

ISSN (Online): 2658-4255

RUSSIAN ARCTIC



russian-arctic.info

Volume 5 № 1/2023

METEOROLOGY

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF FORECASTING
HYDROMETEOROLOGICAL EXTREMES USING THE
SOLAR ACTIVITY INDEX

Φoto: Yan Silchenko
Lighthouse Vyevnavolok

RUSSIAN ARCTIC VOLUME 5 № 1 2023 SCIENTIFIC PEER-REVIEWED JOURNAL

CHIEF EDITOR

KIRA ZMIEVA

EDITORIAL BOARD

Hajime Yamaguchi, professor (Tokyo, Japan)
Younkyoo Kim, professor (Seoul, Korea)
Takuji Waseda (Tokyo, Japan)
Kokin Sergey, PhD (Harbin, China)
Rhee Han Woo, candidate of Doctor of IR (Seoul, Korea)
Thomas Krumpfen, PhD in geoscience (Bremen, Germany)
Belozersky Gennady Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Belonenko Tatiana, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Bityukova Victoria Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Bryantsev Alexander, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Chashchin Valery, Doctor of Sciences, Prof (St. Petersburg, Russia)
Chashchin Maxim, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Chubarova Natalia, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Degteva Galina, Doctor of Sciences (Arkhangelsk, Russia)
Dmitriev Vasily, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Eseev Marat, Doctor of Sciences (Arkhangelsk, Russia)
Fridman Krill Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Gavrilov Vladimir, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Gecha Vladimir, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Gorbanev Sergey, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Hrennikov Aleksander, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Ivanov Vladimir, Doctor of sciences (Moscow, Russia)
Kapitanov Aleksey, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Korobov Vladimir, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Kovchin Igor, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Lebedev Sergey, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Levykin Sergey, Doctor of Sciences, Prof (Orenburg, Russia)
Maksimov A.L., Doctor of Sciences, Prof (St. Petersburg, Russia)
Malinin Valery, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Mingazova Elmira, Doctor Sciences, professor (Moscow, 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. Petersburg, Russia)
Prohorchuk Egor, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Repina Irina, Doctor of Sciences, Professor (Moscow, Russia)
Romanov Andrey, Doctor of Sciences (Barnaul, Russia)
Rusin Igor, Doctor of Sciences (St. Petersburg, Russia)
Semenov Vladimir, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Serebryannikov S., Doctor of Technical Sciences (Moscow, Russia)
Schwarzburg Leonid, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Stepanova Vera, Doctor of Sciences (Arkhangelsk, Russia)
Talykova Lyudmila, Doctor of Sciences (Kirovsk, Russia)
Tishkov Arkady, Doctor of Sciences (Moscow, Russia)
Tokarevich Nikolay, Doctor of Sciences (St. Petersburg, 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. Petersburg, 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. Petersburg, Russia)
Tsykalov Anatoly, PhD (Krasnoyarsk, Russia)
Yulin Alexander, PhD (St. Petersburg, Russia)



EDITORIAL STAFF

Science editor

Tatiana Alekseeva (AARI)

Executive secretary

Marina Belikova

PR

Olga Chahovskaya

MANUSCRIPT SUBMISSION

info@arctic-centre.com

ADDRESS

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

MASS MEDIA registration

ЭЛ №ФЦ77-72859 от 22 мая 2018 года

FOUNDER AND PUBLISHER

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

CEO

Yu.V. Belikova

THE EDITORIAL THANKS

reviewers and editorial board members
for help in preparing this issue



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

Issue date: 19.04.2023



CONTENTS

04 EDITORIAL

05 DETERMINATION OF THE PREVENTIVE HEATING CURRENT OF A LIGHTNING PROTECTION CABLE WITH A BUILT-IN OPTICAL CABLE ON A 110-220 KV OVERHEAD LINE TO PREVENT THE FORMATION OF ICE-FROST DEPOSITS

E.A. Krotkov, N.V. Besmenova, A.A. Shchobak

13 ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF FORECASTING HYDROMETEOROLOGICAL EXTREMES USING THE SOLAR ACTIVITY INDEX

