 августа 1823 г.

Результаты сравнения двух рядов прилива: исторического и предвычисленного по современным константам прилива дан на рис. 2.

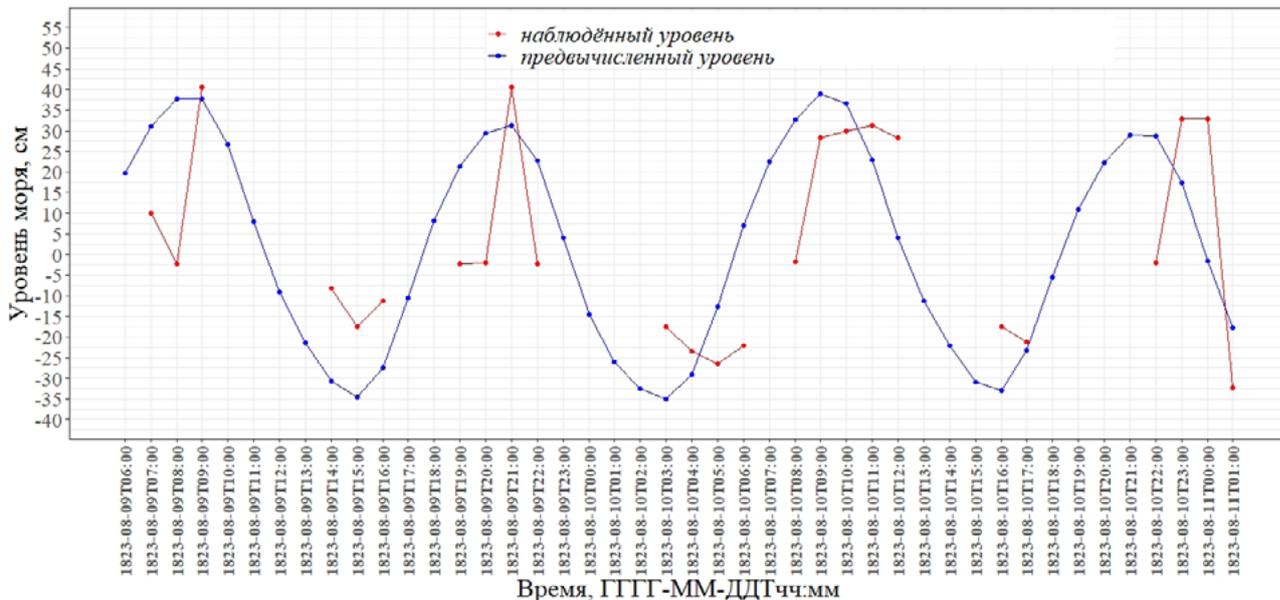


Рисунок 2. Наблюдения за уровнем в проливе Маточкин Шар за период с 09 августа 07:00 по 11 августа 01:00, 1823 год

Из рис. 2 видно, что в первые сутки (09 августа) соответствие кривых наблюдений и предвычислений удовлетворительное, но на вторые сутки наблюдений виден сдвиг на 1 час в моментах малых и полных вод, который стал еще большим на третьи сутки. Остается неясной причина такого расхождения в конце суток наблюдений, которое может объясняться как сбой (ошибка) при прекращении наблюдений вследствие ухудшения погодных условий.

Выше нами отмечался серьезный недостаток в опубликованных результатах анализа приливов как в Справочнике [7], так и в Материалах [8-13]: отсутствие констант мелководных волн M_4 , MS_4 , M_6 . Для наглядности был предвычислен ряд на август 2019 г. в губе Белушьей с двумя наборами волн: 32 волны (выделяются по месячной серии) и 19 волн (без всех мелководных волн). Дискретность расчета задавалась в 6 минут.

На рис. 3а показаны кривые прилива в губе Белушьей в летний период при задании для предвычисления всех 32 волн, выделяемых из месячных серий, и только для 19 волн без мелководных составляющих. На рис. 3б и 3в показаны расхождения в моментах и временах полных (ПВ) и малых (МВ) вод в течение месяца между двумя кривыми.

Статистические оценки, полученные по временным рядам разностей ПВ и МВ между полным и ограниченным расчетами прилива, дают следующее. Среднее квадратичное отклонение (с.к.о.) разностей высот составляет за месяц $\pm 1,39$ см. Максимум разностей ПВ достигает +4,0 см, а минимум равен -3,0 см. С.к.о. разностей времен ПВ и МВ за месяц равно ± 37 мин. При этом максимум достиг +2,0 ч, а минимум — -1,9 ч. Как видно из этих оценок, расхождения настолько большие, что расчет прилива без мелководных волн дает плохие результаты не адекватные наблюдениям.

На первый взгляд кажется неожиданным такое сильное проявление эффекта мелководных волн. Но согласно классической работе [20] есть простое объяснение этому эффекту, который возникает как проявление действия редуцирующих множителей мелководных волн на их амплитуду, рассчитываемых как квадраты (при периоде 4 ч), кубы (при периоде 6 ч) и т.д. по редуцированному множителю волны M_2 .

По методике, описанной выше, с помощью гармонического анализа получены оценки средних гармонических постоянных. В таблице 2 дана выборка 11 наиболее значимых составляющих на летний период (август) и зимний период (апрель).

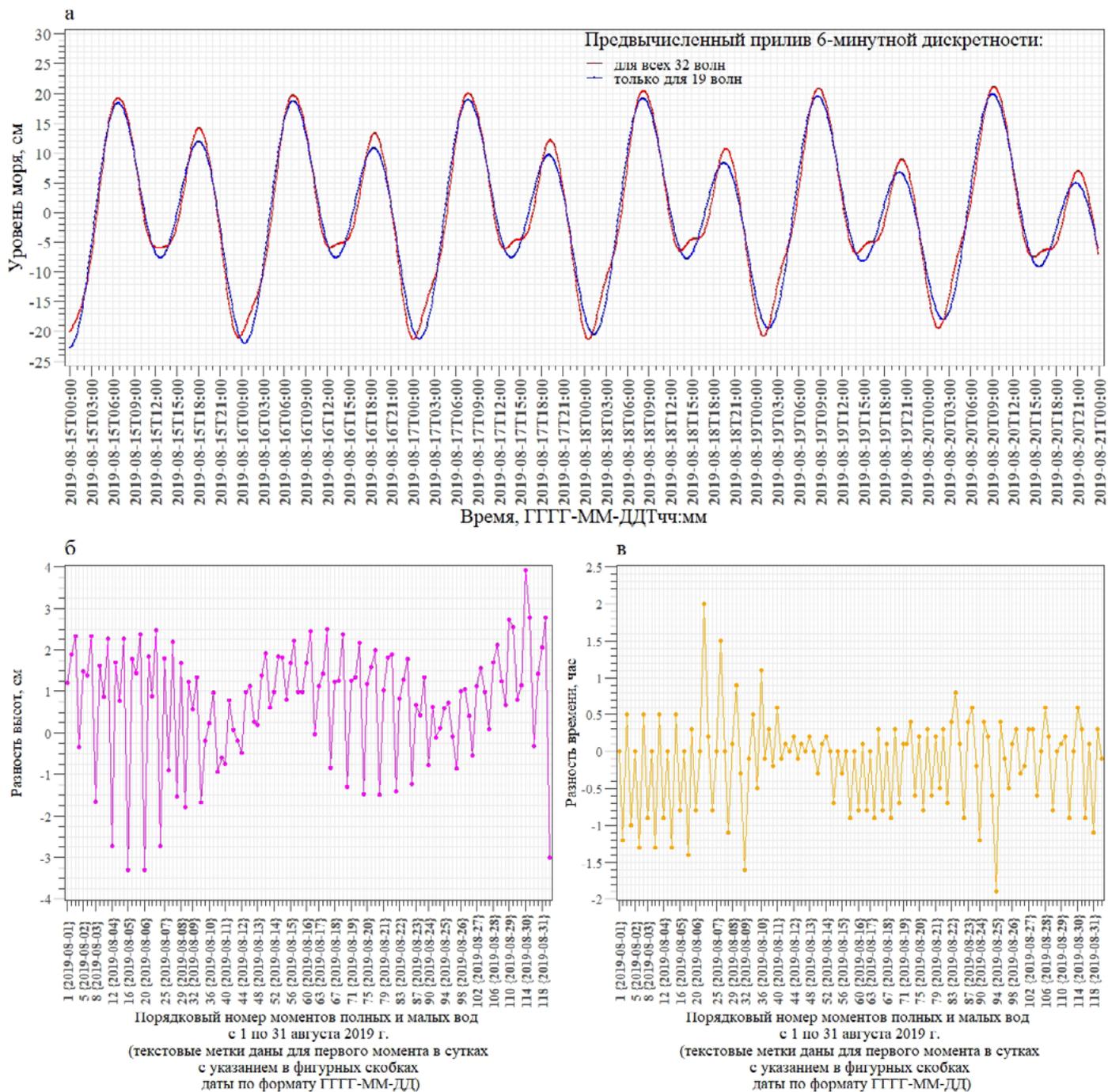


Рисунок 3. Кривые предвычисленного прилива с дискретностью 6 минут по набору для 32 волн и 19 волн (без мелководных приливов) для августа 2019 г. в губе Белушьей в сизигию (а). Кривые разностей высот (б) и времен (в) полных и малых вод двух временных рядов в августе 2019 г.

Таблица 2. Гармонические постоянные прилива по многолетним наблюдениям в пунктах: Русская Гавань, Лагерный, Малые Кармакулы, Белушья, Черная, Озерная для летнего периода (август) и зимнего периода (апрель). Характеристики: H – амплитуда, см; g – угол положения, град.

Характеристика	Волны										
	Q_1	O_1	P_1	K_1	N_2	M_2	S_2	K_2	M_4	MS_4	M_6
п/ст. Русская Гавань (август)											
H	1,0	2,4	0,6	1,8	2,6	15,0	6,8	1,9	0,6	0,4	0,2
g	165	207	79	79	137	158	205	205	229	273	100
п/ст. Русская Гавань (апрель)											
H	0,8	2,6	0,6	2,0	2,8	15,4	6,3	1,7	0,5	0,4	0,3
g	145	207	107	107	131	165	212	212	219	249	102

Характеристика	Волны										
	Q_1	O_1	P_1	K_1	N_2	M_2	S_2	K_2	M_4	MS_4	M_6
Мыс Лагерный (август)											
H	0,8	1,2	1,6	4,8	4,1	23,4	7,0	1,9	0,9	0,4	0,9
g	108	143	6	6	127	180	228	228	28	62	261
Мыс Лагерный (апрель)											
H	0,4	0,6	1,7	5,1	5,4	20,2	6,4	1,7	0,8	0,3	0,6
g	64	127	29	29	133	178	225	225	39	116	282
п/ст. Малые Кармакулы (август)											
H	0,8	1,6	1,9	5,8	5,0	27,1	8,5	2,3	1,2	0,7	0,7
g	107	143	6	6	128	161	208	208	357	55	323
п/ст. Малые Кармакулы (апрель)											
H	1,0	0,5	2,0	6,2	5,0	25,0	8,1	2,2	1,1	0,3	0,6
g	74	132	9	9	131	155	210	210	359	85	356
губа Белушья (август)											
H	0,5	0,9	2,9	8,9	1,6	11,8	4,4	1,2	1,9	1,4	0,5
g	56	39	8	8	124	176	198	198	1	96	16
губа Белушья (апрель)											
H	0,6	0,8	2,7	8,2	2,2	11,0	3,5	1,0	1,6	1,1	0,6
g	75	66	9	9	155	177	203	203	354	63	22
Губа Черная (август)											
H	0,2	1,3	3,3	9,8	1,5	9,8	4,8	1,3	1,1	0,7	0,9
g	9	309	12	12	345	330	90	90	78	130	36
Губа Черная (май)											
H	0,5	0,8	2,8	8,4	1,5	7,5	2,8	0,8	1,1	0,5	0,7
g	135	313	10	10	310	330	96	96	80	129	47
п/ст. Озерная (август)											
H	0,3	4,2	0,4	1,3	3,0	20,5	8,4	2,3	0,3	0,4	0,4
g	270	337	11	11	325	349	57	57	133	68	63
п/ст. Озерная (апрель)											
H	0,3	3,3	0,5	1,6	3,0	19,5	7,8	2,1	0,1	0,4	0,4
g	156	335	357	357	334	353	58	58	292	18	74

Примечание. Волны P_1 , K_2 , N_2 даны во втором приближении по известным теоретическим соотношениям. Углы положений приведены к нулевому часовому поясу.

По данным табл. 2 рассчитаны характеристики негармонических постоянных прилива, которые необходимы для описания его особенностей. В табл. 3 приведены значения характера прилива, величин отношения амплитуд волн S_2/M_2 и волн M_4/M_2 , величины сизигийного прилива для лета (август) и зимы (апрель) в пунктах с результатами анализа за летний и зимний периоды.

Таблица 3.
Значения характера прилива по Куртье, величин отношения амплитуд волн S_2/M_2 и волн M_4/M_2 , величины сизигийного прилива для лета (август) и зимы (апрель) в пунктах Новой Земли

Пункт	$(H_{K1}+H_{O1})/(H_{M2}+H_{S2})^*$		H_{S2}/H_{M2}		H_{M4}/H_{M2}		Sg	
	август	апрель	август	апрель	август	апрель	август	апрель
Русская Гавань	0,193	0,212	0,453	0,409	0,040	0,026	43,8	43,6
Лагерный	0,197	0,214	0,299	0,317	0,038	0,039	61,1	53,9
Малые Кармакулы	0,208	0,202	0,314	0,324	0,044	0,044	71,6	66,7
Белушья	0,605	0,621	0,373	0,318	0,161	0,145	33,2	29,9
Черная	0,760	0,893	0,489	0,373	0,112	0,146	30,3	21,8
Озерная	0,190	0,179	0,410	0,400	0,015	(0,005)	57,9	54,7

Примечание. * — при значении отношения $>0,25$ и $<1,50$ прилив смешанный, в основном полусуточный. Sg — величина сизигийного прилива рассчитана по Гаррису [21]. В круглых скобках отмечены сомнительные значения.

Согласно данным в табл. 3 прилив в летний и зимний периоды вдоль западного побережья Новой Земли в целом носит правильный полусуточный характер. Лишь на акватории между губой Белушьей и губой Черной в районе у о-ва Междушарский, где образуется узловая зона прилива M_2 , прилив носит смешанный в основном полусуточный характер. В качестве критерия характера (формы) прилива использован критерий Куртье, так как критерий Дуванина в силу неполноты (нет волны S_2) для наших данных даёт в ряде случаев неверные определения формы прилива.

Во временном ходе приливных колебаний уровня наиболее выражено фазовое неравенство приливов. Величина отношения амплитуд волн H_{S_2}/H_{M_2} , отвечающая за ход фазового неравенства прилива (цикл сизигия–квадратура), существенно не меняется между летним и зимним периодами. На северной части побережья фазовое неравенство наиболее сильно выражено и величина отношения наибольшая и колеблется от 0,41 до 0,45. В средней части побережья от губы Крестовой до п/ст. Малые Кармакулы величина отношения снижается до 0,31-0,32. Затем в южной части побережья величина отношения H_{S_2}/H_{M_2} повышается.

Возраст полусуточного прилива составляет около 2 суток. Аномальное значение возраста наблюдается в губе Черной и равно 5 суткам.

Величина отношения амплитуд суточных волн H_{O_1}/H_{K_1} , характеризующая тропическое неравенство приливов, изменяется в широких пределах. На большей части побережья величина отношения не превышает 0,09-0,28. Резкое увеличение отношения происходит на северной оконечности Новой Земли в Русской Гавани — 1,33 и в проливе Карские Ворота — 3,23. Такие значительные изменения объясняются с одной стороны ростом амплитуды прилива O_1 , а с другой стороны — уменьшением амплитуды прилива K_1 . В губе Черной понятие тропического неравенства теряет смысл — здесь величина суточного прилива практически одинакова во всем цикле этого неравенства, так как амплитуда волны O_1 мала.

Возраст суточного прилива в среднем достигает -2 суток. Поэтому влияние тропических приливов на кривую приливов достигает максимума за 2 суток до моментов максимальных склонений Луны. Но в итоге при полусуточном характере прилива в ходе приливных колебаний уровня возникает лишь небольшое суточное неравенство в последовательных полных и малых водах. Однако в губе Белушьей и губе Черной, где прилив приобретает смешанный характер, кривая прилива при тропических приливах имеет почти суточный вид: вторая полная вода становится малозаметной.

Параллактическое неравенство, связанное с моментами прохождения Луны через перигей или апогей, почти не выражено, так как амплитуда волны N_2 по величине везде гораздо меньше амплитуды волны S_2 .

Наконец, величина отношения мелководных волн H_{M_4}/H_{M_2} демонстрирует поведение кривой прилива и отвечает за продолжительность времени падения и времени роста прилива. Из данных табл. 2 следует, что мелководные волны между летним и зимним периодами меняются мало, а их величина для основных волн M_4 и MS_4 достигает около 2 см. Мелководный прилив с периодом 4 ч не играет заметной роли в описании кривой прилива, так как по величине волна M_6 даже в летний период не превышает 0,9 см.

Величина сизигийного прилива Sg возрастает в августе с севера на юг от 44 см в Русской Гавани до 72 см на п/ст. Малые Кармакулы. В узловой зоне в губе Черной наблюдается уменьшение величины прилива до 30 см. Далее к южной оконечности Новой Земли она увеличивается и в проливе Карские Ворота на п/ст. Озерная составляет 58 см. Величина квадратурного прилива в среднем в 2,14 раза меньше величины сизигийного прилива. Как правило в апреле наблюдается уменьшение величин прилива (особенности сезонного хода волн в годовом цикле будут рассмотрены ниже).

Наглядное представление об изменении амплитуд и фаз приливов M_2 и K_1 вдоль западного побережья Новой Земли видно по рис. 4 и рис. 5.

Полная картина изменений амплитуд и фаз приливов M_2 и K_1 необходима для оценки особенностей распространения приливных волн вдоль Новой Земли. Это позволяет установить соответствие численных моделей реальным наблюдениям. Для построения кривых на рис. 4 и рис. 5 использованы как новые результаты анализа (табл. 2), так и данные из работ [4-7] для пунктов: бухта Фоки, губа Крестовая, губа Митюшиха и залив Пуховый.

Из рассмотрения хода кривых амплитуд и фаз (углов положений) волны M_2 в летний и зимний периоды, которые практически параллельны между собой, следуют два главных вывода. Во-первых, приливная волна прилива M_2 не имеет существенных различий в распространении вдоль Новой Земли между летним и зимним периодами. Во-вторых, имеется только одна узловая зона этого прилива, расположенная вблизи губы Черной, и не меняющего местоположения между летним и зимним периодами.

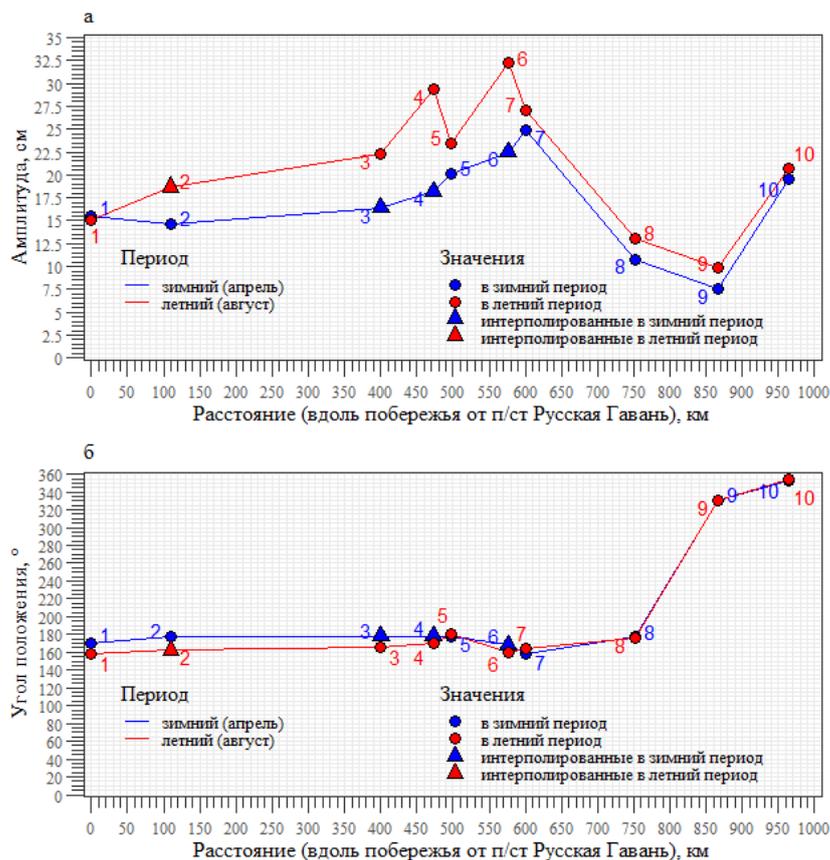


Рисунок 4. Изменение амплитуды (а) и угла положения (б) волны M_2 в летний период (август) и в зимний период (апрель) по западному побережью Новой Земли: 1 - п/ст. Русская Гавань, 2 - бухта Фоки, 3 - губа Крестовая, 4 - губа Митюшиха, 5 - п/ст. м. Лагерный, 6 - залив Пуховый, 7 - п/ст. Малые Кармакулы, 8 - губа Белушья, 9 - губа Черная, 10 - п/ст. Озерная

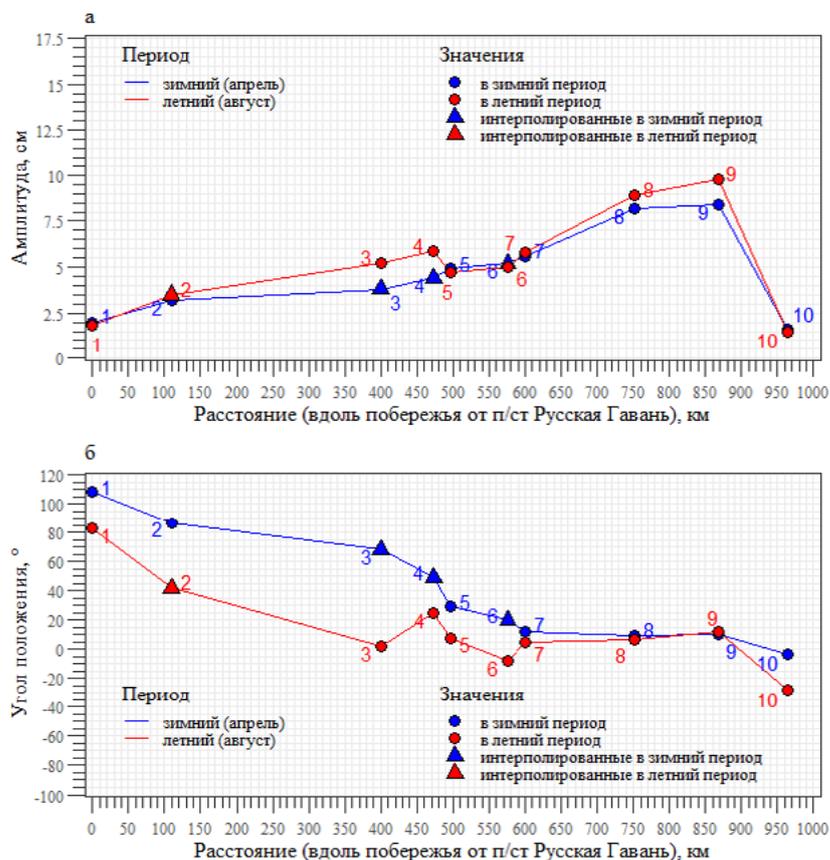


Рисунок 5. Изменение амплитуды (а) и угла положения (б) волны K_1 в летний период (август) и в зимний период (апрель) по западному побережью Новой Земли: 1 - п/ст. Русская Гавань, 2 - бухта Фоки, 3 - губа Крестовая, 4 - губа Митюшиха, 5 - п/ст. м. Лагерный, 6 - залив Пуховый, 7 - п/ст. Малые Кармакулы, 8 - губа Белушья, 9 - губа Черная, 10 - п/ст. Озерная

Интересным является феномен практической синхронности во времени приливных колебаний уровня вдоль западного побережья Новой Земли от Русской Гавани до губы Белушьей (рис. 4б). Это подтверждается тестовыми предвычислениями приливов и следует из данных табл. 2, в которой видно, что углы положений полусуточных волн M_2 , S_2 , N_2 близки между собой.

Приливная волна суточного прилива K_1 имеет другие особенности. Общая тенденция хода кривых амплитуд и фаз (углов положений) волны K_1 сохраняется между летним и зимним периодами. Приливная волна имеет поступательный вид движения и, несмотря на малые величины прилива в п/ст. Русская Гавань и п/ст. Озерная (рис. 5а), узловые зоны здесь не образуются, так как нет резкого изменения фаз. Величина амплитуды прилива K_1 последовательно возрастает с севера на юг вдоль Новой Земли и достигает максимума в 9,8 см в губе Черной, но затем резко уменьшается к проливу Карские Ворота.

По сложившимся представлениям приливы в Баренцевом море формируются атлантической приливной волной, приходящей из Гренландского и Норвежского морей [22]. На северные окраины моря влияет приливная волна из Полярного бассейна. Интерференция этих волн образует возникновение узловой зоны в южной части Новой Земли, но наблюдения не подтверждают формирование здесь полной амфидромии, каковая присутствует в некоторых результатах численного моделирования. Также видно, что между летним и зимним периодами не происходит видимых изменений структуры приливной волны.

Приливная волна прилива K_1 образует вблизи севера Новой Земли (к северо-западу от м. Желания) амфидромию с циклоническим вращением изофаз [15]. Это не противоречит данным наблюдений, поскольку у побережья полная узловая зона не образуется вследствие удаленности амфидромии от берега. Есть косвенные признаки узловой зоны: последовательное уменьшение амплитуды прилива K_1 и увеличение фазы с юга на север между губой Крестовой и бухтой Фоки (см. рис. 5 и табл. 2).

Сезонные вариации прилива M_2 в годовом цикле. Проблема сезонной изменчивости основных волн прилива в арктических морях и ее причины является ключевой в океанологии в последнее десятилетие. Для ее изучения были использованы многолетние ежечасные наблюдения за уровнем на п/ст. Русская Гавань, ежечасные наблюдения за два года в губе Белушьей и многолетние срочные измерения на п/ст. Малые Кармакулы (см. табл. 1). Кроме того был получен сезонный ход волны M_2 с помощью способа реконструкции на п/ст. мыс Лагерный и п/ст. бухта Озерная, но эти оценки предварительные.

Первый вывод, который следует из анализа вариаций прилива M_2 в годовом цикле на рис. 6, это полная индивидуальность сезонного хода как амплитуд, так и фаз на каждой станции. Второй вывод - это отсутствие проявления классического вида сезонного хода волны M_2 в годовом цикле с максимумом амплитуды в летний период и максимумом фазы в зимний период [24]. На п/ст. Русская Гавань в сезонном ходе фазы в годовом цикле максимум наблюдается в апреле и равен 5,6 град от нормы (рис. 6б), а минимум - в сентябре (-6,7 град от нормы). Однако амплитуда имеет максимум в апреле до 3,1% от нормы (рис. 6а), при этом второй менее выраженный максимум виден в сентябре.

Ранее в работе [23] была предпринята попытка определения особенностей изменчивости гармонических постоянных прилива волны M_2 на п/ст. Русская Гавань. В амплитуде ее не удалось обнаружить и был сделан вывод о случайном характере ее изменения. Причина такого вывода состояла в ограниченности использованных наблюдений. К гармоническому анализу была привлечена только одна полная годовая серия за 1958 г., а вторая серия за 1959 г. содержала 7 месяцев. Все же работа [23] имела полезные методические рекомендации. В ней впервые было показана ошибочность привлечения результатов обработки по методу Дарвина полумесячных серий как содержащих систематические ошибки в константах волн прилива.

На п/ст. Малые Кармакулы сезонный ход амплитуды волны M_2 в годовом цикле достигает максимума в августе и равен 6,0% от нормы (среднегодовой величины). Кривая изменчивости фазы носит аномальный вид и имеет максимум в июле +4,7 град от нормы.

Наконец, в губе Белушья сезонный ход волны M_2 имеет свои особенности. Амплитуда достигает максимума в июле и равна +13,7% от нормы, что является наибольшей величиной на рассмотренных станциях. Сезонный ход фазы имеет менее выраженный характер с минимумом в сентябре и максимумом в феврале.

На п/ст. м. Лагерный сезонный ход прилива в годовом цикле близок к таковому ходу на п/ст. Малые Кармакулы. Здесь амплитуда изменяется по классическому типу с максимумом в сентябре до 7,0% от нормы, а развитие фазы идет по аномальному виду с небольшим ростом в сентябре. Единственной станцией с классическим типом изменения и амплитуды, и фазы (максимум амплитуды и минимум фазы в августе)

является п/ст. Озерная в проливе Карские Ворота.

Согласно классификации типов сезонного хода в годовом цикле волны M_2 , предложенной в работе [24], в целом преобладает второй аномальный тип сезонной изменчивости. Он наблюдается в Русской Гавани и губе Белушьей. В Малых Кармакулах и Лагерном выявлен новый тип изменения сезонного хода прилива волны M_2 .

В отношении сезонного хода полусуточных волн S_2 и N_2 можем отметить в основном общие черты с сезонными изменениями прилива M_2 . Здесь не принимаются во внимание п/ст. Лагерный и п/ст. Озерная, где результаты сезонного хода по волнам S_2 и N_2 недостаточно достоверны.

Причины сезонной изменчивости гармонических постоянных полусуточных и суточных волн прилива в настоящей работе не рассматриваются. Обзор сведений по этой проблеме есть в работах [15, 24, 25]. В самых общих чертах заметим, что в отечественной океанологии в XIX и XX столетиях сложился стереотип об определяющем влиянии сезонных изменений дрейфующего льда на константы прилива. В начале XXI века появились работы, где сезонные вариации волны прилива M_2 объяснялись иными факторами, чем ледяной покров. Сезонная стратификация водных масс имеет существенное влияние на приливы, включая изменение степени трения сдвига, вариации диссипации трения и вариаций потока баротропной энергии.

Отметим, что в последнее время произошел качественный поворот в численном моделировании и самые продвинутые из них учитывают сезонную изменчивость приливов в СЛО [26].

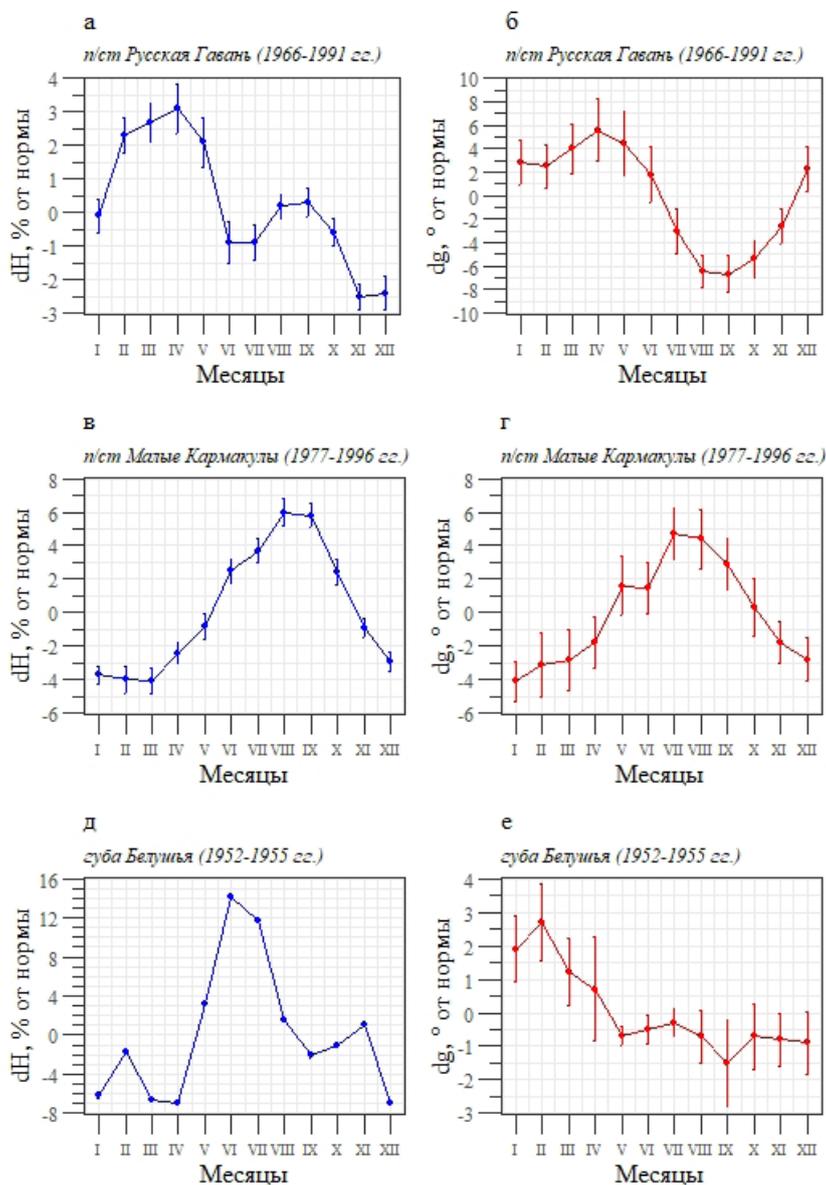


Рисунок 6. Сезонный ход относительных амплитуд dH (слева) и разности фаз dg (справа) волны M_2 вдоль западного побережья Новой Земли: Русская Гавань (а) и (б), Малые Кармакулы (в) и (г), губа Белушья (д) и (е). Вертикальные линии показывают значения средних квадратических отклонений

Выводы

В настоящей работе приведены гармонические постоянные для летнего (август) и зимнего (апрель) периодов для 6 пунктов: п/ст. Русская Гавань, п/ст. Лагерный, п/ст. Малые Кармакулы, губа Белушья, губа Черная, п/ст. Озерная. Даны константы 11 основных суточных, полусуточных и мелководных волн прилива, причем гармонические постоянные мелководных волн M_4 , MS_4 , M_6 даны впервые, так как ранее считалось, что ими можно пренебречь ввиду малости амплитуд. Однако на тестах показана роль мелководных приливов в точном описании кривой прилива и влиянии на расчет полных и малых вод (см. рис. 3).

Результаты гармонического анализа прилива, приведенные в Справочнике [7], иногда даны в виде средних значений, выведенных из отдельных серий для конкретного пункта. Такой прием осреднения в условиях сезонной изменчивости гармонических постоянных не всегда корректен. Средние (векторные) значения констант прилива следует определять из результатов анализа, выполненных в одинаковые месяцы года.

По сравнению кривых колебаний уровня из наблюдений Литке за 09-11 августа 1823 г. и предвычисленной по гармоническим постоянным п/ст. Лагерный на этот же период можно сделать вывод (конечно, с оговорками) об относительном постоянстве констант прилива в течение двух столетий. Но других материалов наблюдений для подобных сравнений не имеется.

Из рассмотрения хода кривых амплитуд и фаз (углов положений) волны M_2 в летний и зимний периоды (рис. 4 и рис. 5) вдоль побережья Новой Земли, которые практически параллельны между собой, следуют два главных вывода. Во-первых, приливная волна прилива M_2 не имеет существенных различий в распространении вдоль Новой Земли между летним и зимним периодами. Во-вторых, имеется только одна узловая зона этого прилива, расположенная вблизи губы Черной (в районе о-ва Междушарный). Она не меняется значимо между летним и зимним периодами. Поэтому те построения по численным моделям, которые показывают полную амфидромию на юге Новой Земли, не соответствуют наблюдениям.

Интересным является феномен практической синхронности во времени приливных колебаний уровня вдоль западного побережья Новой Земли от Русской Гавани до губы Белушья. С точки зрения кинематики приливного движения здесь располагается область стоячего колебания приливной волны M_2 .

Сведения о сезонной изменчивости прилива волны M_2 показывают большое разнообразие типов хода амплитуд и фаз в годовом цикле. Это является свидетельством действия разных гидрометеорологических факторов и/или преобладанием локальных особенностей режима уровня. Только по данным наблюдений определить это невозможно и необходимо использовать численные методы.

В целом величина размаха сезонного хода амплитуды волны M_2 в годовом цикле в губе Белушья достигает около 22% от нормы (среднегодовой величины). Максимум амплитуды наблюдается в июне (+13,7% от нормы), что является аномалией во времени наступления. В меньшей степени развивается сезонный ход на п/ст. Малые Кармакулы и составляет в августе +6% от нормы. Однако в сезонном ходе фазы происходит необычное увеличение ее в летний период с максимумом в июле (+4,7 град от нормы). Подобного вида аномалия ранее не наблюдалась [24].

В Русской Гавани сезонный ход амплитуды волны M_2 идет по аномальному варианту, а сезонный ход фазы по классическому виду. Причем в ходе амплитуды проявляется как годовая, так и полугодовая периодичности. Основной максимум амплитуды наблюдается в апреле и равен +3,1% от нормы, но есть менее выраженный второй максимум в сентябре. Более ярко вариация сезонного хода видна в фазе волны M_2 и размах ее равен 12 град.

Выше уже обсуждались физические механизмы сезонной изменчивости прилива в СЛО. Существует обоснованное мнение о влиянии сезонных вариаций площади дрейфующего льда в СЛО на приливную волну. Для подтверждения этой гипотезы в некоторых численных моделях рассматривается влияние припайного льда, прогнозируемого на весь изучаемый объект. Однако степень влияния припайного льда на приливную волну резко отличается от таковой дрейфующего льда. В действительности припайный лед образуется в зимний период на мелководных акваториях в заливах, губах, в устьях рек. В этих акваториях влияние припая на приливную волну очень существенное, но оно не приводит к видимым изменениям структуры приливной волны за пределами акваторий с припайным льдом. Это подтверждают приведенные в настоящей работе сведения.

По-видимому, для исследования сезонной изменчивости прилива следует при численном моделировании принимать во внимание не только эффекты сезонных вариаций дрейфующего льда, но и влияние изменений стратификации водных масс в годовом цикле, а также действие метеорологических факторов.

Список литературы:

1. Визе В.Ю. Моря Советской Арктики. М.; Л.: Изд-во Главсевморпути, 1948. 416 с.
2. Литке Ф.П. Четырехкратное плавание в Северном Ледовитом океане на военном бриге «Новая Земля» в 1821-1824 годах. М.: Изд-во ОГИЗ, 1948. 334 с.
3. Саватюгин Л.М. Архипелаг Новая Земля. История, имена и названия. М.: Паулсен, 2017. 792 с.
4. Бухтеев А.М. Данные о приливах Северного Ледовитого океана (в пределах русских его берегов) и Белого моря // Записки по гидрографии. 1916. Т. XL. Вып.1. С. 86-128.
5. Визе В.Ю. Наблюдения над приливами, произведенные в 1912-1913 гг. полярной экспедицией Г.Я. Седова в бухте «Св. Фоки» на Новой Земле // Записки по гидрографии. 1918. Т. I (XLI). Вып.3. С. 335-360.
6. Березкин Вс.А. Приливы на Новой Земле // Записки по гидрографии. 1925. Т. L. С. 189-218.
7. Баренцево море. Гидрологический режим моря / Гидрологический справочник морей СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1955. Том 6. Вып. 3. Глава III. Гидрологический режим моря. 439 с.
8. Материалы к изучению приливов арктических морей СССР / Труды Арктического института. 1935. Т. XXXVI. Вып. I. 51 с.
9. Материалы к изучению приливов арктических морей СССР / Труды Арктического института. 1935. 1936. Т. LII. Вып. II. 81 с.
10. Материалы по изучению приливов арктических морей СССР / Труды Арктического института. 1935.1938. Т. 119. Вып. IV. 83 с.
11. Материалы по изучению приливов арктических морей СССР / Труды Арктического института. 1935. 1940. Т. 153. Вып. V-VI. 199 с.
12. Материалы по изучению приливов арктических морей СССР / Труды Арктического института. 1935. 1952. Т. 42. Вып. VII. Карское море. 536 с.
13. Pawlowicz R., Beardsley B., Lentz S. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE // Comput. Geosci. 2002. Vol. 28. № 8. P. 929-937.
14. Foreman M.G.G. Manual of tidal heights analysis and prediction // Pacific Marine Science Report. 1977. Vol. 77-10. P. 97.
15. Войнов Г.Н. Приливные явления в Карском море. СПб.: Изд-во Русского географического общества, 1999. 109 с.
16. Войнов Г.Н. Гармонический анализ морских приливов по срочным наблюдениям за уровнем моря // Метеорология и гидрология. 2009. № 7. С.79-91.
17. Войнов Г.Н. Гармонический анализ морских приливов с описанием сезонной изменчивости основных суточных, полусуточных и мелководных волн // Труды Государственного океанографического института. 2011. Т. 213. С. 169-178.
18. Войнов Г.Н. Способ приведения ежечасных наблюдений за уровнем моря к однородным рядам с помощью калибровки приливов // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 2 (104). С. 68-80.
19. Войнов Г.Н. О гармоническом анализе приливов по нерегулярным многолетним наблюдениям за уровнем моря и течениями // Океанология. 2004. Т. 44. № 2. С. 172-178.
20. Doodson A.T., Warburg H.D. Admiralty manual of tides. London, His Majesty's stationery office Publ., 1941. 261 p.
21. Владимирский Н.П., Стахевич В.С. Руководство по обработке и предсказанию приливов. Л.: Изд. Гидрограф. управления ВМФ СССР, 1941. 347 с.
22. Зильберштейн О.И., Сафронов Г.Ф., Попов С.К. Исследование приливных движений в Баренцевом море на основе гидродинамического моделирования // Труды Государственного океанографического института. 2000. Вып. 207. С. 81-102.
23. Каганский А.С. Некоторые особенности изменчивости гармонических постоянных приливных колебаний уровня // Труды Государственного океанографического института. 1965. Вып. 85. С. 84-90.
24. Войнов Г.Н. О новой интерпретации сезонной изменчивости приливов арктических морей России // Метеорология и гидрология. 2003. № 9. С.59-70.
25. Muller M., Cherniawskiy J.Y., Foreman M.G.G. Seasonal variation of the M_2 tide // Ocean Dynamics. 2014. Vol.64. P. 159-177. DOI: 10.1007/s10236-013-0679-0
26. Каган Б.А., Софьина Е.В. Сезонная изменчивость приливной волны M_2 в Северном Ледовитом океане // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2009. № 4 (6). С. 31-37.