I.V. Miskevich, E.I. Kotova

20 NEW FEATURES OF OCCUPATIONAL PATHOLOGY IN THE MURMANSK REGION IN 2007-2021

S.A. Syurin, A.N. Kizeev, E.M. Polyakova

33 CHANGE IN PERENNIAL RUNOFF FLUCTUATIONS OF THE RIVERS IN SOUTH YAKUTIA IN THE CONTEXT OF GLOBAL WARMING

R.N. Shpakova, P. Wang

45 TECHNICAL SOLUTIONS FOR THE TRANSMISSION OF ELECTRICITY AT HIGH VOLTAGE IN ARCTIC CONDITIONS

V.N. Varivodov, D.I. Kovalev, D.V. Golubev, S.A. Elfimov, S.S. Zhulikov

У ВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!



Сегодня все мы живем и работаем в новой реальности.

Россия столкнулась с беспрецедентными санкциями со стороны основных международных партнеров. В этих условиях особенно ярко подсветились наши внутренние проблемы. Проблемы, связанные в первую очередь с дефицитом отечественной продукции высокотехнологичных производств, препятствиями в осуществлении ремонта и обслуживания сложной техники (например, судов) и прочее.

С другой стороны, результатом такого внешнеполитического давления, стал целый ряд новых эффективных мер поддержки развития промышленности, объектов инфраструктуры и социальной сферы, реализуемых Правительством по поручению Президента Российской Федерации. Одна из таких мер – «Единая субсидия», приход которой в Арктику многие эксперты называют новым этапом освоения Севера. Этот механизм уже работает на Дальнем Востоке, где с его помощью за четыре года построили и реконструировали около 2 тысяч социальных объектов.

В высоких широтах потребность в инфраструктуре «для людей» особенно велика. Северяне живут в сложных климатических условиях, многие уезжают в более благоприятные регионы, и главный способ остановить отток населения – значительно повысить качество жизни.

Еще один инструмент – арктическая концессия, позволяющая привлекать инвестиции в создание социальной инфраструктуры сегодня, а затем расплачиваться за уже готовые объекты из бюджета постепенно, в течение семи-пятнадцати лет.

По оценкам экспертов реализация инвестпроектов Арктике обеспечит прирост ВВП России более чем на 30 триллионов рублей и дополнительные налоговые поступления более чем на 10 триллионов до 2035 года.

Значение Северного морского пути также меняется. В Стратегии развития Арктики до 2035 года роль транспортного коридора из Европы в Азию отходит на второй план. Теперь эта транспортная артерия расценивается в первую очередь как собственный круглогодичный канал поставки российских товаров в Азиатско-Тихоокеанский регион.

В этих условиях роль науки в стратегическом развитии Арктики значительно возрастает. И я, с уверенностью в завтрашнем дне и с большим удовольствием, представляю Вашему вниманию очередной выпуск научного журнала «Российская Арктика»!

*С уважением,
Главный редактор,
Кира Змиева*

Научная статья

УДК 621.315.175

DOI: 10.24412/2658-4255-2023-1-05-12



EDN: AKGJSD

Для цитирования:

Кротков Е.А., Безменова Н.В., Щобак А.А. Определение тока профилактического подогрева грозозащитного троса с встроенным оптическим кабелем на ВЛ 110-220 кВ для предотвращения образования гололёдно-изморозевых отложений // Российская Арктика. 2023. Том 5(1). С. 05–12
<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2023-1-05-12>

Получена: 13.02.2023

Принята: 09.03.2023

Опубликована: 15.03.2023

For citation:

Krotkov E.A., Besmenova N.V., Shchobak A.A. Determination of the preventive heating current of a lightning protection cable with a built-in optical cable on a 110-220 kV overhead line to prevent the formation of ice-frost deposits // Russian Arctic, 2023; Vol 5(1): p.p. 05-12. (In Russ.)
<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2023-1-05-12>



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ПОДОГРЕВА ГРОЗОЗАЩИТНОГО ТРОСА С ВСТРОЕННЫМ ОПТИЧЕСКИМ КАБЕЛЕМ НА ВЛ 110-220 кВ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ГОЛОЛЁДНО-ИЗМОРОЗЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Е.А. Кротков* , Н.В. Безменова, А.А. Щобак