References:

1. Vize V.YU *Morya Sovetskoj Arktiki*. Moskva; Leningrad, Glavsevmorputi Publ., 1948, 416 p. (In Russian).
2. Litke F.P. *CHetyrekhkratnoe plavanie v Severnom Ledovitom okeane na voennom brige "Novaya Zemlya" v 1821-1824 godah*. Moskva, OGIZ Publ., 1948, 334 p. (In Russian).
3. Savatyugin L.M. *Arhipelag Novaya Zemlya. Istoriya, imena i nazvaniya*. Moskva, Paulsen Publ., 2017, 792 p. (In Russian).
4. Buhteev A.M. Dannye o prilivah Severnogo Ledovitogo okeana (v predelakh russkikh ego beregov) i Belogo moray. *Zapiski po gidrografii*, 1916, vol. XL, no. 1, pp. 86 - 128. (In Russian).
5. Vize V.YU. Nablyudeniya nad prilivami, proizvedennye v 1912-1913 gg. polyarnoj ekspeditsiej G.YA. Sedova v buhte "Sv. Foki" na Novoj Zemle. *Zapiski po gidrografii*, 1918, vol. I (XLI), no. 3, pp. 335-360. (In Russian).
6. Berezkin Vs.A. Prilivy na Novoj Zemle. *Zapiski po gidrografii*, 1925, vol. L, pp. 189-218. (In Russian).
7. Barencevo more. Gidrologicheskij rezhim moray. *Gidrologicheskij spravochnik morej SSSR*, Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1955, vol. 6, no. 3, chapter III. Gidrologicheskij rezhim moray, 439 p. (In Russian).
8. Materialy k izucheniyu prilivov arkticheskikh morej SSSR. *Trudy Arkticheskogo instituta*, 1935, vol. XXXVI, no. I, 51 p. (In Russian).
9. Materialy k izucheniyu prilivov arkticheskikh morej SSSR. *Trudy Arkticheskogo instituta*, 1935, 1936, vol. LII., no. II, 81 p. (In Russian).
10. Materialy po izucheniyu prilivov arkticheskikh morej SSSR. *Trudy Arkticheskogo instituta*, 1935, 1938, vol. 119, no. IV, 83 p. (In Russian).
11. Materialy po izucheniyu prilivov arkticheskikh morej SSSR. *Trudy Arkticheskogo instituta*, 1935, 1940, vol. 153, no. V-VI, 199 p. (In Russian).
12. Materialy po izucheniyu prilivov arkticheskikh morej SSSR. *Trudy Arkticheskogo instituta*, 1935, 1952, vol. 42, no. VII, Karskoe more, 536 p. (In Russian).
13. Pawlowicz R., Beardsley B., Lentz S. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE. *Comput. Geosci*, 2002, vol. 28, no. 8, pp. 929-937.
14. Foreman M.G.G. Manual of tidal heights analysis and prediction. *Pacific Marine Science Report*, 1977, vol. 77-10, p. 97.
15. Vojnov G.N. *Prilivnye yavleniya v Karskom more*. SPb, Izd. Russkogo geograficheskogo obshchestva, 1999, 109 p. (In Russian).
16. Vojnov G.N. Garmonicheskij analiz morskikh prilivov po srochnym nablyudeniyam za urovnem morya. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2009, no. 7, pp.79-91. (In Russian).
17. Vojnov G.N. Garmonicheskij analiz morskikh prilivov s opisaniem sezonnoj izmenchivosti osnovnyh sutochnykh, polusutochnykh i melkovodnykh voln. *Trudy GOIN*, 2011, vol. 213, pp. 169-178. (In Russian).
18. Vojnov G.N. Sposob privedeniya ezhechasnykh nablyudenij za urovnem morya k odnorodnym ryadam s pomoshch'yu kalibrovki prilivov. *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2015, vol. 2 (104), pp. 68-80. (In Russian).
19. Vojnov G.N. O garmonicheskom analize prilivov po neregulyarnym mnogoletnim nablyudeniyam za urovnem morya i techeniyami. *Okeanologiya*, 2004, vol. 44, no. 2, pp. 172-178. (In Russian).
20. Doodson A.T., Warburg H.D. *Admiralty manual of tides*. London, His Majesty's stationery office Publ., 1941, 261 p.
21. Vladimirskij N.P., Ctahevich V.S. *Rukovodstvo po obrabotke i predskazaniyu prilivov*. Leningrad.: Izd. Gidrograf. upravleniya VMF SSSR, 1941, 347 p. (In Russian).
22. Zil'bershtejn O.I., Safronov G.F., Popov S.K. Issledovanie prilivnykh dvizhenij v Barencevom more na osnove gidrodinamicheskogo modelirovaniya. *Trudy GOIN*, 2000, vol. 207, pp. 81-102. (In Russian).
23. Kaganskij A.S. Nekotorye osobennosti izmenchivosti garmonicheskikh postoyannykh prilivnykh kolebanij urovnya. *Trudy GOIN*, 1965, vol. 85, pp. 84-90. (In Russian).
24. Vojnov G.N. O novej interpretacii sezonnoj izmenchivosti prilivov arkticheskikh morej Rossii. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2003, no 9, pp. 59-70. (In Russian).
25. Muller M., Cherniawskiy J.Y., Foreman M.G.G. Seasonal variation of the M_2 tide. *Ocean Dynamics*, 2014, vol. 64, p. 159-177. DOI: 10.1007/s10236-013-0679-0
26. Kagan B.A., Sof'ina E.V. Sezonnaya izmenchivost' prilivnoj volny M_2 v Severnom Ledovitom okeane. *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika*, 2009, vol. 4 (6), pp. 31-37. (In Russian).

Научная статья

УДК 159.91

DOI: 10.24412/2658-4255-2024-1-48-61



EDN: KYWDFJ

Для цитирования:

Пряничников С.В.
Особенности заболеваемости и функционального состояния работников горнорудного производства в мурманской области // Российская Арктика. 2024. Т. 6. № 1. С. 48-61.
<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-1-48-61>

Получена: 22.01.2024
Принята: 26.02.2024
Опубликована: 29.03.2024

For citation:

Pryanichnikov S.V. Features of morbidity and functional status of mining workers in the Murmansk Region. Russian Arctic, 2024, vol. 6, no. 1, pp. 48-61. (In Russian).
<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-1-48-61>

Финансирование.

Грант РФФИ и Администрации Мурманской области, проект № 10-04-98809-р_север_а «Оценка воздействия природных факторов среды и горнорудного производства на организм человека в Евро-Арктическом регионе».



ОСОБЕННОСТИ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ РАБОТНИКОВ ГОРНОРУДНОГО ПРОИЗВОДСТВА В МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

С.В. Пряничников

Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем, «Кольский научный центр Российской академии наук», Россия, г. Апатиты

E-mail: s.pryanichnikov@ksc.ru

Аннотация

Представлены результаты оценки функционального состояния работников горнорудного производства в Мурманской области. В исследовании приняли участие 231 человек, мужского пола, средний возраст $42,02 \pm 12,38$ лет. Исследуемые ранжированы по возрастным группам. Данные о заболеваемости получены путем выписки из амбулаторных карт трудящихся. Комплекс методик включал в себя: тест самочувствия, активности, настроения, тест ситуативной и личностной тревожности. Соматометрические и физиометрические показатели: частота сердечных сокращений, артериальное давление, рост и вес. Вегетативный статус и адаптационный потенциал рассчитывались по показателям индекса функциональных изменений и индекса Кердо. Анализ полученных данных показал, что практически здоровы – 68,8% работников предприятия, хронические заболевания вне стадии обострения имеют 31,8%. В группе 50 лет и старше доминирует заболеваемость сердечно-сосудистой системы – 49%, возрастающая со стажем работы и пиком в 10-20 лет трудовой деятельности. Болезни желудочно-кишечного тракта и прочие заболевания имеют волновую возрастную динамику с пиком в 5-10 лет стажа. Также на работников со стажем 5-10 лет приходится пик заболеваемости болезнями органов грудной клетки. Особенности адаптационного потенциала исследуемых носят возрастной характер и проявляются в увеличении показателей напряжения механизмов адаптации. Самооценка состояния по тестам самочувствия, активности и настроения, ситуативной и личностной тревожности достоверных межгрупповых различий не показала. Отмечены достоверные различия в расчётных показателях индекса Кердо и индекса функциональных изменений у практически здоровых и имеющих хронические заболевания работников. Результаты исследования показывают наличие более чем у трети работников горнорудного производства наличие кардиоваскулярных рисков и требуют проведения мероприятий профилактического характера, направленных на коррекцию состояния в целях недопущения развития соматической патологии. Полученные данные могут быть использованы специалистами, занятыми в области профилактических осмотров.

Ключевые слова: заболеваемость, функциональное состояние, самочувствие, активность, настроение, тревожность, вегетативный статус, адаптационный потенциал

FEATURES OF MORBIDITY AND FUNCTIONAL STATUS OF MINING WORKERS IN THE MURMANSK REGION

S.V. Pryanichnikov

Research Center for Medical and Biological Problems, Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

E-mail: s.pryanichnikov@ksc.ru

Abstract

The results of the assessment of the functional state of mining workers in the Murmansk region are presented. The study involved 231 men, with an average age of 42.02 ± 12.38 years. The subjects are ranked by age groups. The data on morbidity were obtained by extract from the outpatient records of workers. The complex of techniques included: a test of well-being, activity, mood, a test of situational and personal anxiety. Somatometric and physiometric indicators: heart rate, blood pressure, height and weight. Vegetative status and adaptive potential were calculated based on the indicators of the index of functional changes and the Kerdo index. The analysis of the obtained data showed that 68.8% of the company's employees are practically healthy, 31.8% have chronic diseases beyond the acute stage. In the group of 50 years and older, the incidence of the cardiovascular system dominates - 49%, increasing with work experience and a peak of 10-20 years of work. Diseases of the gastrointestinal tract and other diseases have a wave age dynamics with a peak of 5-10 years of experience. Also, workers with 5-10 years of experience account for the peak incidence of diseases of the chest. The peculiarities of the adaptive potential of the studied are age-related and manifest themselves in an increase in the stress indicators of adaptation mechanisms. Self-assessment of the state according to tests of well-being, activity and mood, situational and personal anxiety did not show significant intergroup differences. Significant differences were noted in the calculated indicators of the Kerdo index and the index of functional changes in practically healthy and chronically ill workers. The results of the study show that more than a third of mining workers have cardiovascular risks and require preventive measures aimed at correcting the condition in order to prevent the development of somatic pathology. The data obtained can be used by specialists engaged in the field of preventive examinations.

Keywords: morbidity, functional state, well-being, activity, mood, anxiety, vegetative status, adaptive potential

Введение

Согласно государственному докладу «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации (РФ)» интегральной оценки влияния комплекса санитарно-гигиенических факторов на состояние здоровья населения субъектов РФ, Мурманская область входит в перечень субъектов РФ, население которых наиболее подвержено воздействию негативных факторов окружающей среды [1-4]. Среди комплекса неблагоприятных факторов, оказывающих влияние на состояние здоровья населения, есть группы факторов (условия труда и производственные факторы), оказывающих непосредственное влияние на показатели заболеваемости в трудоспособном возрасте. В первую очередь это связано с высокой долей населения, проживающего и работающего в промышленном секторе экономики¹.

По мнению ряда авторов, деятельность специалистов, чья область профессиональных интересов связана с добычей полезных ископаемых, характеризуется снижением адаптационных и функциональных резервов организма, нервно-психическим напряжением и высоким риском развития профессиональных заболеваний [5-11].

Труд на горнорудном производстве является одним из самых тяжелых и опасных видов производственной деятельности. Работающие подвергаются действию различных факторов, которые могут оказывать негативное влияние на их психофизиологическое состояние (ПФС). Среди таких факторов можно выделить следующие:

- высокий уровень опасности и риска для жизни и здоровья работников, связанный с возможностью обрушения горных пород, взрывов, пожаров и других аварийных ситуаций;
- тяжелые физические нагрузки и высокая утомляемость. Работа в условиях низкой температуры, сильной вибрации и высокой влажности приводит к быстрой утомляемости и повышенному риску получения травм и заболеваний;
- необходимость использования специальной техники и оборудования, которое

1 Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2014 году», режим доступа: https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=3692

требует высокой квалификации и опыта работы;

- ограниченность в пространстве и времени. Работники находятся в замкнутых пространствах, где ограничены возможности передвижения и коммуникации с внешним миром;

- неравномерный и напряженный график работы. Такой распорядок дня может привести к нарушению циркадных ритмов (сна и отдыха), что оказывает негативное влияние на психическое и физиологическое здоровье работников и т. д. [12,13].

В целом трудящиеся в горнодобывающей промышленности подвержены воздействию ряда негативных факторов, которые при долговременном и многократном воздействии приводят к истощению защитно-приспособительных механизмов. Для предотвращения срыва адаптационных возможностей и недопущения развития пре-морбидных состояний в соматическую патологию необходимо проводить своевременную диагностику функционального состояния работников и разрабатывать программы, направленные на сохранение и укрепление здоровья.

Цель работы

Провести оценку заболеваемости и функционального состояния трудящихся, занятых в горнодобывающей промышленности Мурманской области.

Материалы и методы

Представлены результаты поперечного исследования работников горнорудного производства, проведенного на базе горно-обогатительного комбината в Мурманской области в 2014 г. во время регулярного профилактического осмотра. В исследовании приняли участие лица мужского пола в количестве 231 человек, средний возраст $42,02 \pm 12,38$ лет. Критерии отбора испытуемых: отсутствие жалоб на момент проведения исследования, отсутствие заболеваний в стадии обострения. Обследуемые были предварительно ознакомлены с условиями проведения исследования и предоставили письменное согласие на участие и обработку персональных данных. Данные о наличии хронических заболеваниях получены путем выписки из амбулаторных карт работников. Оценка функционального состояния проводилась с помощью анкетирования, утром, во время прохождения регулярного медицинского осмотра. Самочувствие (с), активность (а), настроение (н) оценивалось с помощью теста дифференциальной самооценки функционального состояния (САН) [14]. Показатели от 5,0 баллов и выше – высокие, 3,0–5,0 – средние и 3,0 и менее баллов – низкие. Ситуативная (СТ) и личностная (ЛТ) тревожность оценивалась с помощью теста Ч. Д. Спилбергера и Ю. Л. Ханина, где низкий уровень тревожности – это 30 и менее баллов, средний – 31-45 баллов и высокий – 46 и более баллов [15]. Из соматометрических и физиометрических показателей использовались данные артериального давления (АД), частоты сердечных сокращений (ЧСС) и веса (кг). Индекс Кетле (ИМТ), где 1 б. и менее б. – выраженный дефицит массы тела, 16-18,5 б. – дефицит, 18,5-25 б. – норма, 25-30 б. – избыточная масса тела, 30-35 б. – ожирение I степени, 35-40 б. – ожирение II степени, 40 и более б. – ожирение III степени [16]. Интегративная оценка благополучия состояния организма проведена с помощью показателей: индекса функциональных изменений (ИФИ) по формуле $ИФИ = 0,011 \cdot ЧСС + 0,014 \cdot САД + 0,008 \cdot ДАД + 0,009 \cdot m - 0,009 \cdot P - 0,27$, где ЧСС – частота сердечных сокращений (пульс); САД – систолическое АД; ДАД – диастолическое АД; р – рост; m – масса тела; В – возраст [17]. Результат менее 2,60 баллов (б.) – адаптационный потенциал удовлетворительный, 2,60–3,09 б. – напряжение механизмов адаптации, 3,10 – 3,49 б. – неудовлетворительная адаптация и 3,5 и выше б. – срыв адаптации. Вегетативный статус оценивался с помощью индекса Кердо, где показатели $>(-31)$ – выраженная парасимпатикотония, от (-1 б. до -30) – парасимпатикотония, (-15 до +15) – норма, (+16 до +30) – симпатикотония, $>(+31)$ – выраженная симпатикотония [18].

Данные обрабатывались с помощью ПО «STATISTICA 10.0» (TIBCO) и программы Microsoft Excel (Microsoft). Результаты представлены в процентном соотношении в виде средней арифметической показателей (M) и стандартной ошибки среднеквадратического отклонения ($\pm m$). Различия считались статистически значимыми при уровне $p \leq 0,05$ и рассчитывались согласно U-критерию Манна-Уитни.

Результаты

Анализ особенностей функционального состояния организма трудящихся проводился путем обработки данных из амбулаторных карт, анкет, оценки результатов тестирования по выбранным методикам и данных сомато- и физиометрии. Для выявления сравнительных особенностей функционального состояния работников проведено ранжирование данных по группам здоровья (группа I и группа III-а) и по

возрасту². Группа 1 (20-29 лет), группа 2 (30-39 лет), группа 3 (40-49 лет) и группа 4 (50 лет и старше). Распределение по возрасту представлено в таблице 1.

Таблица 1.

Возрастная категоризация исследуемых работников

Группа	Возрастная группа	Количество человек	Процент, %
I	20-29 лет	53	22,9
II	30-39 лет	59	25,5
III	40-49 лет	51	22,1
IV	50 лет и старше	68	29,4

Оценка исследуемого контингента в зависимости от групп здоровья показала следующие результаты. К I группе здоровья, т.е. к тем, у кого «не установлены хронические неинфекционные заболевания, отсутствуют факторы риска развития таких заболеваний ... и которые не нуждаются в диспансерном наблюдении по поводу других заболеваний», относятся 68,8% исследуемых. К III-а группе здоровья, т.е. к тем, у кого «имеются хронические неинфекционные заболевания, требующие установления диспансерного наблюдения ... и нуждающиеся в дополнительном обследовании» относятся 31,2% исследуемых. В группе здоровья III-а преобладают заболевания сердечно-сосудистой системы (ССС), преимущественно артериальная гипертензия различной степени тяжести, заболевания желудочно-кишечного тракта (ЖКТ): язвенная болезнь и хронический гастрит в стадии ремиссии, заболевания органов грудной клетки (ОГК), преимущественно хронический бронхит в стадии ремиссии и прочие заболевания, среди которых: мочекаменная болезнь, сахарный диабет и др. (рис. 1).

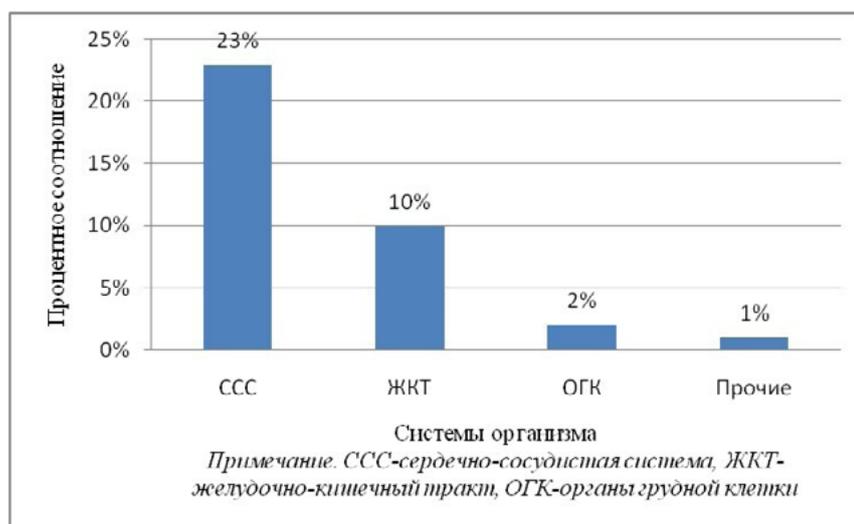


Рисунок 1. Распределение заболеваемости по системам, в группе здоровья III-а, вне стадии обострения среди работников горнорудного производства (процент)

Для выявления особенностей распределения хронических заболеваний среди исследуемых в группе здоровья III-а, была произведена категоризация заболеваемости по возрастному признаку (рис. 2).

Заболевания ССС в группе 20-29 лет составляют 6% исследуемых, в группе 30-39 лет - 8%, в группе 40-49 лет - 2% и в группе 50 лет и старше - 49%, что соответствует литературным данным [19-23]. Заболевания ЖКТ, ОГК и прочих нозологических форм не имеют такой резкой возрастной тенденции и практически равномерно распределяются по всем возрастным категориям (20-29 лет - 9%, 30-39 лет - 12%, 40-49 лет - 6% и 50 лет и старше - 10% соответственно).

Для выявления особенностей распределения заболеваний произведена категоризация в группе здоровья III-а по типу массы тела (рис. 3).

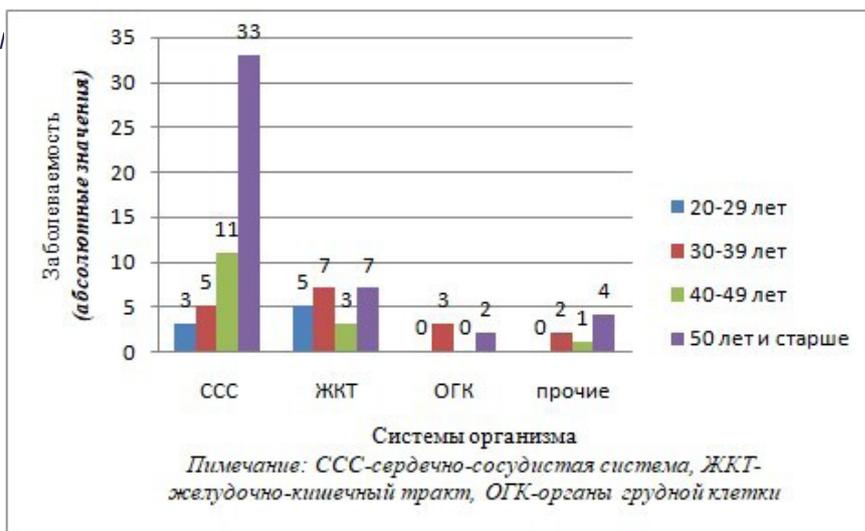
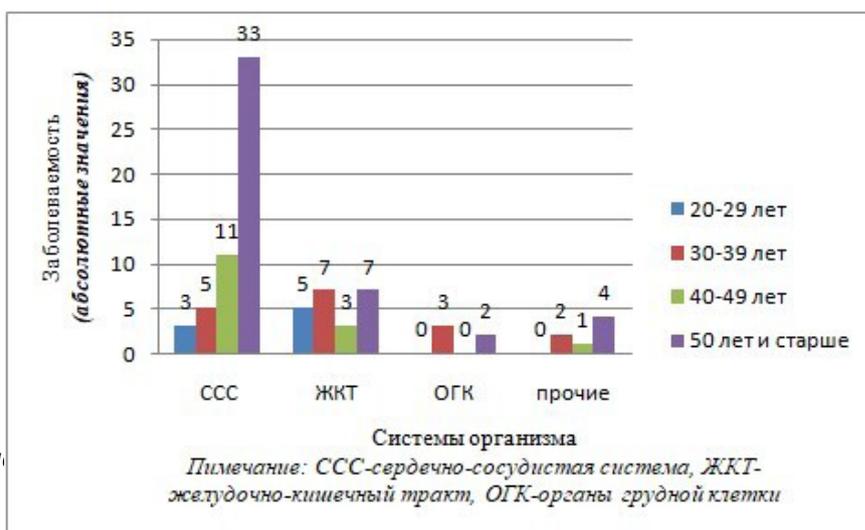


Рисунок 2. Распределение заболеваний работников в зависимости от возраста (абсолютные значения)



Ри

ти от ИМТ

Заболевания ССС доминируют в группе с избыточной массой тела (предожирение) и составляют 42%, затем следуют исследуемые с ожирением I степени - 31%, далее с нормальной массой тела - 27% и ожирением II степени - 6%. Заболевания ЖКТ представлены следующим образом: в группе с нормальной массой тела они составляют 59%, в группе с избыточной массой тела - 27%, в группе с ожирением I степени - 14%. Заболевания ОГК составляют в группе с нормальной массой тела 20%, в группе с избыточной массой тела - 40% и ожирением I степени тоже - 40%.

Показатели нормальной масса тела выявлены у 41% работающих, с избыточной массой тела у 38%, с ожирением I степени у 18% и с ожирением II степени у 3% исследуемых. Здесь следует отметить, что у мужчин преобладает развитие скелетно-мышечной системы и возможна ошибочная трактовка результатов исследования ИМТ из-за так называемого «ложного ожирения» и «ложного избыточного веса» [24]. Так как необходимости в оценке индивидуального состояния здоровья для целей исследования не требовалось и во избежание ошибочных интерпретаций результатов исследования, дифференциальная оценка превышения индекса массы тела по жировому и мышечному типу не проводилась.

Для определения динамики распределения заболеваемости среди работающих на горнорудном производстве и имеющих хронические заболевания было произведено стажевое ранжирование полученных данных (рис. 4).

Тенденция роста заболеваемости ССС среди трудящихся, имеющих хронические заболевания, происходит с увеличением стажа работы, а её пик (29%) приходится на работников со стажем от 10 до 20 лет и более 30 лет (25%), что соответствует литературным данным [19-23]. Заболеваемость ЖКТ имеет волновую структуру с пиком у работников со стажем 5-10 лет (43%). Анализ заболеваемости ОГК имеет тенденцию к росту с пиком у работников со стажем в 10-20 лет и 30 и более лет (29%). Кривая прочих заболеваний также имеет волновую структуру с пиками у работников

со стажем в 5-10 лет (40%).

Проведение категоризации работающих, в зависимости от данных по индексу Кетле, позволило определить возрастные особенности распределения типа массы тела (рис. 5).

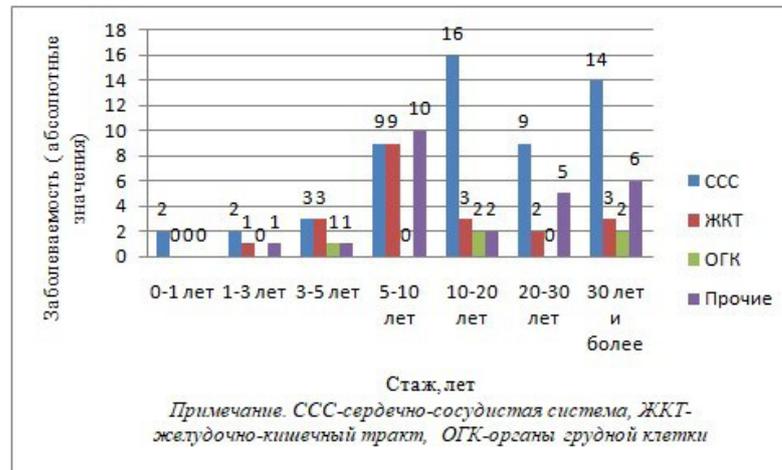


Рисунок 4. Распределение заболеваемости работников в зависимости от стажа (абсолютные значения)

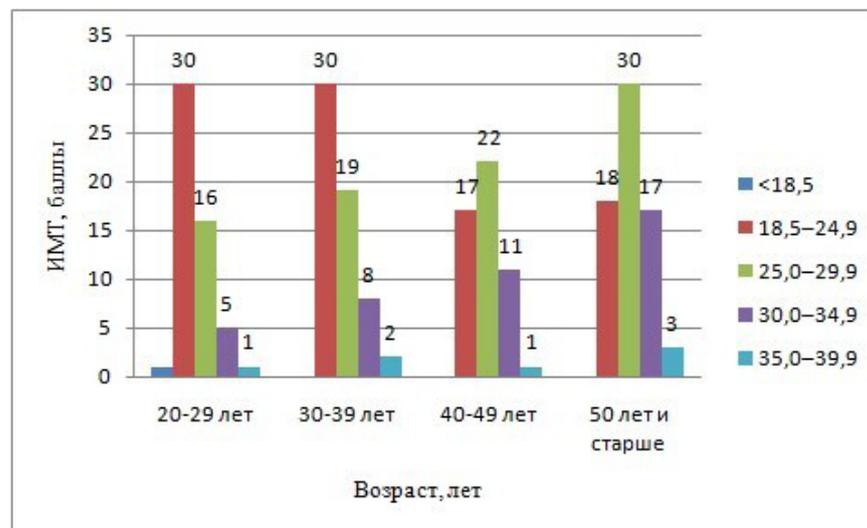


Рисунок 5. Распределение работников по возрасту в зависимости от ИМТ (абсолютные значения)

В группе работников 20-29 лет 57% с нормальной массой тела и обычным риском развития заболеваний, 30% с предожирением и повышенным риском развития сопутствующих заболеваний, 9% с ожирением I степени и высоким риском развития заболеваний и 2% с ожирением II степени и очень высоким риском развития сопутствующих заболеваний. В группе работников 30-39 лет 51% с нормальной массой тела, 32% с избыточной массой тела, 14% с ожирением I степени и 3% с ожирением II степени. В возрастной группе 40-49 лет 33% с нормальной массой тела, 43% с избыточной массой тела, 22% с ожирением I степени, 2% с ожирением II степени. Группа 50 лет и старше представлена следующим образом: 26% имеют нормальный вес, 44% - предожирение, 25% - ожирение I степени и 4% - с ожирением II степени. Полученные данные, в частности динамика индекса массы тела и возраст, согласуются с литературными источниками [25-27].

Для определения адаптационных возможностей организма и оценки функционального состояния ССС произведено определение индекса функциональных изменений (рис. 6).

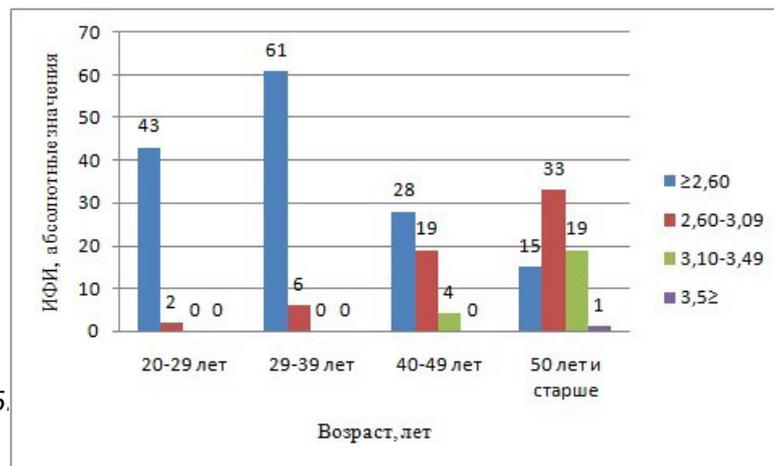


Рисунок 6.

: изменений

Оценка функционального состояния организма трудящихся показала следующие результаты: 64% имеют удовлетворительный адаптационный потенциал, 26% – напряжение механизмов адаптации, 10% имеет неудовлетворительный потенциал. По возрастным группам ранжирование следующее: в группе 20-29 лет 96% имеют удовлетворительный адаптационный потенциал, в группе 30-39 лет – 91% также имеют удовлетворительный адаптационный потенциал, 4% и 9% – напряжение механизмов адаптации (соответственно); в группе 40-49 лет уже 55% обладают удовлетворительным адаптационным потенциалом, 37% - с напряжением механизмов адаптации и 8% - с неудовлетворительным адаптационным потенциалом и в группе 50 лет и старше у 22% наблюдается удовлетворительный адаптационный потенциал, у 49% – напряжение механизмов адаптации, у 28% – неудовлетворительная адаптация, у 1% – срыв адаптационных возможностей.

Для определения функционального состояния организма и рисков развития сопутствующих заболеваний были произведены сомато- и физиометрические измерения с последующим расчётом индексов (таблица 2).

Таблица 2.

Распределение показателей функционального состояния здоровья работников по возрастным группам

Показатели	Возраст				
	20-29 лет	30-39 лет	40-49 лет	50 лет и старше	Всего
	N	53	59	51	68
стаж	4,1±0,33	8,15±0,69	15,14±1,04	23,88±1,61	13,4±0,76
вес	78,3±1,89	80,27±1,78	85,02±1,92	83,32±1,68	81,78±0,91
СД	117,74±0,94	120,14±0,97	125,1±1,35	129,49±1,13	123,43±0,63
ДД	77,64±0,98	79,66±0,88	84,61±1,06	87,06±1,56	82,47±0,65
Пульс	80,58±1,45*	80,71±1,67*	82,67±1,95*	80,87±1,45*	81,16±0,81*
ИМТ	24,6±0,53	25,7±0,97*	26,76±0,53*	27,26±0,45*	26,14±0,26*
ИФИ	2,35±0,04	2,58±0,04	2,86±0,03*	3,11±0,03*	2,75±0,03*
Самочувствие	5,59±0,12	5,56±0,12	5,43±0,13	5,72±0,09	5,59±0,06
Активность	4,56±0,18	4,74±0,16	4,85±0,15	5,11±0,12	4,83±0,08
Настроение	5,72±0,14	5,77±0,14	5,62±0,15	5,94±0,09	5,77±0,06
СТ	40,45±1,37	41,32±1,23	38,69±1,05	38,85±1,06	39,81±0,59
ЛТ	43,15±1,37	43,41±1,12	42,59±1,29	42,4±1,05	42,87±0,59

*– превышение референсных значений

Артериальное давление (СД и ДД) в исследуемых группах соответствует возрасту [20]. Некоторая тахикардия обнаружена практически во всех исследуемых группах, особенно выделяются показатели в группе 40-49 лет [28, 29]. Показатели ИМТ во всех возрастных группах, кроме 20-29 лет, отражают предожирение (избыточную массу тела), что является одним из факторов развития артериальной гипертензии³. Данные вегетативного индекса во всех возрастных группах показывают уравновешенность симпатических и парасимпатических влияний на сердечный ритм. Показатели индекса физических изменений в группах 20-29 лет и 30-39 лет говорят об удовлетворительном адаптационном потенциале, а группах 40-49 лет и от 50 лет и выше – о напряжении механизмов адаптации. Показатели самочувствия, активности

и настроения соответствуют средним значениям, что свидетельствует о благоприятном психоэмоциональном фоне, достаточной активности и необходимом эмоциональном отклике на внешнее воздействие. Показатели ситуативной и личностной тревожности исследуемых также находятся в пределах средних значений и отражают необходимый уровень для соответствующего ответа на внешние воздействия.

Для оценки различий межвозрастных показателей функционального состояния был проведён сравнительный анализ данных (табл. 1 и 2). По тестам дифференциальной самооценки состояний САН и СТ и ЛТ по Ч.Д. Спилбергеру – Ю.Л. Ханину достоверных межгрупповых различий не выявлено за исключением групп сравнения 20-29 лет и 50 лет и старше, где показатель активности несколько выше в группе более возрастных работников. Рост и вес также имеют достоверные различия только в группах 20-29 лет и 40-49 лет, 20-29 лет и 50 лет и старше 40-49 лет и 50 лет и старше. Показатели артериального давления (СД и ДД) достоверно различаются во всех исследуемых возрастных группах за исключением групп 20-29 лет и 30-39 лет, где различий не выявлено, при этом показатели не превышают среднегрупповые значения по возрасту. По частоте сердечных сокращений среди всех групп достоверных различий не выявлено, при этом показатели немного превышают референсные значения во всех возрастных группах. Достоверные различия по ИМТ обнаружены между группами 20-29 лет и 40-49 лет, 20-29 лет и 50 лет и старше и 30-39 лет и 40-49 лет, при этом только в группе 20-29 лет нет избыточной массы тела. Данные по вегетативному индексу Кердо (ВИК) находится в пределах вегетативного баланса, но имеют достоверные различия среди всех групп сравнения. Адаптационный потенциал (АП) состояния ССС значимо различался во всех исследуемых возрастных группах, при этом в группах 20-29 лет и 30-39 лет среднегрупповое значение АП находилось в рамках удовлетворительных значений, тогда как в группах 40-49 лет и 50 лет и старше наблюдается напряжение механизмов адаптации.

Для оценки достоверности различий показателей функционального состояния работников был проведён сравнительный анализ данных практически здоровых лиц и имеющих хронические заболевания различных систем организма (таблица 3).

Таблица 3.

Сравнение показателей функционального состояния работников между группами здоровья

Показатели	Группы здоровья		Mann-Whitney U Test	
	Практически здоровые	Хронические заболевания	U	p-value
возраст	39,66±0,92*	47,37±1,16*	3705,000	0,000025
рост	177,01±0,53	176,04±0,84	5123,500	0,234672
вес	80,73±1,02	84,17±1,87	5052,000	0,180232
СД	120,07±0,54*	131,01±1,25*	2282,000	0,000000
ДД	79,5±0,71*	89,15±1,03*	2375,500	0,000000
Пульс	80,77±1	82,04±1,37	5328,000	0,452999
ИМТ	25,73±0,29*	27,07±0,5*	4607,000	0,021568
ИФИ	2,62±0,03*	3,02±0,05*	2690,500	0,000000
Самочувствие	5,6±0,06	5,56±0,11	5639,000	0,931020
Активность	4,78±0,09	4,95±0,15	4999,000	0,146209
Настроение	5,75±0,08	5,84±0,12	5266,500	0,377539
СТ	40,06±0,7	39,27±1,1	5327,500	0,452148
ЛТ	43,06±0,73	42,44±1,02	5530,500	0,750274

* – достоверно значимые различия

Достоверные межгрупповые различия получены по показателям артериального давления (СД и ДД), ИМТ, ИФИ. Показатели СД, ДД и ИМТ значимо выше в группе лиц с хроническими заболеваниями. Сохраняется вегетативное равновесие и баланс симпатических и парасимпатических влияний на деятельность ССС. Величина адаптационного потенциала, отражающая состояние ССС, значимо различается в исследуемых группах. В группе практически здоровых лиц она соответствует удовлетворительному адаптационному потенциалу, тогда как в группе с хроническими заболеваниями присутствует напряжение механизмов адаптации. По показателям самооценки самочувствия, активности и настроения, а также СТ, ЛТ достоверных различий между группами не выявлено.

Заключение

Практически здоровы – 68,8%, 31,8% имеют хронические заболевания. В группе 20-29 лет заболеваниями ССС страдают 6%, заболеваниями ЖКТ – 9%, хронических заболеваний ОГК и прочих не выявлено. В группе 30-39 лет заболеваниями ССС страдают 8%, заболеваниями ЖКТ – 12%, ОГК – 5% и прочими заболеваниями – 2%. В группе 40-49 лет заболеваниями ССС страдают 22%, заболеваниями ЖКТ – 6%, ОГК – не выявлено, прочими заболеваниями – 3%. В группе 50 лет и старше хроническими заболеваниями ССС страдают 49%, заболеваниями ЖКТ – 10%, ОГК – 3% и прочими заболеваниями – 6%. Заболевания ССС преобладают в группе 50 лет и старше (49%), прочие нозологические формы не имеют такой резкой возрастной тенденции. Заболеваемость ССС возрастает со стажем работы, и её пик приходится на 10-20 лет трудовой деятельности. Заболеваемость ЖКТ и прочими заболеваниями имеет волновую динамику с пиком у работников со стажем 5-10 лет. Также на работников со стажем 5-10 лет приходится пик заболеваемости болезнями легких.

Избыточная масса тела в группе 20-29 лет составляет 30%, в группе 30-39 лет – 32%, в группе 40-49 лет – 43%, в группе 50 лет и старше – 44%. Ожирение I ст. в группе 20-29 лет составляет – 9%, в группе 30-39 лет – 14%, в группе 40-49 лет – 22%, в группе 50 лет и старше – 25%. Ожирение II ст. в группе 20-29 лет составляет – 2%, в группе 30-39 лет – 3%, в группе 40-49 лет – 2%, в группе 50 лет и старше – 4%.

Показатели функционального состояния организма трудящихся распределяется по возрастным группам следующим образом: в группах 20-29 лет и 30-39 лет преимущественно удовлетворительный адаптационный потенциал имеют 96% и 91% соответственно, в группе 40-49 лет более половины (55%) имеют удовлетворительный потенциал, чуть более трети (37%) – напряжение механизмов адаптации и 8% – неудовлетворительный уровень адаптационных возможностей. В группе 50 лет и старше менее четверти (22%) – удовлетворительный потенциал, практически половина (49%) – напряжение механизмов адаптации, у чуть более четверти (28%) – неудовлетворительная адаптация и у 1% – срыв механизмов адаптации вследствие истощения энергетических ресурсов.

Сравнительный анализ межвозрастных показателей психоэмоционального состояния показал, что по данным самооценки самочувствия, активности, настроения и ситуативной и личностной тревожности достоверных различий не выявлено.

Значения ВИК во всех группах находится в состоянии вегетативного равновесия, что говорит о сбалансированном влиянии симпатической и парасимпатической нервной системы.

Состояние ССС находит своё отражение в показателях адаптационного потенциала, который имеет достоверные межгрупповые различия, при этом в группах 20-29 лет и 30-39 лет наблюдается удовлетворительный уровень адаптации, а в группах 40-49 лет и 50 лет и старше – напряжение механизмов адаптации, за которой следует срыв адаптационных возможностей и развитие кардиоваскулярной патологии.

Ввиду того что на развитие заболеваний ССС влияет комбинированное воздействие ряда факторов (вредные привычки, избыточная масса тела, психосоциальные факторы, тяжёлые условия труда и т.д.) [29], то важнейшее значение имеет активная профилактика кардиоваскулярных рисков и сосудистых катастроф, направленная на снижение влияния неблагоприятных факторов, раннюю диагностику ССЗ и пропаганду здорового образа жизни в организованных коллективах [30, 31].

Необходимо отметить, что при проведении исследования отмечались некоторые трудности. В частности, они заключались в ограниченном количестве респондентов ввиду нежелания трудящихся участвовать в исследовании из-за страха перед сокращением и затруднений организационного характера для проведения исследований на предприятиях горнодобывающей промышленности (доступ на предприятие, доступ к персональным данным и т.д.).

Предполагаемые меры по сохранению профессионального долголетия работников, занятых в сфере горнорудного производства Мурманской области, требуют проведения исследований для выявления преморбидных маркеров напряжения регуляторных систем организма и критериев риска развития профзаболеваний. Исследования, проведённые не только на предприятиях горнорудного производства, но и в смежных (других) отраслях производства, с созданием персонифицированных подходов для профилактики заболеваемости, позволят повысить эффективность трудовой деятельности и снизить риски развития профессиональной патологии в условиях высоких широт.

Выводы

1. Таким образом, среди групп исследуемых работников горнорудного производства доминируют болезни органов кровообращения с пиком в 10-20, 30 и более лет стажа, этиология которых носит комплементарный характер (отягощенный анамнез, особенности трудового процесса, гелиогеофизические особенности проживания в Арктической зоне РФ и др.) [32-34].

2. Избыточная масса тела отмечается во всех возрастных группах и демонстрирует тенденцию роста, что соответствует литературным данным [35].

3. Интегральный показатель вагосимпатического баланса во всех возрастных группах отражает уравновешенность симпатических и парасимпатических влияний на функциональное состояние организма исследуемых. Показатели индекса физических изменений в группах 20-29 лет и 30-39 лет говорят об удовлетворительном адаптационном потенциале и необходимой мобилизации резервов организма, а группах 40-49 лет и от 50 лет и выше – о некотором напряжении адаптационных механизмов регуляции.

4. Субъективная оценка актуального психоэмоционального состояния работников свидетельствует о благоприятном состоянии и необходимом эмоциональном фоне без каких-либо возрастных и динамических особенностей.

Список литературы:

1. Белишева Н.К. Вклад высокоширотных гелиогеофизических агентов в заболеваемость населения Евро-Арктического региона // *Вестник Уральской медицинской академической науки*. Екатеринбург. 2014. №2 (48). С. 5-11.
2. Поликарпов Л.С., Лапко А.В., Хамнагадаев И.И., Яскевич Р.А. Метеотропные реакции сердечно-сосудистой системы и их профилактика. Новосибирск: Наука, 2005. 196 с.
3. Мартынова А.А., Пряничников С.В., Михайлов Р.Е., Белишева Н.К. Особенности variability сердечного ритма у работников горнорудного производства Кольского Заполярья // *Экология человека*. 2017. № 3. С. 31–37.
4. Рожков В.П., Белишева Н.К., Мартынова А.А., Сороко С.И. Психофизиологические и кардиогемодинамические эффекты гелиогеомагнитных и метеорологических факторов у человека в условиях заполярья // *Физиология человека*. 2014. Т. 40. № 4. С. 51–64.
5. Белевитин А.Б., Фесюн А.Д., Божченко А.А. [и др.]. Современные взгляды на медицинскую реабилитацию лиц опасных профессий // *Медицина катастроф*. 2011. № 2. С. 14–17
6. Бодурова Д.Ф. Исследование адаптивных способностей пожарных-спасателей в условиях чрезвычайных ситуаций // *Наука и бизнес: пути развития*. 2012. № 6 (12). С. 14–20.
7. Голоков В.А., Николаева Т.Я., Сергеев С.А., Жуковский А.А. О состоянии здоровья сотрудников органов внутренних дел, выполнявших служебные задачи в особых условиях Северо-Кавказского региона // *Якутский мед. журн*. 2010. № 1. С. 29–30.
8. Евдокимов В.И., Ролдугин Г.Н., Марищук В.Л. [и др.]. Профессиональное здоровье оперативного персонала АЭС. М.: Воронеж: Истоки, 2004. 250 с.
9. Мартынова А.А., Пряничников С.В., Петрашова Д.А. [и др.] Психофизиологическое состояние организма работников горнорудного производства в высоких широтах. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2011. Т. 13, № 1-7. С. 1783-1787.
10. Мартынова А.А., Пряничников С.В., Михайлов Р.Е., Белишева Н.К. Особенности variability сердечного ритма у работников горнорудного производства Кольского Заполярья // *Экология человека*. 2017. Т. 24. №3. С. 31-37. DOI:10.33396/1728-0869-2017-3-31-37
11. Мартынова А.А. Особенности психофизиологического состояния горняков, занятых в подземных разработках руды // *Вестник Уральской медицинской академической науки*. 2014. № 2 (48). С. 76-78.
12. Баранников В.Г., Кириченко Л.В. Особенности формирования функционального состояния горнорабочих в условиях микроклимата калийных рудников // *Медицина труда и промышленная экология*. 2018. № 4. С. 19-23.
13. Преображенская Е.А., Сухова А.В., Зорькина Л.А [и др.] Гигиеническая оценка