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Российская Федерация

E-mail: *krotkov.e.a@gmail.com

Аннотация

Изменения климата в мире, происходящие в последнее время, расширяют список регионов Российской Федерации, для которых необходимость предотвращения гололёдно-изморозевых отложений на проводах и грозозащитных тросах ВЛ 110-220 кВ становится основной проблемой для сетевых компаний в осенне-зимний период. Большинство ВЛ 110-220 кВ оснащены грозозащитным тросом с встроенным оптическим кабелем, предназначенным для защиты ВЛ от прямых ударов молнии, а также выполняющим функцию волоконно-оптической линии связи. В осенне-зимний период на ВЛ 110-220 кВ возможно возникновение следующих аварийных ситуаций: механический обрыв грозозащитного троса, который происходит под тяжестью гололёдно-изморозевых отложений и действием ветра; перегрев грозозащитного троса с встроенным оптическим кабелем во время плавки гололёдно-изморозевых отложений выше допустимого значения температуры +80°С...+85°С приводящей к повреждению оптического кабеля.

Альтернативой плавке гололёдно-изморозевых отложений является профилактический подогрев участка грозозащитного троса с встроенным оптическим кабелем до положительной температуры индукционным способом от электромагнитных полей проводов двухцепной ВЛ 110-220 кВ в рабочем режиме. Применение в эксплуатации профилактического подогрева участка грозозащитного троса ВЛ 110-220 кВ требует уточнения математической модели для оценки необходимой величины тока.

Рассмотрена математическая модель для определения величины тока, необходимой для создания на поверхности грозозащитного троса с встроенным оптическим кабелем температуры +(1-2)°С, при которой гололёдно-изморозевые отложения не образуются. В основе математической модели используется уравнение теплового баланса проводника ВЛ в установившемся режиме, принятое в стандарте МЭК 61597.

В расчетном примере построены области допустимых значений температуры воздуха и скорости ветра для применения индукционного способа подогрева участка грозозащитного троса с встроенным оптическим кабелем на двухцепной ВЛ 220 кВ. Применение на двухцепной ВЛ 220 кВ индукционного способа профилактического подогрева участка грозозащитного троса марки ОКГТ, имеющего сечение алюминиевой части не менее 70 мм², эффективно при значении наведенного тока не менее 150А для метеорологических условий образования гололеда и мокрого снега.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи, грозозащитный трос с встроенным оптическим кабелем, гололёдно-изморозевые отложения, профилактический подогрев

DETERMINATION OF THE PREVENTIVE HEATING CURRENT OF A LIGHTNING PROTECTION CABLE WITH A BUILT-IN OPTICAL CABLE ON A 110-220 kV OVERHEAD LINE TO PREVENT THE FORMATION OF ICE-FROST DEPOSITS

E.A. Krotkov* , N.V. Besmenova, A.A. Shchobak

Samara State Technical University, Samara, Russian Federation

E-mail: *krotkov.e.a@gmail.com;

Abstract

Last climate changes in the world are expanding the list of region of the Russian Federation. For this region the need to prevent icy-frost deposits on wires and ground wires of 110-220 kV is becoming the main problem for grid companies in the autumn-winter period. Most of 110-220 kV overhead lines are equipped with an overhead ground-wire cable with incorporated optical cable designed to protect overhead lines from direct lightning strikes. Also this incorporated optical cable serves a function of an optical fiber link. In the autumn-winter period on the 110-220 kV overhead lines may the following accidental situations may occur: mechanical breakage of the overhead ground-wire cable which arise due to the weight of icy-frost deposits and the action of wind; overheating of the overhead ground-wire cable with incorporated optical cable during melting of icy-frost deposits above the permissible temperature of $+80^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$ resulting in damage to the optical cable.

Preventive heating of part the overhead to the positive temperature by induction method from electromagnetic fields of a double-chain 110-220 kV overhead lines is the alternative of ice melting. The use of preventive heating of a part of overhead ground-wire cable 110-220 kV on the job requires the refinement of a mathematical model to estimate the required current value.

A mathematical model is considered to determine the required current value to create a ground-wire cable with incorporated optical cable at a temperature of $+(1-2)^{\circ}\text{C}$, at which ice-frost deposits are not formed. The mathematical model is based on the equation of the thermal balance of the overhead line conductor in steady state, adopted in the IEC 61597 standard.