- условий труда и состояние здоровья работников горно-обогатительных комбинатов // *Гигиена и санитария*. 2016. №11. С. 1065-1070.
14. Доскин В.А. Тест дифференцированной самооценки функционального состояния // *Вопросы психологии*. 1973. № 6. С.141-145.
 15. Елисеев О.П. Практикум по психологии личности: 2-е изд., испр. и перераб. СПб.: Питер, 2002. 512 с.
 16. Николаев Д.В., Смирнов А.В., Бобринская И.Г., Руднев С.Г. Биоимпедансный анализ состава тела человека. М.: Наука, 2009. 392 с.
 17. Павленкович С.С. Комплексный контроль функционального состояния спортсменов: учебно-методическое пособие для студентов Института физической культуры и спорта. Саратов: Изд-во Саратовского государственного университета, 2019. 52 с.
 18. Петраш М.Д., Гребенников В.А. Особенности вегетативной регуляции при воздействии повседневных стрессоров: возрастно-половой аспект // *Интернет-журнал «Мир науки»*, 2018. №6. <https://mir-nauki.com/PDF/64PSMN618.pdf>
 19. Баллюзек М.Ф. Возрастные особенности структурно-функционального состояния и вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы и методы их оценки // *Успехи геронтологии*. 2005. № 17. С. 050-054.
 20. Варламова Н.Г. Артериальное давление у мужчин и женщин Севера // *Известия Коми научного центра УрО РАН*. 2011. № 4(8). С. 52-55.
 21. Гырголькау Л.А. Уровни артериального давления и частота артериальной гипертензии у коренных жителей Чукотки // *Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2010. Т. 30. № 3. С. 58-63.
 22. Имаева А.Э., Баланова Ю.А., Капустина А.В. [и др.] Влияние артериального давления на смертность мужчин и женщин среднего и пожилого возраста: когортное исследование // *Экология человека*. 2020. № 9. С. 49-56. DOI: 10.33396/1728-0869-2020-9-49-56
 23. Николаев Д.В., Щелькалина С.П. Лекции по биоимпедансному анализу состава тела человека М.: РИО ЦНИИОИЗ МЗ РФ, 2016. 152 с. ISBN 5-94116-026-1
 24. Аистов А.В. Динамика индекса массы тела российских мужчин и женщин: возраст-период-когорта // *Демографическое обозрение*. 2021. Т. 8. № 1. С. 44-80. DOI: 10.17323/demreview.v8i1.12393
 25. Григорьева М.А. Динамика роста, веса и индекса массы тела реальных поколений россиян 1810-1995 годов в возрасте 18-34 лет // *Вестник экономики, права и социологии*. 2015. № 3. С. 198-202.
 26. Солонин Ю.Г. Многомесячная динамика функциональных показателей у жителей Севера // *Теория и практика современной науки*. 2016. № 11 (52). С. 33-46.
 27. Шальнова С.А., Деев А.Д., Белова О.А. [и др.] Частота сердечных сокращений и ее ассоциации с основными факторами риска в популяции мужчин и женщин трудоспособного возраста // *Рациональная фармакотерапия в кардиологии*. 2017. Т. 13. № 6. С. 819-826. DOI: 10.20996/1819-6446-2017-13-6-819-826
 28. Уварова Ю.Е. Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы у лиц зрелого возраста // *Современные проблемы науки и образования*. 2018. № 4. С. 236.
 29. Бойцов С.А., Погосова Н.В., Бубнова М.Г. [и др.] Кардиоваскулярная профилактика 2017. Российские Национальные Рекомендации // *Российский кардиологический журнал*. 2018. № 6. 122 с.
 30. Пырикова Н.В., Осипова И.В., Концевая А.В. [и др.] Клинико-экономическая эффективность организационной модели первичной профилактики сердечно-сосудистых заболеваний у работников железнодорожного транспорта // *Российский кардиологический журнал*. 2014. № 6. С. 12-14.
 31. Carnethon M., Whitsel L.P., Franklin B.A. [et al.] Worksite Wellness Programs for Cardiovascular Disease Prevention. *Circulation* 2009. 120. pp.1725-1741.
 32. Агаджанян Н.А., Ермакова Н.В. Экологический портрет человека на Севере. М.: КРУК, 1997. 208 с.
 33. Мироновская А.В., Бузинов Р.В., Гудков А.Б. Прогнозная оценка неотложной сердечно-сосудистой патологии у населения северной урбанизированной территории // *Здравоохранение Российской Федерации*. 2011. № 5. С. 66-67.
 34. Чашин В.П., Гудков А.Б., Чашин М.В., Попова О.Н. Предииктивная оценка индивидуальной восприимчивости организма человека к опасному воздействию холода. // *Экология человека*. 2017. № 5. С. 3-13.
 35. Аистов А.В. Динамика индекса массы тела российских мужчин и женщин: возраст-период-когорта // *Демографическое обозрение*. 2021. Т. 8. № 1. С. 44-80. DOI: 10.17323/demreview.v8i1.12393

References:

1. Belisheva N.K. Vklad vysokoshirotnykh geliogeofizicheskikh agentov v zabolevaemost' naselenija Evro-Arkticheskogo regiona. Vestnik Ural'skoj medicinskoj akademicheskoj nauki [Contribution of high-latitude heliogeophysical agents to the morbidity of the population of the Euro-Arctic region] *Bulletin of the Ural Medical Academic Science*, Yekaterinburg, 2014, № 2 (48), pp. 5-11. (In Russian).
2. Polikarpov L.S., Lapko A.V., Hamnagadaev I.I., Jaskevich R.A. Meteotropnye reakcii serdechno-sosudistoj sistemy i ih profilaktika [Metetropic reactions of the cardiovascular system and their prevention] Novosibirsk: Nauka, 2005, 196 p. (In Russian).
3. Martynova A.A., Prjanichnikov S.V., Mihajlov R.E., Belisheva N.K. Osobennosti variabel'nosti serdechnogo ritma u rabotnikov gornorudnogo proizvodstva Kol'skogo Zapoljar'ja. Jekologija cheloveka [Assessment of heart rate variability in workers of the mining industry of the Kola Arctic region] *Human Ecology*, 2017, no. 3, pp. 31-37. (In Russian).
4. Rozhkov V.P., Belisheva N.K., Martynova A.A., Soroko S.I. Psihofiziologicheskie i kardiogemodinamicheskie jeffekty geliogeomagnitnykh i meteorologicheskikh faktorov u cheloveka v uslovijah zapoljar'ja. Fiziologija cheloveka [Psychophysiological and cardiohemodynamic effects of heliogeomagnetic and meteorological factors in humans in the Arctic] *Human Physiology*, 2014, vol. 40, no. 4, pp. 51-64. (In Russian).
5. Belevitin A.B., Fesjun A.D., Bozhchenko A.A. [et al.] Sovremennye vzglyady na medicinskuju reabilitaciju lic opasnykh professij. Medicina katastrof. [Modern views on medical rehabilitation of persons of dangerous professions] *Medicine of catastrophes*, 2011, no. 2, pp. 14-17. (In Russian).
6. Bodurova D.F. Issledovanie adaptivnykh sposobnostej pozhar'nykh-spasatelej v uslovijah chrezvychajnykh situacij. Nauka i biznes: puti razvitija [Research of adaptive abilities of firefighters and rescuers in emergency situations] *Science and business: ways of development*, 2012, no. 6 (12), pp. 14-20. (In Russian).
7. Golokov V.A., Nikolaeva T.Ja., Sergeev S.A., Zhukovskij A.A. O sostojanii zdorov'ja sotrudnikovorganov vnutrennih del, vypolnjavshih sluzhebnye zadachi v osobykh uslovijah Severo-Kavkazskogo regiona. Jakutskij med. zhurn [On the state of health of employees of internal affairs agencies who performed official tasks in special conditions of the North Caucasus region] *Yakut medical journal*, 2010, no. 1, pp. 29-30. (In Russian).
8. Evdokimov V.I., Roldugin G.N., Marishhuk V.L. [et al.] Professional'noe zdorov'e operativnogo personala AJeS [Professional health of NPP operational personnel]. Moscow: Voronezh: Istoki, 2004, 250 p. (In Russian).
9. Martynova A.A. Features of the psychophysiological state of miners engaged in underground ore mining. [Osobennosti psihofiziologicheskogo sostojanija gornjakov, zanjatykh v podzemnykh razrabotkah rudy] *Bulletin of the Ural Medical Academic Science*, 2014, no. 2(48), pp. 76-78. (In Russian).
10. Martynova A.A., Pryanichnikov S.V., Petrashova D.A. [et al.] The psychophysiological state of the body of mining workers in high latitudes. [Psihofiziologicheskoe sostojanie organizma rabotnikov gornorudnogo proizvodstva v vysokih shirotah]. *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2011, vol. 13, no. 1-7, pp. 1783-1787.
11. Martynova A.A., Pryanichnikov S.V., Mikhailov R.E., Belisheva N.K. Osobennosti variabel'nosti serdechnogo ritma u rabotnikov gornorudnogo proizvodstva Kol'skogo Zapoljar'ja. [Features of heart rate variability in workers of mining production of the Kola polar region]. *Human Ecology*, 2017, vol. 24, no. 3, p. 31-37. (In Russian). DOI:10.33396/1728-0869-2017-3-31-37
12. Barannikov V.G., Kirichenko L.V. Osobennosti formirovanij afunktional'nogo sostojanija gornorabochih v uslovijah mikroklimate kalijnykh rudnikov. Medicina truda i promyshlennaja jekologija [Features of the formation of the functional state of miners in the microclimate of potash mines] *Occupational medicine and industrial ecology*, 2018, no. 4, pp. 19-23. (In Russian).
13. Preobrazhenskaja E.A., Suhova A.V., Zor'kina L.A [et al.] Gigienicheskaja ocenka uslovij truda i sostojanie zdorov'ja rabotnikov gorno-obogatitel'nykh kombinatov. Gigiena i sanitarija [Hygienic assessment of working conditions and the state of health of employees of mining and processing plants] *Hygiene and sanitation*, 2016, no.11, pp.1065-1070. (In Russian).
14. Doskin V.A. Test differencirovannoj samoocenki funkcional'nogo sostojanija. Voprosy psihologii [Test of differentiated self-assessment of a functional state] *Questions of psychology*, 1973, no. 6, pp.141-145. (In Russian).
15. Eliseev O.P. *Praktikum po psihologii lichnosti*, 2-e izd., ispr. i pererab [Practicum on

- personality psychology, 2nd ed., ispr. and reprinted in St. Petersburg] St. Petersburg, 2002, 512 p. (In Russian).
16. Nikolaev D.V., Smirnov A.V., Bobrinskaja I.G., Rudnev S.G. Bioimpedansnyj analiz sostava tela cheloveka [Bioimpedance analysis of the human body condition] Moscow: Nauka, 2009, 392 p. (In Russian).
 17. Pavlenkovich S.S. Kompleksnyj kontrol' funkcional'nogo sostojanija sportsmenov: uchebno-metodicheskoe posobie dlja studentov Instituta fizicheskoj kul'tury i sporta. [Comprehensive control of the functional state of athletes: an educational and methodological guide for students of the Institute of Physical Culture and Sports] Saratov, Publishing House of Saratov State University, 2019, 52 p. (In Russian).
 18. Petrash M.D., Grebennikov V.A. Osobennosti vegetativno jreguljicii privozdeystvii povsednevnyh stressorov: vozrastno-polovojaspect. Internet-zhurnal «Mir nauki» [The validity of vegetative regulation in the event of side effects: age-field aspect] Online magazine "World of Science", 2018, no. 6, <https://mir-nauki.com/PDF/64PSMN618.pdf> (In Russian).
 19. Balljuzek M.F. Vozrastnye osobennosti strukturno-funkcional'nogo sostojanija i vegetativnoj reguljicii serdechno-sosudistoj sistemy i metody ih ocenki. Uspehi gerontologii [Age-related features of the structural and functional state and vegetative regulation of the cardiovascular system and methods of their assessment] *Successes of gerontology*, 2005, no. 17, pp. 050-054. (In Russian).
 20. Varlamova N.G. Arterial'noe davlenie u muzhchin i zhenshin Severa. Izvestija Komi nauchnogo centra UrO RAN [Arterial pressure in men and women of the North] *News of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2011, № 4 (8), pp. 52-55. (In Russian).
 21. Gyrgol'kau, L.A. Urovni arterial'nogo davlenija i chastota arterial'noj gipertenzii u korennyh zhitelej Chukotki. Bjulleten' Sibirskogo otdelenija Rossijskoj akademii medicinskih nauk [Blood pressure levels and the frequency of arterial hypertension in the indigenous inhabitants of Chukotka] *Bulletin of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences*, 2010, vol. 30, no. 3, pp. 58-63. (In Russian).
 22. Imaeva A.E., Balanova Yu.A., Kapustina A.V. [et al.] Vlijanie arterial'nogo davlenija na smertnost' muzhchin i zhenshin srednego i pozhilogo vozrasta: kogortnoe issledovanie. Jekologija cheloveka [The effect of blood pressure on mortality in middle-aged and elderly men and women: cohort study] *Human Ecology*, 2020, no. 9, pp. 49-56. (In Russian). DOI: 10.33396/1728-0869-2020-9-49-56.
 23. Nikolaev D.V., Shhelykalina S.P. *Lekcii po bioimpedansnomu analizu sostava tela cheloveka* [Lectures on bioimpedance analysis of human body composition]. Moscow, RIONIZMZRБ, 2016, 152 p. ISBN: 5-94116-026-1 (In Russian).
 24. Aistov A.V. Dinamika indeksa massy tela rossijskih muzhchin i zhenshin: vozrast-period-kogorta. *Demograficheskoe obozrenie* [Dynamics of the body mass index of Russian men and women: age-period-cohort] *Demographic review*, 2021, vol. 8, no. 1, pp. 44-80. (In Russian). DOI: 10.17323/demreview.v8i1.12393
 25. Grigor'eva M.A. Dinamika rosta, vesa i indeksa massy tela real'nyh pokolenij rossijan 1810-1995 godov v vozraste 18-34 let. *Vestnik jekonomiki, prava i sociologii* [Dynamics of height, weight and body mass index of real generations of Russians in 1810-1995 at the age of 18-34 years] *Bulletin of Economics, Law and Sociology*, 2015, no. 3, pp. 198-202. (In Russian).
 26. Solonin Ju.G. Mnogomesjachnaja dinamika funkcional'nyh pokazatelej u zhitelej Severa. Teorija i praktika sovremennoj nauki [The multi-month dynamics of functional indicators in the inhabitants of the North] *Theory and practice of modern science*, 2016, № 11 (52), pp. 33-46. (In Russian).
 27. Shal'nova S.A., Deev A.D., Belova O.A. [et al.] Chastota serdechnykh sokrashhenij i ee asociacii s osnovnymi faktorami riska v populjicii muzhchin i zhenshin trudosposobnogo vozrasta. Racional'naja farmakoterapija v kardiologii [Heart rate and its associations with the main risk factors in the population of men and women of working age] *Rational pharmacotherapy in cardiology*, 2017, vol. 13, no. 6, pp. 819-826. (In Russian). DOI:10.20996/1819-6446-2017-13-6-819-826
 28. Uvarova Ju.E. Funkcional'noe sostojanie serdechno-sosudistoj sistemy u lic zrelogo vozrasta. Sovremennye problemy nauki i obrazovanija [The functional state of the cardiovascular system in adults] *Modern problems of science and education*, 2018, no. 4, p. 236. (In Russian).
 29. Bojcov S.A., Pogosova N.V., Bubnova M.G. [et al.] Kardiovaskuljarnaja profilaktika 2017. Rossijskie Nacional'nye Rekomendacii. *Rossijskij kardiologicheskij zhurnal* [Cardiovascular prevention 2017. Russian National Recommendations] *Russian Journal of Cardiology*, № 6, 2018, pp. 7-122. (In Russian).

30. Pyrikova N.V., Osipova I.V., Koncevaja A.V. [et al.] Kliniko-jekonomicheskaja jeffektivnost' organizacionnoj modeli pervichnoj profilaktiki serdechno-sosudistyh zabolovanij u rabotnikov zheleznodorozhnogo transporta. Rossijskij kardiologicheskij zhurnal [Clinical and economic efficiency of the organizational model of primary prevention of cardiovascular diseases in railway transport workers] *Russian Journal of Cardiology*, 2014, № 6, p. 12-14. (In Russian).
31. Carneton M., Whitsell L.P., Franklin B.A. [et al.] Wellness programs in the workplace for the prevention of cardiovascular diseases. *Circulation*, 2009, 120, pp. 1725-1741.
32. Agadzhanjan N.A., Ermakova N.V. Jekologicheskij portret cheloveka na Severe [Ecological portrait of a man in the North]. Moscow, KRUK, 1997, 208 p. (In Russian).
33. Mironovskaja A.V., Buzinov R.V., Gudkov A.B. Prognoznaja ocenka neotlozhnoj serdechno-sosudistoj patologii u naselenija severnoj urbanizirovannoj territorii. [Prognostic assessment of urgent cardiovascular pathology in the population of the northern urbanized territory] *Healthcare of the Russian Federation*, 2011, no. 5, pp. 66-67. (In Russian).
34. Chashhin V.P., Gudkov A.B., Chashhin M.V., Popova O.N. Prediktivnaja ocenka individual'noj vospriimchivosti organizma cheloveka k opasnomu vozdeystviyu holoda [Predictive assessment of the individual susceptibility of the human body to the dangerous effects of cold] *Human ecology*, 2017, no. 5, pp. 3-13. (In Russian).
35. Aistov A.V. Dinamika indeksa massy tela rossijskih muzhchin i zhenshin: vozrast-period-kogorta. [Dynamics of the body mass index of Russian men and women: age-period-cohort] *Demographic review*, 2021, vol. 8, no. 1, pp. 44-80. (In Russian). DOI: 10.17323/demreview.v8i1.12393

Научная статья

УДК 556.113

DOI: 10.24412/2658-4255-2024-1-62-70



EDN: RRUJHY

Для цитирования:

Гурулев А.А., Бордонский Г.С.
Холодная вода и ее влияние
на электромагнитные свойства
криосферных объектов //
Российская Арктика. 2024.
Т. 6. № 1. С. 62-70.
<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-1-62-70>

Получена: 07.02.2024
Принята: 15.03.2024
Опубликована: 29.03.2024

For citation:

Gurulev A.A., Bordonskiy G.S.
Cold water and its effect on the
electromagnetic properties of
cryospheric objects. Russian
Arctic, 2024, vol. 6, no. 1,
pp. 62-70. (In Russian).
<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-1-62-70>

Финансирование.

Исследование не имело
спонсорской поддержки

**ХОЛОДНАЯ ВОДА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА КРИОСФЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ**А.А. Гурулев* , Г.С. Бордонский 

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия

E-mail: *lgc255@mail.ru**Аннотация**

В Арктической зоне широко распространена жидкая фаза воды в интервале температур $+4^{\circ}\text{C} \dots -70^{\circ}\text{C}$, где наблюдаются аномальные свойства объемной воды. Расположенную в этом диапазоне температур воду следует выделить в особый объект – холодную воду. Одним из примеров ее аномальных свойств является существование особой точки при температуре -45°C , где наблюдаются аномалии теплоемкости, коэффициента объемного расширения, скорости звука и адиабатической сжимаемости. Холодная вода может существовать в пористых природных средах. По этой причине, исследование электромагнитных характеристик увлажненных дисперсных сред при отрицательной температуре является актуальной задачей. В данной работе рассмотрены особенности электромагнитных характеристик увлажненных дисперсных сред в интервале температур $+4^{\circ}\text{C} \dots -70^{\circ}\text{C}$. Приведенные в работе результаты исследований различными методами, в том числе и при дистанционном зондировании Арктики из космоса, представляют интерес для изучения объектов криосферы, гидросферы и биосферы в переохлажденном состоянии и вблизи температуры замерзания воды.

Ключевые слова: холодная вода, аномалии физических характеристик, электромагнитные характеристики, микроволновый диапазон, дистанционное зондирование

COLD WATER AND ITS EFFECT ON THE ELECTROMAGNETIC PROPERTIES OF CRYOSPHERIC OBJECTSА.А. Gurulev* , Bordonskiy G.S. 

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia

E-mail: *lgc255@mail.ru**Abstract**

In the Arctic zone, the liquid phase of water is widespread in the temperature range of $+4^{\circ}\text{C} \dots -70^{\circ}\text{C}$, where anomalous properties of bulk water are observed. Water located in this temperature range should be classified as a special class of object – cold water. One example of its anomalous properties is the existence of a particular point at a temperature of -45°C , where anomalies in heat capacity, volumetric expansion coefficient, sound speed and adiabatic compressibility are observed. Cold water can exist in porous natural media. For this reason, the study of the electromagnetic characteristics of moistened dispersed media at negative temperatures is an urgent task. This work examines the features of the electromagnetic characteristics of moistened dispersed media in the temperature range $+4^{\circ}\text{C} \dots -70^{\circ}\text{C}$. The results of research presented in the work using various methods, including remote sensing of the Arctic from space, are of interest for studying objects of the cryosphere, hydrosphere and biosphere in a supercooled state and near the freezing point of water.

Keywords: cold water, anomalies of physical characteristics, electromagnetic characteristics, microwave range, remote sensing

Введение

Дистанционное зондирование Земли из космоса, в широком диапазоне частот позволяет решать ряд практических задач [1-3]. Не исключением является и мониторинг водных объектов и увлажненных природных дисперсных сред с искусственных спутников Земли. Особое внимание уделяется вопросам мониторинга арктической зоны России, что связано с развитием Северного морского пути, освоением месторождений в Арктике и Субарктике, а также с климатическими изменениями, происходящими на Земле, а именно - потеплением климата (примером может служить работа [4]). В 2021 и в 2023 годах были запущены спутники серии Арктика-М для выполнения вышеперечисленных задач [5]. Также есть ряд и других космических аппаратов, которые исследуют Арктическую и Субарктическую зоны России [6-7].

Для анализа получаемой информации активными или пассивными дистанционными методами необходимы знания об электромагнитных свойствах исследуемых объектов. Природные объекты состоят из смеси различных веществ, включающих в себя жидкую и твердую фазу. Для пористых сред (растительность, грунты и т.д.) характерной особенностью является заполнение пор водой. По своим свойствам поровая вода во многих случаях обладает свойствами объемной воды, что показано в работах [8-9]. Однако следует учитывать размер пор. Так, при диаметре пор меньше 2 нм, вода не будет обладать свойствами, присущими физическим свойствам объемной воды, в частности, объемной плотности. Данный эффект связывается с взаимодействием поверхности тела с молекулами воды [9].

Особенностью поровой воды является тот факт, что температура кристаллизации воды намного ниже температуры фазового перехода вода-лед при нормальном атмосферном давлении. Данное значение зависит от размеров пор и определяется из модифицированного уравнения Гиббса-Томсона [10]. Так, при размерах пор в виде цилиндров диаметром 2 нм температура фазового перехода лёд-вода составляет около -80°C [11]. Таким образом, температура воды в незамерзшем состоянии в Арктической зоне может находиться в довольно широком температурном интервале: от положительных (вода в свободном пространстве) и до довольно низких температур (вода в поровом пространстве). По этой причине знание электромагнитных свойств воды и, прежде всего, диэлектрической проницаемости в широком интервале частот, при отрицательных температурах является актуальной задачей.

Как известно, у воды есть ряд аномальных характеристик, например, значение максимальной плотности, которое достигается при нормальном атмосферном давлении при температуре $+4^{\circ}\text{C}$. В настоящее время известны 65 аномалий физико-химических свойств воды. Наибольшее признание для их объяснения получила двухструктурная модель воды, в которой структура жидкости представляется состоящей из двух видов кластеров LDL (low density liquid – вода низкой плотности) и HDL (high density liquid – вода высокой плотности) [12]. В новой модели, в отличие от предшествующих, кластеры непрерывно перестраиваются на пикосекундных временах и все свойства воды определяются взаимодействиями между кластерами.

Наиболее яркие аномалии воды проявляются для переохлажденной воды. Примером является открытие второй критической точки LLCP (liquid-liquid critical point) фазового перехода между LDL и HDL вблизи температуры -60°C и давлении ~ 100 МПа (точное значение этих параметров пока не установлено из-за больших экспериментальных трудностей). Со второй критической точкой связана расположенная в фазовом пространстве «давление-температура» линия Видома – локус повышенных флуктуаций энтропии и плотности [13]. Экспериментально установлено резкое возрастание значений ряда физических величин воды при приближении к линии Видома, например, теплоемкости при постоянном давлении, коэффициента объемного расширения, адиабатической сжимаемости и скорости звука. При давлении вблизи нормального атмосферного давления температура на линии Видома равна -45°C .

Влияние взаимодействия между двумя жидкостями высокой и низкой плотности сказывается и на электромагнитных свойствах. В работе [14] исследована взаимосвязь между макроскопической и микроскопической динамикой релаксации воды до терагерцовых частот и доказано наличие двух жидких форм в воде. В результате полученных данных была построена новая температурная модель диэлектрической проницаемости воды в широком частотном и температурном интервале. Однако представленная модель описывает диэлектрические характеристики воды в интервале от -5°C до температуры ее кипения при нормальном атмосферном давлении, что является недостатком теории, которая не позволяет дать описание глубоко переохлажденной воды.

Теоретические вопросы, связанные с холодной водой

Аномалии переохлажденной воды можно объединить в одну группу с общим свойством: а именно, с зависимостью плотности воды от температуры, которая в интервале от $+4^{\circ}\text{C}$ до -70°C уменьшается при охлаждении флюида. Этот температурный интервал охватывает как область переохлаждения, так и некоторый интервал положительных температур. Поэтому воду для температур ниже $+4^{\circ}\text{C}$ и выше -70°C можно объединить по данному признаку: $dp/dT > 0$ в один объект, который будем называть «холодная вода» (здесь dp/dT производная плотности по температуре) - рис.1. На рис. 1 область положительного значения производной плотности воды от термодинамической температуры выделена зеленым цветом. Штриховой линией на графике представлено поведение плотности обычной жидкости в зависимости от ее температуры. Как видно из рис. 1, температурная зависимость плотности холодной воды существенно отличается от поведения обычной жидкости, которая не обладает аномальными физико-химическими свойствами. Эта идея в неявной форме была высказана в работе [15].

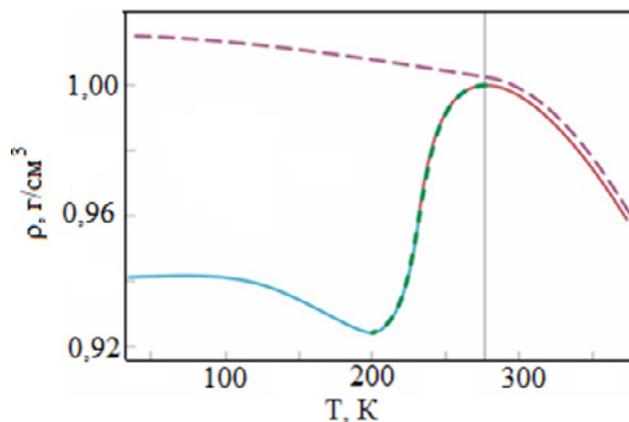


Рисунок 1. Зависимость плотности объемной воды в области температур, где проявляются ее наиболее яркие аномалии (на данном рисунке при давлении 0,1 МПа)

Холодная вода широко распространена на земной поверхности и в нижней атмосфере, она принимает участие в многочисленных биосферных процессах. Знание ее аномальных свойств по этой причине представляет большой интерес для развития методов дистанционного зондирования природной среды, а также объектов, состоящих из искусственных сред. Кроме уже известных аномалий тепловых и акустических величин в работах [16-17] было впервые обращено внимание на существование электрофизических аномалий холодной воды, в том числе в микроволновом диапазоне (например, диэлектрической проницаемости льдов на контактах с другими средами). Эти аномалии позволяют предложить новые методы бесконтактных электромагнитных измерений, в том числе с использованием аэрокосмических измерений и лабораторных методик интроскопии.

Для холодной воды можно выделить ряд особых температурных точек, которые были обнаружены в экспериментах или при компьютерном моделировании. На рис. 2 представлены известные и недавно обнаруженные особые температурные точки холодной воды.

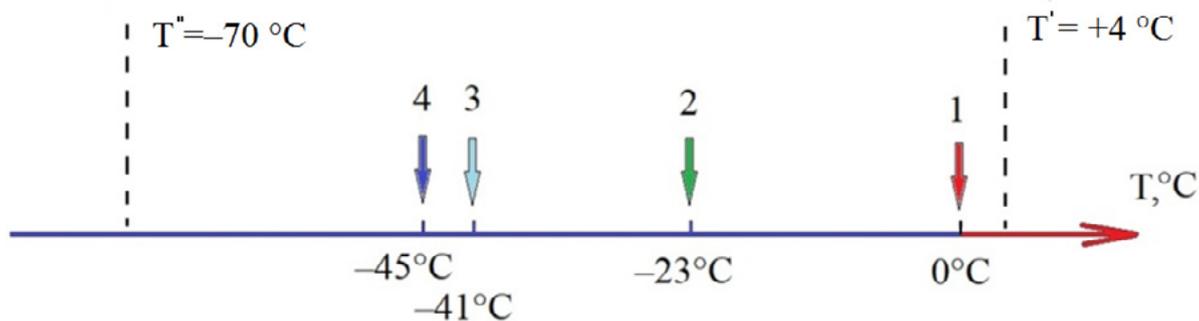


Рисунок 2. Особые температурные точки холодной воды (при давлении 0,1 МПа) в интервале $+4^{\circ}\text{C}$... -70°C . 1 – точка перехода жидкость – твердое тело, 2 – граница образования льда 0 из переохлажденной воды, 3 – температура гомогенной нуклеации, 4 – точка на линии Видома, исходящей из второй критической точки

Они представляют интерес для более тщательного изучения поведения разнообразных физико-химических величин в их окрестности. Кроме того, в интервалах между отмеченными температурами можно ожидать открытие новых физических особенностей холодной воды. Это связано с тем, что по результатам теоретических исследований в данной области температур наблюдается переход от преобладающих концентраций двух видов кластеров воды LDL и HDL – рис. 3.

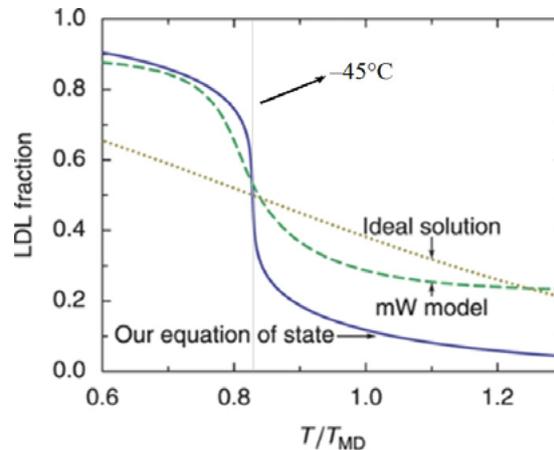


Рисунок 3. Концентрации LDL, HDL в зависимости от температуры по данным из работы [18]; температура нормирована на температуру замерзания воды при нормальном атмосферном давлении. (Ideal solution – идеальная смесь, mW – известная компьютерная модель для расчетов структуры воды, Our equation of state – уравнение состояния авторов из статьи [18])

Точка $+4^{\circ}\text{C}$ – максимум плотности воды; температура -23°C (точка 2 на рис. 2) соответствует точке фазового превращения воды в лед 0, кристаллическую модификацию льда, элементарная решетка которого состоит из 12 молекул воды. Лед 0 был открыт при компьютерном моделировании [19] и его существование впервые экспериментально подтверждено в работе [20]. Этот лед является сегнетоэлектриком, что позволило предложить оригинальный метод его обнаружения.

На рис. 2 выделены также следующие характерные температуры. 1 – точка перехода жидкость–твердое тело при нормальном атмосферном давлении. Точка 3 характеризует температуру гомогенной нуклеации, которая характеризует для воды без примесей температуру кристаллизации, которая происходит за счет флуктуационного образования зародышей кристаллов льда. Данная температура принимает значение около -41°C ... -42°C . Однако в работе [21] обнаружена жидкая фаза воды в туманах над Гренландией при более низких температурах, чем температура гомогенной нуклеации воды, а в работе [22] при использовании метода испарения капель воды микронных размеров в вакууме удалось достичь температуры -46°C . 4 – температура, расположенная на линии Видома, исходящей из второй критической точки. Физико-химические свойства холодной воды в крайних точках интервала практически не исследованы, особенно для температуры -70°C .

Предлагаемые методики электромагнитных измерений сред, содержащих холодную воду и некоторые полученные результаты

На основании методики выявления льда 0, связанной со свойством этого льда образовывать на контакте с диэлектриком высоко проводящие слои и резко изменять микроволновые характеристики дисперсных сред, была предложена новая дистанционная методика обнаружения ледяных частиц нанометровых диаметров в разряженной атмосфере. Эта методика основана на возникновении сверхтонких высоко проводящих слоев на границе сегнетоэлектрического льда 0 с любым другим диэлектриком. Такой эффект первоначально исследовали в работе [23]. В наибольшей степени он проявляется при распространении микроволнового излучения через ансамбль нано или микрочастиц, покрытых льдом 0. При этом была высказана гипотеза о причинах свечения «серебристых» облаков, появляющихся в мезосфере на высотах 80 км...90 км [24]. В приземных областях признаки льда 0 были обнаружены в ветках сосны при циклических суточных изменениях температуры воздуха, если имеет место переход через значение -23°C [25].

Кроме зондирования статических объектов, свойства которых мало изменяются за время наблюдений, были обнаружены динамические явления в ледяных структурах при механических напряжениях, приводящих к пластической деформации объекта.

Оказалось, что в таких системах возникает процесс самоорганизации и появляются волны пластической деформации. Их характерные длины в пресном поликристаллическом льде – 0,8 см...2 см. Они были зарегистрированы в специальных экспериментах по радиопросвечиванию как природного ледяного покрова, так и образцов льда в лабораторных условиях. На основании выполненных экспериментальных работ был предложен метод радарного определения подготовки схода ледников при измерениях с использованием аппаратуры, установленной на космических аппаратах [26]. Идея метода заключается в том, что образовавшиеся волны течения состоят из чередующихся кристаллических и аморфных областей, из которых характеристики последних близки к холодной воде. Следовательно, такие волны течения создают дифракционные решетки, рассеивающие внешние излучения.

Исследованы также некоторые химические превращения растворов в порах силикатных материалах при температурах от 0 °С до –60 °С. Сорбенты использовали для получения глубокого переохлаждения поровой воды. При значениях температуры исследуемой среды около –45 °С наблюдали заметное изменение скорости химических реакций, например хемосорбции водорода (рис. 4), разложения йодистого калия и пероксида водорода (рис. 5). При опытах использовали методики спектроскопических измерений, проходящего через образцы микроволнового излучения, в сантиметровом и миллиметровом диапазонах. Теоретическое обоснование результатов было представлено в работе [27].

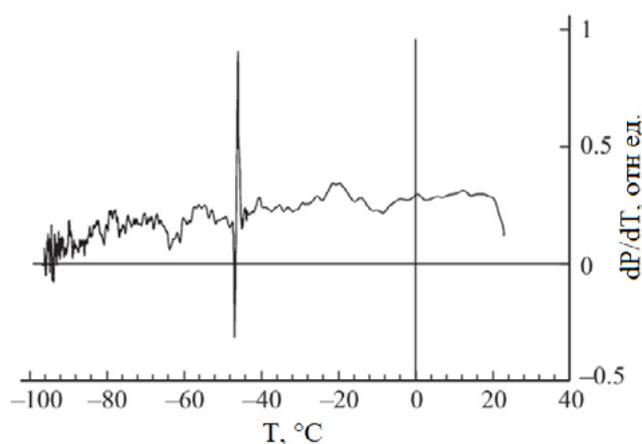


Рисунок 4. Изменение производной проходящей мощности микроволнового излучения (P) на частоте 34 ГГц через образец слабо увлажненного силикагеля, находящегося в атмосфере водорода, в зависимости от температуры

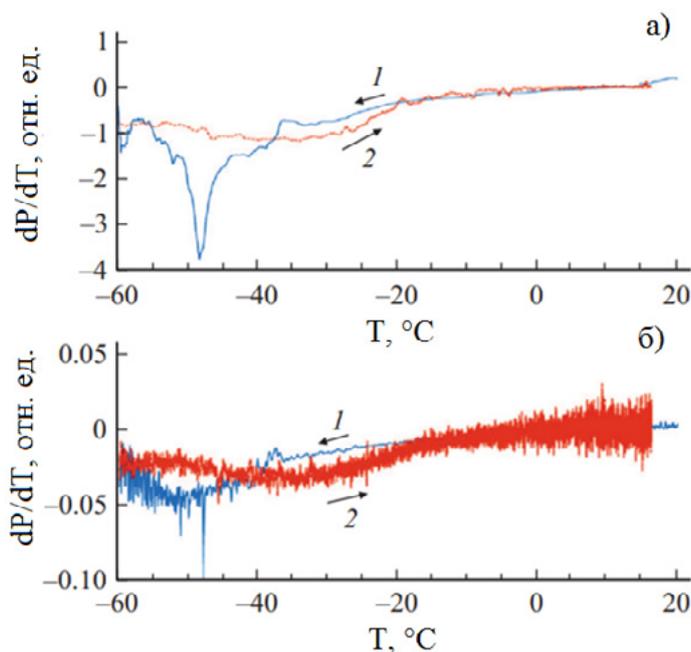


Рисунок 5. а – зависимость производной отраженной мощности микроволнового излучения от температуры образца, увлажненного раствором гидроперита, при усреднении в 1000 точках. б – аналогичная зависимость для другого образца при усреднении по 500 точкам. 1 – для участка охлаждения, 2 – для участка нагревания. Стрелками показано направление изменения температуры

Выводы

Выделение особого объекта «холодная вода» представляется перспективным для выбора направлений исследования по поиску новых необычных свойств воды в криосфере, гидросфере и биосфере. В настоящее время слабо исследованы разнообразные электрофизические, в том числе микроволновые характеристики природных и искусственных образований, содержащие холодную воду, которые могут быть использованы при разработке новых методов аэрокосмического дистанционного зондирования в Арктике и Субарктике. Здесь можно выделить верхний интервал температур холодной воды от 0 до 4 градусов Цельсия, физико-химические особенности воды, в котором практически не исследованы. То же для других интервалов температур, например, для $-45...-70$ градусов Цельсия. Такая задача важна для полярных районов планеты. Кроме задач дистанционного зондирования, например, мониторинга природной среды интересны проблемы спектроскопии материалов и интроскопии, поскольку имеется много вопросов о поведении холодной воды и ее растворов в природных и искусственных средах. Характеристики холодной воды интересны не только для исследований сред в земных условиях, но и для зондирования холодных планет и их спутников Солнечной Системы.

Список литературы:

1. Костяной А.Г., Костяная Е.А., Лаврова О.Ю. Спутниковый мониторинг ледяного покрова в районе Керченского пролива // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 6. С. 195-204. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-6-195-204
2. Loupian E.A., Lozin D.V., Balashov I.V., Bartalev S.A., Stytsenko F.V. A study of the dependence of the degree of forest damage by fires on the intensity of burning according to satellite-monitoring data // Cosmic Research. 2022. Vol. 60. Issue S1. P. S46-S56. DOI: 10.1134/s001095252270006x
3. Лупян Е.А., Константинова А.М., Кашницкий А.В., Ермаков Д.М., Саворский В.П., Панова О.Ю., Бриль А.А. Возможности организации долговременного дистанционного мониторинга крупных источников антропогенных загрязнений для оценки их влияния на окружающую среду // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 1. С. 193-213. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-193-213
4. Репина И.А., Тихонов В.В. Снежицы на поверхности льда в летний период и их связь с климатическими изменениями в Арктике // Российская Арктика. 2018. № 2. С. 15-30. DOI: 10.24411/2658-4255-2018-00015
5. Асмус В.В., Милехин О.Е., Крамарева Л.С., Хайлов М.Н., Ширшаков А.Е., Шумаков И.А. Первая в мире высокоэллиптическая гидрометеорологическая космическая система «Арктика-М» // Метеорология и гидрология. 2021. № 12. С. 11-26. DOI: 10.52002/0130-2906-2021-12-11-26
6. Алексеева Т.А., Соколова Ю.В., Тихонов В.В., Смоляницкий В.М., Афанасьева Е.В., Раев М.Д., Шарков Е.А. Анализ областей морского льда в северном ледовитом океане, неопределяемых алгоритмом ASI по данным спутниковой микроволновой радиометрии // Исследование Земли из космоса. 2021. № 6. С. 22-38. DOI: 10.31857/S0205961421060026
7. Emery W., Camps A. Introduction to Satellite Remote Sensing: Atmosphere, Ocean, Land and Cryosphere Application. Elsevier Inc., 2017. 856 p.
8. Castrillón R.-V.S., Giovambattista N., Aksay I. A., Debenedetti, P. G. Structure and Energetics of Thin Film Water // The Journal of Physical Chemistry C. 2011. Vol. 115. Issue 11. P. 4624–4635. DOI: 10.1021/jp1083967
9. Almeida A.B., Buldyrev S.V., Alencar A.M., Giovambattista N. How Small Is Too Small for the Capillarity Theory? // The Journal of Physical Chemistry C. 2021. Vol. 125. Issue 9. P. 5335–5348. DOI: 10.1021/acs.jpcc.0c11140
10. Schreiber A., Kotelsen I., Findenegg G.H. Melting and freezing of water in ordered mesoporous silica materials // Phys. Chem. Chem. Phys. 2001. Vol. 3. P. 1185-1195. DOI: 10.1039/b010086m
11. Limmer D.T., Chandler D. Phase diagram of supercooled water confined to hydrophilic nanopores // J. Chem. Phys. 2012. Vol. 137. P. 044509/11. DOI: 10.1063/1.4737907
12. Johari G. P., Teixeira J. Thermodynamic Analysis of the Two-Liquid Model for Anomalies of Water, HDL–LDL Fluctuations, and Liquid–Liquid Transition // The Journal of Physical Chemistry B. 2015. Vol. 119. Issue 44. P. 14210–14220. DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b06458

13. Perakis F., Amann-Winkel K., Lehmkuhl F., Sprung M., Mariedahla D. [et al.] Diffusive dynamics during the high- to low-density transition in amorphous ices // Proc. Natl. Acad. Sci. 2017. Vol. 114. P. 8193–8198. DOI: 10.1073/pnas.1705303114
14. Vinh N.Q., Doan L.C., Hoang N.L.H., Cui J.R., Sindle B. Correlation between macroscopic and microscopic relaxation dynamics of water: Evidence for two liquid forms // J Chem Phys. 2023. Vol. 158. Issue 20. P. 204507. DOI: 10.1063/5.0142818
15. Анисимов М.А. Холодная и переохлажденная вода как необычный сверхкритический флюид // Сверхкритические флюиды: теория и практика. 2012. Т. 7. № 2. С.19-37.
16. Бордонский Г.С., Орлов А.О., Хапин Ю.Б. Коэффициент затухания и диэлектрическая проницаемость переохлажденной объемной воды в интервале температур 0...–90 °С на частотах 11...140 ГГц // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 3. С. 255-270.
17. Бордонский Г.С., Крылов С.Д., Гурулев А.А. Лед 0 в природной среде. Экспериментальные данные и предполагаемые области его существования // Лед и снег. 2020. Т. 60. № 2. С. 263-273. DOI: 10.31857/S2076673420020039
18. Holten V., Anisimov M.A. Entropy-driven liquid-liquid separation in supercooled water // Scientific Reports. 2012. Vol. 2. SP. 713. 7 p. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep00713>
19. Russo J., Romano F., Tanaka Y. New metastable form of ice and its role in the homogenous crystallization of water// Nature Materials. 2014. Vol. 13. Issue 7. P. 733-739. DOI: 10.1038/nmat3977
20. Бордонский Г.С., Орлов А.О. Признаки возникновения льда 0 в увлажненных нанопористых средах при электромагнитных измерениях // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2017. Т. 105. № 8. С. 483-488.
21. Cox C.J., Noone D.C., Berkelhammer M., Shupe M.D., Neff W.D., Miller N.B., Walden V.P., Steffen K.: Supercooled liquid fogs over the central Greenland Ice Sheet // Atmospheric Chemistry and Physics. 2019. Vol. 19. P. 7467–7485. DOI: 10.5194/acp-19-7467-2019
22. Sellberg J.A., Huang C., McQueen T.A., Loh N.D., Laksmono H. [et al.] Ultrafast X-ray probing of water structure below the homogeneous ice nucleation temperature // Nature. 2014. Vol.19. Issue 510. P.381-384. DOI: 10.1038/nature13266
23. Korobeynikov S.M., Melekhov A.V., Soloveitchik Yu.G., Royak M.E., Agoris D.P., Pyrgioti E. Surface conductivity at the interface between ceramics and transformer oil // Journ. of Physics. D: Applied Physics. 2005. Vol. 38. Issue 6. P. 915-921. DOI: 10.1088/0022-3727/38/6/021
24. Bordonskiy G.S., Gurulev A.A., Orlov A.O., Tsyrenzhapov S.V. Methods of microwave radiometric studies of mesospheric clouds // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 26. «26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics» 2020. P. 115601S. DOI: 10.1117/12.2575543
25. Бордонский Г.С., Гурулев А.А., Орлов А.О., Цыренжапов С.Б. Вариации микроволновых потерь в ветках сосны при отрицательных температурах // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 5. С. 120-129. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-5-120-129
26. Патент № 2742051 С1 РФ, МПК G01S 13/02. Способ определения начальной стадии деформации наблюдаемого с космического аппарата ледника / А.А. Гурулев, Г.С. Бордонский, А.О. Орлов. № 2020104654: заявл. 31.01.2020: опубл. 02.02.2021
27. Бордонский Г.С., Гурулев А.А. О физико-химических превращениях с участием воды вблизи температуры –45°С // Конденсированные среды и межфазные границы. 2019. Т.21. № 4. С.478-489. DOI: 10.17308/kcmf.2019.21/2359