In the calculated example the ranges of permissible values of air temperature and wind speed are constructed for the use of an induction method for heating a part of a ground-wire cable with incorporated optical cable on a 220 kV double-chain overhead line. The use of an induction method for preventive heating of a part of a ground wires of the OKGT brand on a 220 kV double-chain overhead line having a cross section of an aluminum part of at least 70 mm^2 is effective at a value of induced current of at least 150A for meteorological conditions of ice and sleet formation.

Keywords: overhead power line, lightning protection wire with built-in optical cable, ice-frost deposits, preventive heating

Введение

Изменения климата в мире, происходящие в последнее время, расширяют список регионов Российской Федерации, для которых необходимость предотвращения гололёдно-изморозевых отложений (далее ГИО) на проводах и грозозащитных тросах ВЛ 110-220 кВ становится основной проблемой для сетевых компаний в осенне-зимний период. Отмечается рост количества ГИО на 38%, которые явились причиной технологических нарушений в электрических сетях напряжением 110-220 кВ, доля которых составила 47% от общего числа нарушений¹.

¹ Всероссийское совещание «Об итогах прохождения субъектами электроэнергетики и объектами жилищно-коммунального хозяйства отопительного сезона 2021-2022 годов, актуальных вопросах функционирования электроэнергетической отрасли» (Москва, 27.04.2022) – Текст: электронный//Минэнерго России: официальный сайт. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/21366> (дата обращения: 13.01.2023).

Образованию ГИО на проводах и грозозащитных тросах наиболее подвержены ВЛ 110-220 кВ ряда регионов Российской Федерации: Приморский край, Северный Кавказ, Северо-Запад, Поволжье². Во многих случаях ГИО образуется на ограниченном участке ВЛ, который в горных условиях может составлять всего несколько пролетов [1-3]. Образование ГИО приводит к увеличению механических нагрузок, которые представляют опасность для обрыва грозозащитного троса и последующему аварийному отключению ВЛ 110-220 кВ. Поэтому поиск технических решений проблемы предотвращения развития ГИО на грозозащитных тросах ВЛ 110-220 кВ является актуальным.

Материалы и методы

Гололёдно-изморозевые отложения включают различные виды обледенения, приведенные в таблице 1 [4]: гололёд образуется преимущественно (70%) при температуре от 0 до -2°C ; при таких же температурах наиболее часто (78%) наблюдается отложение мокрого снега; зернистая изморозь почти в равном числе случаев (примерно по 40%) образуется при температуре воздуха от 0 до -4°C и от -4 до -8°C ; кристаллическая изморозь чаще всего (45%) отмечается при температуре от -12 до -16°C ; сложное отложение в 72% случаев – при температуре от 0 до -4°C . Температурный диапазон для образования гололеда и мокрого снега строго ограничен, однако указанные виды обледенения образуются чаще других видов, могут продолжительно сохраняться на проводах и грозозащитных тросах ВЛ 110-220 кВ и являются наиболее опасными [5, 6].

Таблица 1

Метеорологические условия гололедообразования

Атмосферные явления	Вид обледенения	Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	Скорости ветра, м/с	
			средняя	максимальная
Морось, дождь, туман	гололёд	0...-4	0-15	40
Мокрый налипающий снег	мокрый снег	+1...-2	0-10	20-30
Туман, морось	зернистая изморозь	-3...-20	0-15	40
Туман, дымка	кристаллическая изморозь	-5...-30	0-3	5-7
Морось, дождь, туман, мокрый снег	сложное отложение	0...-20	1-15	30-40

Расчетную температуру воздуха при ГИО в высокогорных районах (с отметками выше 1000 м), а также на территории, лежащей к востоку от Енисея (за исключением береговой полосы океанов и морей) и к северу от 60-й параллели, рекомендуется принимать равной -10°C , для всей остальной территории России -5°C и считать её расчетной температурой не только для времени образования ГИО, но и для всего времени его существования [1, 7].