References:

1. Kostianoy A.G., Kostianaia E.A., Lavrova O.Yu. Sputnikovyy monitoring ledjanogo pokrova v rajone Kerchenskogo proliva [Satellite monitoring of the ice cover in the area of the Kerch Strait]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa*, 2022, vol. 19, no. 6, pp. 195-204. (In Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-6-195-204
2. Loupian E.A., Lozin D.V., Balashov I.V., Bartalev S.A., Stytsenko F.V. A study of the dependence of the degree of forest damage by fires on the intensity of burning according to satellite-monitoring data. *Cosmic Research*, 2022, vol. 60, issue S1, pp. S46-S56. DOI: 10.1134/s001095252270006x

3. Loupian E.A., Konstantinova A.M., Kashnitskii A.V., Ermakov D.M., Savorskiy V.P., Panova O.Yu., Bril A.A. Vozmozhnosti organizacii dolgovremennogo distantsionnogo monitoringa krupnyh istochnikov antropogennyh zagryaznenij dlja ocenki ih vlijanija na okruzhajushhuyu sredu [The possibilities of organizing long-term remote monitoring of large sources of anthropogenic pollution to assess their impact on the environment]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa*, 2022, vol. 19, no. 1, pp. 193-213. (In Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-193-213
4. Repina I.A., Tikhonov V.V. Melt pond on the sea ice surface during summer and its connection with Arctic climate change. *Russian Arctic*, 2018, no. 2., pp. 15-30. (In Russian). DOI: 10.24411/2658-4255-2018-00015
5. Asmus V.V., Milekhin O.E., Kramareva L.S., Khailov M.N., Shirshakov A.E., Shumakov I.A. Arktika-M: the world's first highly elliptical orbit hydrometeorological space system. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2021, vol. 46, issue 12, pp. 805-816. DOI: 10.3103/S1068373921120013
6. Alekseeva T.A., Sokolova J.V., Tikhonov V.V., Smolyanitsky V.M., Afanasyeva E.V., Raev M.D., Sharkov E.A. Analiz oblastej morskogo l'da v Severnom Ledovitom Okeane, neopredeljaemyh algoritmom ASI po dannym sputnikovoj mikrovolnovoj radiometrii [Analysis of sea ice areas undetectable by satellite microwave radiometry (ASI algorithm) in the Arctic Ocean]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2021, no. 6, pp. 22-38. (In Russian). DOI: 10.31857/S0205961421060026
7. Emery W., Camps A. Introduction to Satellite Remote Sensing: Atmosphere, Ocean, Land and Cryosphere Application. Elsevier Inc., 2017, 856 p.
8. Castrillón R.-V.S., Giovambattista N., Aksay I. A., Debenedetti, P. G. Structure and Energetics of Thin Film Water. *The Journal of Physical Chemistry C*, 2011, vol. 115, issue 11, pp. 4624–4635. DOI: 10.1021/jp1083967
9. Almeida A.B., Buldyrev S.V., Alencar A.M., Giovambattista N. How Small Is Too Small for the Capillarity Theory? *The Journal of Physical Chemistry C*, 2021, vol. 125, issue 9, pp. 5335–5348. DOI: 10.1021/acs.jpcc.0c11140
10. Schreiber A., Kotelsen I., Findenegg G.H. Melting and freezing of water in ordered mesoporous silica materials. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2001, vol. 3, pp. 1185-1195. DOI: 10.1039/b010086m
11. Limmer D.T., Chandler D. Phase diagram of supercooled water confined to hydrophilic nanopores. *J. Chem. Phys*, 2012, vol. 137, pp. 044509/11. DOI: 10.1063/1.4737907
12. Johari G. P., Teixeira J. Thermodynamic Analysis of the Two-Liquid Model for Anomalies of Water, HDL–LDL Fluctuations, and Liquid–Liquid Transition. *The Journal of Physical Chemistry B*, 2015, vol. 119, issue 44, pp. 14210–14220. DOI:10.1021/acs.jpcc.5b06458
13. Perakis F., Amann-Winkel K., Lehmkuhl F., Sprung M., Mariedahla D. [et al.] Diffusive dynamics during the high- to low-density transition in amorphous ices. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 2017, vol. 114, pp. 8193–8198. DOI: 10.1073/pnas.1705303114
14. Vinh N.Q., Doan L.C., Hoang N.L.H., Cui J.R., Sindle B. Correlation between macroscopic and microscopic relaxation dynamics of water: Evidence for two liquid forms. *J. Chem. Phys.*, 2023, vol. 158, issue 20, pp. 204507. DOI: 10.1063/5.0142818
15. Anisimov M.A. Holodnaja i pereohlazhdennaja voda kak neobychnyj sverhkriticheskij fljuid [Cold and supercooled water: a novel supercritical-fluid solvent]. *Sverhkriticheskie fljuidy: teorija i praktika*, 2012, vol. 7, no. 2, pp.19-37. (In Russian).
16. Bordonskiy G.S., Orlov A.O., Khapin Yu.B. Attenuation coefficient and dielectric permittivity of supercooled volume water in the temperature range 0...–90 °C at frequencies 11...140 GHz. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa*, 2017, vol. 14, no. 3, pp. 255-270. (In Russian).
17. Bordonskiy G.S., Krylov S.D., Gurulev A.A. Led 0 v prirodnoj srede. jeksperimentalnye dannye i predpolagaemye oblasti ego sushhestvovanija [Ice 0 in the natural environment. experimental data and assumed areas of its existence]. *Led i sneg*, 2020, vol. 60, no. 2. pp. 263-273. (In Russian). DOI: 10.31857/S2076673420020039
18. Holten V., Anisimov M.A. Entropy-driven liquid-liquid separation in supercooled water. *Scientific Reports*, 2012, vol. 2, sp. 713, 7 p. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep00713>
19. Russo J., Romano F., Tanaka Y. New metastable form of ice and its role in the homogenous crystallization of water. *Nature Materials*, 2014, vol. 13, issue 7, pp. 733-739. DOI: 10.1038/nmat3977
20. Bordonskiy G.S., Orlov A.O. Signatures of the appearance of ice 0 in wetted nanoporous media at electromagnetic measurements. *JETP Letters*, 2017, vol. 105, no. 8, pp. 492-496. DOI: 10.1134/S0021364017080021

21. Cox C.J., Noone D.C., Berkelhammer M., Shupe M.D., Neff W.D., Miller N.B., Walden V.P., Steffen K.: Supercooled liquid fogs over the central Greenland Ice Sheet. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2019, vol. 19, pp. 7467–7485. DOI: 10.5194/acp-19-7467-2019, 2019
22. Sellberg J.A., Huang C., McQueen T.A., Loh N.D., Laksmono H. [et al.] Ultrafast X-ray probing of water structure below the homogeneous ice nucleation temperature. *Nature*, 2014, vol.19, issue 510, pp. 381-384. DOI: 10.1038/nature13266
23. Korobeynikov S.M., Melekhov A.V., Soloveitchik Yu.G., Royak M.E., Agoris D.P., Pyrgioti E. Surface conductivity at the interface between ceramics and transformer oil. *Journ. of Physics. D: Applied Physics*, 2005, vol. 38, issue 6, pp. 915-921. DOI: 10.1088/0022-3727/38/6/021
24. Bordonskiy G.S., Gurulev A.A., Orlov A.O., Tsyrenzhapov S.V. Methods of microwave radiometric studies of mesospheric clouds. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 26. "26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics", 2020, pp. 115601S. DOI: 10.1117/12.2575543
25. Bordonskiy G.S., Gurulev A.A., Orlov A.O., Tsyrenzhapov S.V. Variacii mikrovolnovykh poter v vetkah sosny pri otricatelnyh temperaturah [Variation of microwave losses in pine branches at negative temperatures]. *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa*, 2018, vol. 15, no. 5, pp. 120-129. (In Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-5-120-129
26. Gurulev A.A., Bordonskiy G.S., Orlov A.O. Sposob opredelenija nachal'noj stadii deformacii nabljudаемого s kosmicheskogo apparata lednika [Method of determining initial stage of deformation of glacier observed from spacecraft]. Patent RF no. 2742051 C1, no. 2020104654, G01S 13/02. (In Russian).
27. Bordonskiy G.S., Gurulev A.A. O fiziko-himicheskikh prevrashhenijah s uchastiem vody vblizi temperatury $-45\text{ }^{\circ}\text{S}$ [Regarding physical and chemical transformations with the involvement of water near $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$]. *Kondensirovannye sredy i mezhfaznye granicy*, 2019, vol. 21, no. 4, pp. 478-489. (In Russian). DOI: 10.17308/kcmf.2019.21/2359

Научно-популярная
статья

УДК 551.506.3

DOI: 10.24412/2658-4255-
2024-1-71-83



EDN: ROTNJJ

Для цитирования:

Иванов Б.В.
Метеорологическая станция
«Пирамида» - советское
научное наследие на
архипелаге Шпицберген //
Российская Арктика. 2024.
Т. 6. № 1. С. 71-83.
[https://doi.org/10.24412/2658-
4255-2024-1-71-83](https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-1-71-83)

Получена: 11.03.2024
Принята: 11.03.2024
Опубликована: 29.03.2024

For citation:

Ivanov B.V. Meteorological
station "Pyramid" - Soviet
scientific heritage on the
Spitsbergen archipelago.
Russian Arctic, 2024, vol. 6,
no. 1, pp. 71-83. (In Russian).
[https://doi.org/10.24412/2658-
4255-2024-1-71-83](https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-1-71-83)

Финансирование.

Работа выполнена при
финансовой поддержке
гранта автономной
некоммерческой организацией
«Экспертный Центр –
Проектный Офис Развития
Арктики (ПОРА)»
в соответствии с договором
за № 414-Г от 21.08.2023.



МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ «ПИРАМИДА» – СОВЕТСКОЕ НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН

Иванов Б.В.

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

E-mail: b_ivanov@aari.ru

Аннотация

Представлены метаданные, включающие в себя информацию о расположении станции и метеорологической площадки, продолжительности, составе, сроках и методике наблюдений для метеорологической станции в поселке Пирамида (остров Западный Шпицберген, архипелаг Шпицберген). Кратко описывается зарубежный опыт организации и проведения научно-образовательных мероприятий на архипелаге Шпицберген. Предлагается концепция организации интерактивного музея и историко-научного туристического маршрута для отечественных и иностранных туристов в российском шахтерском поселке Пирамида на основе последнего сохранившегося здания, в котором размещалась советская метеорологическая станция, действующая там в 1948-1957 гг. Также рассматривается возможность организации и проведения полевых учебных и производственных практик студентов Российских ВУЗов на архипелаге, летних полевых школ для учащихся средних учебных заведений.

Ключевые слова: архипелаг Шпицберген, поселок Пирамида, метаданные, архивы метеорологических данных, перспективы развития

METEOROLOGICAL STATION "PYRAMID" – SOVIET SCIENTIFIC HERITAGE ON THE SPITSBERGEN ARCHIPELAGO

Ivanov B.V.

Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg, Russia

E-mail: b_ivanov@aari.ru

Abstract

Metadata is presented, including information about the location of the station and meteorological site, duration, composition, timing and methodology of observations, for the meteorological station in the Pyramiden settlement (Western Spitsbergen Island, Spitsbergen archipelago). The foreign experience in organizing carrying out of scientific and educational events in the Spitsbergen archipelago is briefly described. A concept is proposed for organizing an interactive museum and historical and scientific tourist route for domestic and foreign tourists in the Russian mining settlement of Pyramiden based on the last surviving building that housed the Soviet meteorological station operating there in 1948-1957. The possibility of organizing and carrying out field educational and professional trainings for students of Russian Universities in the archipelago, summer field schools for students of secondary educational institutions is also being considered.

Keywords: Spitsbergen archipelago, Pyramiden settlement, metadata, meteorological archives, development perspectives

Введение

Исследования климатических изменений на архипелаге Шпицберген в XX веке опираются на данные норвежских (Лонгйир, Нью-Алесун, Ис-фьорд Радио, Грин-Харбор), польской (Хорнсунд) и российской (Баренцбург) метеостанций. В тоже время в период с 1948-1957 гг. регулярные метеорологические наблюдения выполнялись и в советском шахтерском поселке Пирамида, расположенном в Билле-фьорде (северо-восточная часть залива Ис-фьорд). Станция являлась филиалом Арктической научно-исследовательской обсерваторией (АНИО), расположенной в поселке Баренцбург. Это единственная продолжительная серия регулярных наблюдений в одном из внутренних районов архипелага. В августе 2012 г. в рамках научного сотрудничества между Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом (АНИИ, www.aagi.ru) и Норвежским Метеорологическим институтом (НМИ, www.met.no) была установлена автоматическая метеорологическая станция (АМС) на месте ранее существовавшей метеорологической станции в поселке Пирамида (рис. 1). Мероприятия проводились при поддержке детского экспедиционного центра «Груммант» и сотрудников Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ). Наблюдения, прерванные в 1957 г., были возобновлены и продолжаются до настоящего времени. Информация размещается в оперативном порядке на интернет ресурсах НМИ (www.yr.no, www.klima.no, www.met.no).



(a)



(б)

Рисунок 1. Установка норвежской АМС в поселке Пирамида (а); рабочий момент установки АМС (б)

АНИИ и НМИ был выполнен анализ метеорологического режима в районе поселка Пирамида в рамках Программы российско-норвежского сотрудничества, которая являлась вкладом в Международную Полярную декаду и международные действия по спасению исторических данных.

История станции

До 1 июня 1951 г. станция «Пирамида» находилась в системе Главного управления гидрометеорологической службы СССР (ГУГМС). Позднее ее перевели в систему Главного управления Северного Морского пути при Совете Министров СССР (ГУСМП). 18 декабря 1954 г. станцию передали в управление АНИИ (с 1958 г. - ААНИИ), и она стала филиалом Арктической научно-исследовательской обсерватории (АНИО) в Баренцбурге. Однако руководство ГУГМС посчитало нецелесообразным содержать два пункта метеонаблюдений одновременно, и 16 мая 1957 г. метеостанцию в Пирамиде закрыли (рис. 2). АНИО «Баренцбург» перевели в подчинение Амдерминского радиометеорологического центра и 15 декабря 1958 г. переименовали в полярную станцию «Баренцбург».

Полярная станция Пирамида Море Фроландское
 Широта 48°39'С Долгота 16°23'В

Самое
 УЧМ-2
 1956 г.

МЕСЯЧНАЯ ТАБЛИЦА
 прибрежных наблюдений над ледяным покровом за май м-ц 1957 г.

Место наблюдения Финка над скалами (с метеорологической палаткой во дворе "Пирамиды")
 Описание наблюдательного пункта:

Высота пункта над уровнем моря 11 м Дальность видимого горизонта 13,7 км

Замечания о ходе ледовых наблюдений:
 Согласно распоряжению заместителя АНИО г. Володарского с 16/5-57г. наблюдение прекращается —
 —остановка закрытия—
 Служба наблюдений Нач. ЗМС "Пирамида" Ковалев / Москвитин

Наблюдатели: Нач. ЗМС: Ковалев В.С. с/м Ковалев В.В.
Ковалев В.М., с/м Ковалев Н.В.
 составили: Ковалев проверили: Москвитин
 с. 201, с. 025 печать: Ковалев листы: Москвитин

Рисунок 2. Запись о закрытии метеорологической станции «Пирамида» (фото из архива Гидрометфонда ААНИИ)

В 1968 г. история метеорологических наблюдений в поселке получила свое продолжение. По заказу Треста «Арктикуголь» были выполнены исследования лавиноопасных склонов горы Пирамида. Старая метеостанция была расконсервирована, а на южном склоне горы Пирамида, на высоте 400 м, была организована дополнительная временная метеорологическая площадка, на которой были установлены: мачта с флюгером Вильда, метеорологическая будка и осадкомер. Параллельные серии наблюдений производились в зимний сезон 1968-1969 гг. и позволили получить важные сведения о лавинной опасности склонов в районе рудника и организовать специальные защитные сооружения.

Описание расположения здания метеостанции и метеорологической площадки

Район месторождения (бывшая шведская шахта Pyramiden) стал осваиваться советскими шахтерами сразу после окончания II Мировой войны. В поселке были возведены первые каменные постройки и, так называемые, «финки» или «финские дома» построенные по специальному проекту (рис. 3а).

Подробное описание истории строительства и технических характеристик этих домов можно найти в работе [1]. По мере застройки поселка современными и более комфортными жилыми домами в конце 70-х годов прошлого столетия, а также по мере расширения производственных и вспомогательных сооружений, «финки» были «приговорены» к сносу... Сегодня в поселке Пирамида осталась всего лишь одна «финка» (рис. 3б).



(a)



(б)

Рисунок 3. «Финские домики» (а) 1970-е гг. (фото из личного архива А.И. Наумкина) и единственная сохранившаяся «финка» в поселке Пирамида (б) (фотография из личного архива главного редактора журнала «Русский Вестник Шпицбергена» Н. Серковой)

«Финки», построенные в конце 1940-х – 1950-х гг., были оборудованы печным отоплением. До середины 1970-х у большинства финских домиков оно сохранялось как альтернативное на случай аварии, а такие ситуации, увы, случались. Вот как описывает одну из драматических ситуаций на руднике В.А. Андросов [1] «...в одну из полярных ночей с 1979 на 1980 г. произошла авария на ТЭЦ, и подача пара на тепловой узел прекратилась. Там, где успели слить горячую воду из труб, было холодно, но трубы и радиаторы отопления были целы. Поврежденные же коммуникации пришлось менять, оттаивать паяльными лампами, сварочными аппаратами и даже кострами. Рудник Пирамида был в двух шагах от эвакуации, а в финках с печным отоплением проблем с теплом не было. Угля и дров на руднике было в достатке...».

Последний сохранившийся в поселке дом из многочисленной семьи «финок» безусловно является уникальным объектом исторического советского прошлого Пирамиды. Впрочем, едва ли только этим ограничивается его потенциал. Сразу после установки на историческом месте АМС НМИ, сотрудники ААНИИ и СПбГУ, при поддержке детского экспедиционного центра «Груммант», выступили с инициативой восстановить постройку в ее первоначальном виде, чтобы она могла бы служить учебно-производственной базой для практик студентов российских профильных вузов и экспедиций школьников. Однако в тот период ни в руководстве Треста, ни в центре Арктического туризма (ЦАТ) эта инициатива не нашла поддержки.

Как показали наши архивные изыскания в Госфонде ААНИИ именно в этой «финке» находилась метеорологическая станция в период 1948-1957 гг. Метеорологическая

площадка станции (место, где проводятся основные инструментальные наблюдения) располагалась в 30 м к югу от здания на восточной окраине поселка и в 800 м к югу от склона горы и в 200 м от береговой черты.

Гидрометеорологическая станция (ГМС) была организована по приказу Главного Управления Гидрометеорологической Службы СССР (ГУГМС) № 401 от 19 сентября 1946 г. Внутренний план помещения станции можно увидеть на схеме (рис. 4), представленной в работе [2].

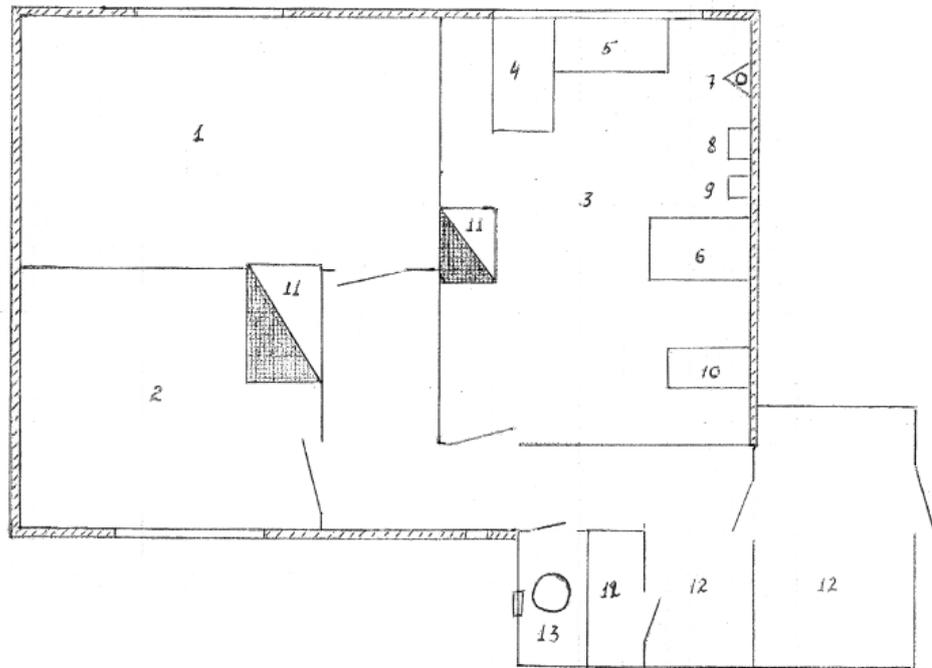


Рисунок 4. Внутреннее помещение метеостанции: 1, 2 – жилые комнаты, 3 – рабочее помещение вахтенного метеоролога, 4-6 – рабочие столы, 7 – стационарный ртутный барометр, 8 – барограф, 9 – барометр-анероид, 10 – шкаф с запасными приборами, 11 – печь, 12 – продовольственный склад, 13 – санузел.

С января 1948 г. станция начала передавать регулярные метеосводки на материк. В доме было три отдельные комнаты общей площадью 63 м² (полезная площадь – 44 м²). Комната вахтенного метеоролога-наблюдателя занимала 18 м², а две другие, общей площадью 26 м², были жилыми. Комната вахтенного метеоролога представляла собой миниатюрную метеорологическую лабораторию. Здесь хранились измерительные приборы: в специальном шкафу на стене – образцовый ртутный чашечный барометр, а также барограф и барометр-анероид.