Применяемые на практике схемы плавки гололёда на грозозащитных тросах ВЛ основаны на использовании специального источника электроэнергии и имеют технические ограничения³. Грозозащитные тросы ВЛ 110-220 кВ изолированы от земли и имеют класс изоляции более низкий, чем провода ВЛ. Поэтому при подключении источника электроэнергии к грозозащитному тросу ВЛ приходится ограничивать длину участков плавки, так как повышение напряжения источника электроэнергии требует усиления изоляции грозозащитного троса, вызывающего необходимость увеличения пробивных напряжений искровых промежутков, защищающих эту изоляцию.

Большинство ВЛ 110-220 кВ оснащены грозозащитным тросом с встроенным оптическим кабелем (далее ГЗТ-ОК), предназначенным для защиты ВЛ от прямых ударов молнии, а также выполняющим функцию волоконно-оптической линии связи. ГЗТ-ОК располагается над проводами фаз и имеет изолированное крепление на

² СТО 56947007 - 29.240.01.189-2014. Методические указания по применению альбомов карт климатического районирования территории по субъектам РФ. ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС». Приказ ОАО «ФСК ЕЭС» от 03.10.2014 № 444. 95 с.

³ ГОСТ Р 59965-2021 "Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Электрические сети. Системы плавки гололеда на проводах и грозозащитных тросах линий электропередачи. Выбор и обоснование принципиальных технических решений" утвержден приказом Росстандарта от 23 декабря 2021 года N 1837-ст.

каждой опоре ВЛ. В эксплуатации ВЛ 110-220 кВ на ГЗТ-ОК возможно возникновение следующих аварийных ситуаций: механический обрыв ГЗТ-ОК, который может произойти под тяжестью ГИО и действием ветра; перегрев ГЗТ-ОК как при прохождении тока короткого замыкания [8], так и во время плавки ГИО выше допустимой температуры +80°C...+85°C, приводящей к повреждению оптического кабеля. Как показывает опыт эксплуатации⁴, чтобы успешно провести плавку гололеда с высокой плотностью 0,9 г/см³ за время 40-60 минут, не превышая допустимое значение температуры нагрева участков ГЗТ-ОК без гололеда, необходимо плавить гололед при толщине стенки гололедной муфты не более 10 мм. Также в случае плавки гололеда переменным током возможно локальное разрушение (обрыв) ГЗТ-ОК в результате термического воздействия тока плавки, величина которого превышает максимально допустимое значение тока плавки. Причиной такого превышения может служить замыкание ГЗТ-ОК на землю в случае разрушения изолированного крепления ГЗТ-ОК, а также вследствие нарушений при строительстве или ремонтах ГЗТ-ОК.

Альтернативой плавке ГИО является профилактический подогрев ГЗТ-ОК до температуры +(1-2)°C, при которой ГИО не образуются на его поверхности [7, 9]. В работах [10-13] приведен обзор индукционных способов подогрева участка грозозащитного троса ВЛ 110-500 кВ. В работе [13] рассмотрена математическая модель для оценки величины тока, индуктированного (наведенного) в контуре «грозозащитный трос – дополнительный проводник» магнитными полями токов двухцепной ВЛ 220 кВ в рабочем режиме. Для повышения величины наведенного тока в цепь замкнутого контура «грозозащитный трос – дополнительный проводник» включается конденсаторная установка, величина емкости которой определяется из условия создания резонанса напряжения.

Для определения величины тока профилактического подогрева ГЗТ-ОК используется математическая модель, в основе которой используется уравнение теплового баланса проводника ВЛ в установившемся режиме. В математической модели проводник (в рассматриваемом случае это грозозащитный трос с встроенным оптическим кабелем) конструктивно представлен упрощенно в виде полнотелого прямолинейного цилиндра [14].

Уравнение теплового баланса грозозащитного троса с встроенным оптическим кабелем ВЛ в установившемся режиме без ГИО имеет вид⁵:

$$I_{\text{доп}}^2 R_T + Q_{\text{сол}} = \sigma \pi d \varepsilon (T_H^4 - T_B^4) + \lambda_B \pi N u (T_H - T_B); \quad (1)$$

Левая часть уравнения (1) представляет собой активную мощность, выделяемую в ГЗТ-ОК (без процесса образования ГИО) вследствие нагрева электрическим током, правая – потери мощности на теплоотдачу в окружающую среду, где первое слагаемое определяет мощность излучения с поверхности ГЗТ-ОК, а второе – мощность конвективного теплообмена.