Метеоплощадка располагалась на высоте 9 метров над уровнем моря и была обнесена специальной штакетной изгородью высотой около полутора метров, которая снималась в зимний период в целях сохранения характерного для всей окружающей местности залегания снежного покрова. Почва метеоплощадки состояла из отложений ледникового периода (смесь глины, песка, гравия, гальки и камней). Растительность отсутствовала. В двух жалюзийных будках, установленных на площадке, помещались ртутные термометры и гигрометр. В одной из будок стояли механические лентопротяжные самописцы – термограф и гигрографы. Эти приборы фиксировали на бумажной ленте суточные и недельные изменения температуры и относительной влажности воздуха. На десятиметровой мачте размещался флюгер «Вильда», измерявший скорость и направление ветра. На специальном бетонном основании был установлен осадкомер. Для измерения температуры поверхности снега и почвы использовался специальный термометр. Высоту снежного покрова измеряли при помощи деревянных мерных реек. Схема расположения приборов на метеоплощадке представлена на рис. 5:

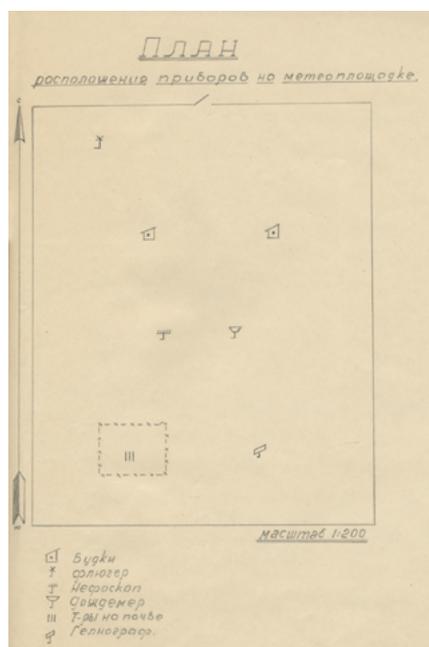


Рисунок 5. Расположение метеорологических приборов и оборудования на площадке ГМС «Пирамида» (фото из технического журнала станции, архив Гидрометфонда ААНИИ)

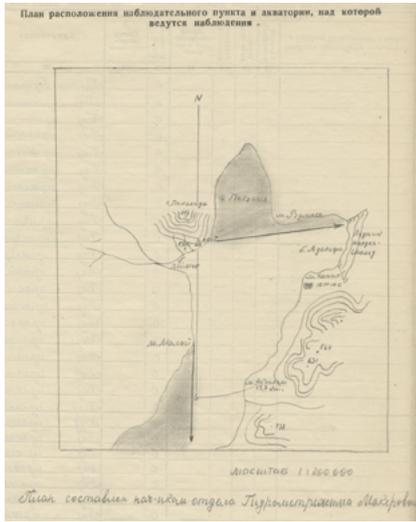
Стандартные метеорологические наблюдения выполнялись в соответствии «Наставлением гидрометеорологическим станциям и постам» (выпуск 3, часть I – «Метеорологические наблюдения на станциях». 1944 г.). В этом документе излагались основные принципы организации, а также методики производства и обработки всех видов измерений и наблюдений, выполняемых подразделениями ГУГМС на местах.

Наблюдения производили три наблюдателя-метеоролога. Четыре раза в сутки – в 0:00, 6:00, 12:00 и 18:00 часов по гринвичскому времени (в 1:00, 7:00, 13:00 и 19:00 по местному времени) они снимали показания приборов на метеоплощадке и в помещении станции. Дважды в сутки (в 9:00 и 21:00 по московскому декретному времени) сотрудники метеостанции замеряли количество осадков и температуру поверхности почвы. С помощью весового снегомера определяли плотность снега и его влагозапас. До 1 января замеры брали через каждые 5 дней, а после 1 января – в последний день каждой декады месяца. Пример записи данных срочных инструментальных и визуальных метеорологических наблюдений (журнал ТМ-1), который заполнялся вахтенным метеорологом, можно видеть на рис. 6а.

Кроме комплекса стандартных метеонаблюдений персонал ГМС «Пирамида» проводил и регулярные наблюдения за состоянием ледяного покрова на прилегающей акватории Билле-фьорда. Первый (основной) пункт ледовых наблюдений располагался на крыше портового здания, второй – на южном склоне горы Пирамида (точное место не установлено). В сектор визуальных наблюдений входили следующие акватории: бухта Адольфа, район мыса Экхольм, бухта Мимер, средняя часть залива Билле-фьорд. Сектора визуальных ледовых наблюдений можно видеть на схеме, представленной на рис. 6б.

В 300 м от берега в юго-восточном направлении, в северной части бухты Мимер находился основной пункт инструментальных наблюдений за толщиной морского льда и снежного покрова. Наблюдения проводились в 12:00 по местному времени. В полярную ночь проводить наблюдения было крайне сложно, и поэтому, если горизонтальная дальность видимости составляла менее 500 м при использовании искусственных источников света, их временно прекращали. Велось специальные журналы ежедневных визуальных наблюдений. Пример (фотография) таблицы ежедневных наблюдений представлены на рис. 6в.

В конце каждого ледового сезона составлялись, так называемые, сводные таблицы. В таблицах содержалась информация о более чем 20 различных фазах и явлениях, наблюдавшихся при формировании и разрушении ледяного покрова на видимой части акватории Билле-фьорда. Пример такой таблицы представлен на рис. 6г.



(a)

(б)

(в)

(г)

Рисунок 6. Сектора визуальных ледовых наблюдений на ГМС «Пирамида» (а); журнал ТМ-1 для записи срочных метеорологических наблюдений (б); журнал для записи результатов визуальных и инструментальных ледовых наблюдений ТГМ-2 (в); сводная таблица основных фаз и явлений ледового периода (г); (фото из архива Гидрометфонда ААНИИ)

Описание приборов и оборудования, расположенных на станции и метеорологической площадке

В метеорологическом кабинете станции (помещение вахтенного метеоролога) были установлены следующие приборы:

- ртутный чашечный барометр (установлен на стене помещения в специальном барометрическом шкафу). Высота барометра определена нивелировкой, выполненной в октябре 1949 г. Превышение чашки барометра над уровнем моря составила 13,2 м, над поверхностью земли 2 м. Поправка барометра $\pm 0,3$ мб.

- барограф и барометр-анероид.

На площадке были установлены две стандартные метеорологические жалюзийные будки. В одной помещались психрометрическая пара («сухой» и «смачиваемый» термометры), максимальный и минимальный термометры, а также гигрометры – основной и контрольный. Вторая предназначалась для механических самописцев (суточный термограф, суточный и недельный гигрографы). В психрометрической будке резервуары термометров (сухого, смачиваемого) находились на высоте 2 м от поверхности земли. В психрометрической будке находились термометры следующих типов:

- ртутный термометр («сухой» и «смачиваемый»), шкала от +44 до -32,8°C, поправки от +40 до -30 °C;

- максимальный термометр, шкала от +57,5 до -27,5 °C, поправки от +50 до -20 °C;

- минимальный термометр (спиртовой), шкала от +22,5 до -54,5°C, поправки от +20 до -50°C;

Во второй будке помещались следующие приборы (механические самописцы):

- термограф суточный (механический);

- гигрограф суточный (механический);

- гигрограф недельный (механически);

Кроме вышеуказанных приборов и оборудования на метеорологической площадке размещались:

- флюгер «Вильда».

Высота флюгера над поверхностью земли составила 12,5 м. Проверка ориентировки флюгера проводилась регулярно. В полярную ночь - по компасу, в светлое время года - по полуденной линии. Флюгер превышал все ближайшие строения на 6-8 м и находился не менее 25 м от них;

- дождемер (осадкомер).

Высота верхнего края осадкомера с защитой «Нифера» составила 2 м от поверхности земли. В период сильных ветров могло происходить выдувание снежных осадков. В 1956 г. осадкомер с защитой «Нифера» был заменен на осадкомер с защитой «Третьякова» (ОС-1) в связи с заменой на всей сети Гидрометслужбы СССР.

- почвенный термометр.

Термометр (ртутный или спиртовой, в зависимости от времени года) находился на поверхности почвы (снега) на специальной огороженной площадке размером 3x4 м. Почва в месте установки термометра взрыхлялась один раз в 10 дней.

Для измерения высоты снежного покрова на площадке были установлены три постоянные рейки. Плотность снега на метеорологической площадке определялась до 1 января через каждые 5 дней, а после 1 января в последний день каждой декады месяца. Производились декадные снегомерные съемки (измерения толщины снежного покрова на профилях и по площади).

Определение количества, формы и высоты облаков, а также атмосферные явления и характеристика погоды производилось визуально.

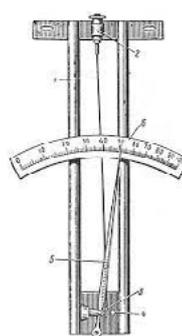
Некоторые из перечисленных выше приборов представлены на рис. 7:



(a)



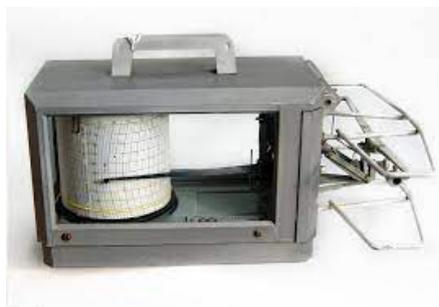
(б)



(в)



(г)



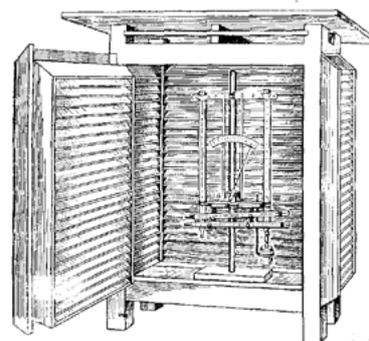
(д)



(е)



(ж)



(з)

Рисунок 7. Исторические метеорологические приборы, которые использовались на ГМС «Пирамида» в 1948-1957 гг.

(а) – барометр-анероид; (б) – ртутные термометры (психрометрическая пара);
 (в) – гигрометр волосяной; (г) – осадкомер; (д) гигрограф; (е) – термограф;
 (ж) флюгер Вильда; (з) метеорологическая будка

Их изобретение имеет многолетнюю историю. Некоторые сохранили свой первоначальный вид и принцип действия уже несколько сотен лет, что указывает на их надежность и конкурентоспособность на рынке современного метеорологического оборудования.

Предложения по организации метеорологического музея и историко-культурного туристического маршрута в поселке «Пирамида»

Важная цель историко-культурного и научного сотрудничества между ААНИИ, СПбГУ и Трестом «Арктик Уголь» заключается в поиске и сохранении исторического наследия, связанного с присутствием советских и российских научных и образовательных организаций на архипелаге Шпицберген. Организация в поселке Пирамида музея, посвященного метеорологическим исследованиям на архипелаге, является одной из важнейших составляющих этого сотрудничества, и основой такого музея могла бы послужить последняя сохранившаяся «финка». В рамках научно-исторической экспозиции здесь могут быть представлены многочисленные артефакты из запасников музея Арктики и Антарктики (СПб), документы и снимки из архивов треста «Арктикуголь», ААНИИ и СПбГУ. Воссозданная в историческом виде метеоплощадка может служить базой для проведения учебных и производственных практик студентов отечественных и зарубежных университетов, летних полевых школ для учащихся средних учебных заведений по многочисленным туристическим и краеведческим программам, а весь комплекс, включая и собственно здание, будет интересен для российских и зарубежных туристов, посещающих поселок Пирамида.

В отремонтированных и соответствующим образом подготовленных жилых помещениях дома (рис. 4) смогут проживать до 10 студентов/школьников и преподавателей. Рабочее помещение вахтенного метеоролога возможно восстановить в первоначальном виде, соответствующем эпохе середины XX века. В настоящий момент к дому подведено надежное электрическое питание, что позволит использовать компьютеры, электронные микроскопы, портативное химическое оборудование. Вспомогательные помещения «финки» (кладовые) удобны для хранения полевых приборов, экипировки,

продуктов и прочего вспомогательного оборудования.

С точки зрения учебных и производственных практик студентов район поселка Пирамида представляет интерес для многих направлений наук о Земле. В первую очередь, это гидрометеорологическое направление - климатология, метеорология, гидрология суши, прибрежная океанография. Окружающая территория и ее недра представляют уникальные возможности для ряда геологических дисциплин (полезные ископаемые, палеонтология, минералогия, кристаллография, геофизика). Присутствующая здесь флора и фауна – это обширное поле деятельности для различных направлений биологической науки, включая важнейшие аспекты экологических изысканий и мероприятий по охране окружающей среды. Фактически район поселка Пирамида, как и весь архипелаг Шпицберген в целом, это уникальный научный полигон под открытым небом. Недаром зарубежное научное сообщество в 1969 г. создало научный городок в бывшем норвежском шахтерском поселке Нью-Алесун, где компактно разместились научные базы 12 стран Европы и Азии. В заливе Хорнсунд разместилась одна из самых современных арктических станций, с точки зрения экологичности энергетического и жизненного цикла, принадлежащая Польской Академии наук. Наконец, в российском шахтерском поселке Баренцбург с 2014 г. успешно действует и развивается Российский научный центр на архипелаге Шпицберген (РНЦШ). Ведущие роли в нем играют научные организации Росгидромета, Российской Академии наук и Росгеологии. В первую очередь это ААНИИ, Мурманский морской биологический институт (ММБИ РАН), Кольский научный центр РАН (КНЦ), Институт географии РАН (ИГРАН), Полярная морская геологическая экспедиция (ПМГРЭ). При таком многообразии и разнонаправленности научных направлений, тем не менее, основные усилия российских ученых сосредоточены на изучении довольно ограниченного по площади участка архипелага. В первую очередь это районы, прилегающие непосредственно к поселку Баренцбург и акватории заливов Грен-фьорд и Исфьорд. Отчасти эти проблемы успешно решали представители ПМГРЭ, охватывающие в своих изысканиях более отдаленные районы архипелага. При этом район поселка Пирамида, оставаясь не менее интересным и уникальным, с научной точки зрения, в значительно меньшей степени, особенно в последние годы, посещается российскими учеными. При этом, если в поселке Баренцбург есть все условия для организации и проведения полевых практик студентов, в поселке Пирамида такие условия практически отсутствуют. Например, в Баренцбурге побывали учащиеся СПбГУ, обучающиеся по магистерской программе «CORELIS», и студенты географического факультета МГУ. В рамках «Арктического плавучего Университета» (АПУ), проводимого на НИС «Профессор Молчанов», в Баренцбурге побывали студенты Северного Арктического федерального университета (САФУ) из Архангельска. В период существования экспедиционного центра «Груммант» было организовано несколько экспедиций школьников из Санкт-Петербурга. Но все эти мероприятия носили нерегулярный, эпизодический характер и не представляли из себя какой-либо цельной научно-образовательной и историко-культурной долгосрочной программы.

А вот к опыту зарубежных коллег в этой области стоит присмотреться. Об образовательной программе университетских курсов Свальбарда (UNIS – Svalbard University) можно подробно узнать на соответствующем сайте (www.unis.no). Это известный международный образовательный и научно-исследовательский проект, который финансируется Министерством образования и науки Норвегии, а также рядом крупных государственных и частных компаний Норвегии и Европейских стран.

Здесь хочется упомянуть и о более скромном по масштабам, но чрезвычайно перспективном проекте, который развивается в отнюдь не приарктической стране. Уже более 10 лет в соседней с поселком Пирамида бухте Петунья существует полевая научная база чешского Центра полярной экологии Мозаруцкого Университета (г. Чешские-Будиевицы, Моравия). Исследования ведутся по четырем направлениям: микробиология, ботаника, зоология, науки о Земле. Впервые чешские ученые приехали сюда в 2007 г. в преддверии III Международного Полярного года и выбрали для своих исследований западное побережье бухты Петунья. С 2008 по 2016 г. ученые использовали (арендовали) домик треста «Арктикуголь» как базу для своих полевых работ. За это время более 300 ученых и студентов из разных стран приняли участие в сезонных работах чешской научной базы. Пребывание отдельных студенческих групп вместе с преподавателем-руководителем определённого научного направления продолжается от одной до нескольких недель. Ротация студентов и преподавателей, а также доставка научного оборудования, продуктов и прочих средств жизнеобеспечения производится на туристических судах, регулярно пребывающих в поселок Пирамида из Лонгйира. Доставка непосредственно на полевую базу осуществляется с помощью моторных лодок «Zodiac», базирующихся на причале в порту поселка. В

конце 2017 г. в бухте Петунья чехи открыли свою собственную станцию «Носток» [3]. Нам представляется, что именно такой подход и целесообразно реализовать при организации полевых практик российских студентов в поселке Пирамида (рис. 8).

Одним из наиболее оригинальных зарубежных туристических проектов является программа UNIS - «Любительская наука на арктических круизных судах». Как известно, на Шпицберген приезжает особый тип туристов. Это люди, которые не только интересуются природой, историей и культурой архипелага, но и стремятся получать новые впечатления и знания, общаясь с уникальной природой Шпицбергена. Поэтому в рамках проекта норвежские ученые предложили привлекать туристов к простым исследовательским работам. Так, например, туристы могут собрать образцы (пробы) морской воды, при этом осуществлять эти действия в тех местах, где редко работают профессионалы-исследователи, но часто бывают туристические круизные лайнеры. На этот проект специальным правительственным фондом выделено порядка 260 000 норвежских крон. В нем участвует крупнейшая норвежская туристическая транспортная компания Hurtigruten. Такие туристические опции смогут поддерживать важные долгосрочные исследовательские проекты в полярных морях [4]. Кстати, похожая программа уже давно реализуется и на туристических судах в водах Антарктики и Арктики, где туристы имеют возможность прикоснуться к метеорологическим, океанологическим и ледоисследовательским работам под руководством опытных гидов (рис. 9).



(a)



б)

*Рисунок 8. Полевая база чешского Центра полярной экологии
(а) – домик треста «Арктикуголь»; (б) – современные строения станции «Носток»*



Рисунок 9. Норвежские туристы отбирают пробы зоопланктона под руководством ученых НПИ (по материалам газеты Svalbardposten, №44, 24.11.2017)

Именно подобную программу необходимо предложить туристам и в Пирамиде. Как правило, посещение поселка норвежскими группами на туристических судах, следующих из Лонгйира, продолжается не более 2-3 часов и пешеходный маршрут из порта в поселок проходит как раз мимо «финского» дома. При условии организации там исторической метеоплощадки с приборами и оборудованием середины прошлого века, для туристов возникает редкая возможность самостоятельно произвести несложные метеорологические измерения с помощью исторических приборов и получить элементарные сведения о погоде и климате архипелага. Параллельно с этими действиями российские студенты, находящиеся там на полевой практике, смогут кратко рассказать туристам об истории советских и российских научных исследований на архипелаге в целом, подчеркивая вклад и ряд приоритетов отечественных исследователей. Подобная лекция может проводиться параллельно с измерениями, которые будут производить туристы, при этом они узнают и основные принципы действия приборов. Обязательным элементом экскурсии будет являться посещения внутренних помещений «финки» и, в первую очередь, комнаты – рабочего места вахтенного метеоролога, где можно продемонстрировать старинные вахтенные журналы с записями метеорологических и ледовых наблюдений. Внутреннее убранство этого помещения также должно нести советскую атмосферу той эпохи – флаги, лозунги, транспаранты, плакаты, портреты политических деятелей того времени и т.п. Общее время такой экскурсии не должно превышать 30 минут и должно быть согласовано с норвежской компанией – организатором тура. Язык повествования английский. Оборудование для метеорологической площадки возможно приобрести у российского производителя (завод «Гидрометприбор», г. Сафоново, Смоленская область). Частично оно может быть предоставлено ААНИИ, где в настоящий момент создается музей отечественной гидрометеорологической техники и многие экспонаты присутствуют в кратном количестве. Безусловно, некоторыми экспонатами сможет поделиться музей «Арктики и Антарктики» в Санкт-Петербурге. Более того, при определенных условиях музей сможет организовать временные (сезонные) выездные выставки и экспозиции, посвященные некоторым историческим вехам советского освоения Арктики (дрейфующие станции, освоение Северного морского пути и т.п.). Параллельно эти мероприятия могут быть дополнены выставками российских художников, посвященных арктической тематике, фотовыставками, демонстрацией произведений искусства и народного творчества народов Севера России и т.п. Все перечисленные мероприятия в совокупности позволят повысить интерес у туристов не только к отечественным научным достижениям на Шпицбергене, но и ко всему историку-культурному наследию России в Арктике в целом. Что, безусловно, будет способствовать планируемому расширению туристического кластера на архипелаге и широкому привлечению к сотрудничеству российских туристических фирм. Шпицберген, как заметил министр Российской Федерации по развитию Дальнего Востока и Арктики А.О. Чекунков: «...планируется сделать магнитом для туристов...для тех, кто хочет заглянуть в советское прошлое ... совмещение туристического и научно-образовательного направлений позволит наиболее полно реализовать намеченные перспективные планы по усилению присутствия российских организаций на архипелаге Шпицберген, в соответствии с Договором о статусе архипелага от 1920 г. ...».

Список литературы:

1. Андросов В.А. Финские старожилы Пирамиды // *Русский Вестник Шпицбергена*. 2013. № 3. С. 4 – 5.
2. Иванов Б.В. Лаборатория погоды // *Русский Вестник Шпицбергена*. 2015. Т. 2. №16. С. 26 – 27.
3. Тюрюмин Д. Путешествие в бухту Петунья // *Русский Вестник Шпицбергена*, 2017. Т. 6. № 32. С. 18 – 19.
4. Svalbardposten. № 44. 24.11.2017.

References:

1. Androsov V.A. Finnish old-timers of the Pyramid // *Russian Bulletin of Spitsbergen*, 2013, no. 3, pp. 4 – 5.
2. Ivanov B.V. Weather Laboratory // *Russian Bulletin of Spitsbergen*, 2015, vol. 2, no. 16, pp. 26 – 27.
3. Tyuryumin D. Journey to Petunia Bay // *Russian Bulletin of Spitsbergen*, 2017, vol. 6, no. 32, pp. 18 – 19.
4. Svalbardposten, no. 44, 11/24/2017.

«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.