В уравнении (1) приняты следующие обозначения:

$I_{\text{доп}}$ – допустимое значение тока, А;

R_T – электрическое сопротивление ГЗТ-ОК при температуре $T_{\text{доп}}$, Ом/км;

T_H – температура нагрева ГЗТ-ОК, К;

Сопротивление R_T при температуре t_H , отличной от номинальной (+20°C), рассчитывается с учетом температурного коэффициента электрического сопротивления α по выражению:

$$R_T = R_{T20} [1 + \alpha(t_H - 20)]; \quad (2)$$

где:

R_{T20} – сопротивление ГЗТ-ОК постоянному току при температуре +20°C, Ом/км;

α – температурный коэффициент электрического сопротивления, °C⁻¹.

$Q_{\text{сол}}$ – нагрев ГЗТ-ОК от солнечного излучения, Вт/м; (в период образования ГИО характерно полное отсутствие солнечного излучения, поэтому величиной $Q_{\text{сол}}$ пренебрегают);

4 СТО 56947007-29.060.50.122-2012. Руководство по расчету режимов плавки гололеда на грозозащитном тросе со встроенным оптическим кабелем (ОКГТ) и применению распределенного контроля температуры ОКГТ в режиме плавки. Москва, 2012. – 119 с.

5 МЭК 61597, 1995-05. Провода электрические для воздушных линий электропередач. Методы расчета для скрученных голых проводов.

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) – постоянная Стефана-Больцмана;
 d – диаметр ГЗТ-ОК, м;
 ε – коэффициент излучения поверхности ГЗТ-ОК по отношению к абсолютно черному телу; (значение коэффициента излучения принимается в диапазоне от 0,2 до 0,9 в зависимости от цвета оксида алюминия на поверхности ГЗТ-ОК);
 t_B – температура воздуха, °С;
 T_B – температура воздуха, К;

Nu, Re – числа Нуссельта и Рейнольдса, определяемые по выражениям [14]:

$$\begin{aligned}
 Nu &= 0,65 Re^{0,2} + 0,23 Re^{0,61}; \\
 Re &= 1,644 \cdot 10^9 \nu d [(T_B + 0,5 (T_H - T_B))]^{-1,78};
 \end{aligned}
 \quad (3)$$

где:

ν – скорость ветра, м/с;
 λ_B – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·К);

Расчетные значения коэффициента теплопроводности воздуха λ_B определяются в зависимости от температуры воздуха t_B в зоне расположения ВЛ 110-220 кВ [15]:

$$\lambda_B = 2,424 \cdot 10^{-2} + 7,477 \cdot 10^{-5} t_B - 4,407 \cdot 10^{-9} t_B^2; \quad (4)$$

В режиме профилактического подогрева ГЗТ-ОК до температуры T_H равной +(1-2)°С, при которой ГИО не образуются на его поверхности, уравнение теплового баланса описывается выражением [7]:

$$I_{\text{по}}^2 R_T = \sigma \pi d \varepsilon (T_H^4 - T_B^4) + \lambda_B \pi Nu (T_H - T_B) + c_{\text{вд}} m' (T_H - T_B); \quad (5)$$

В этом уравнении последнее слагаемое учитывает часть активной мощности, расходуемой на нагрев частиц переохлажденной воды с удельной теплоемкостью $c_{\text{вд}} = 4,18$ Вт·с/(г·°С) и температурой T_B , оседающей на поверхности ГЗТ-ОК длиной 1 метр со скоростью m' , г/(м·с), определяемой по выражению [7]:

$$m' = G_{\text{л}} / (24 \cdot 60 \cdot 60) = 715 / 86,4 \cdot 10^3 = 8,28 \cdot 10^{-3} \text{ г / (м·с)}; \quad (6)$$

где:

$G_{\text{л}} = 715$ г/м, масса гололёдной муфты, которая образуется в течение 24 часов на поверхности ГЗТ-ОК длиной 1 метр, с толщиной стенки 10 мм.

Необходимая величина наведённого тока $I_{\text{по}}$ для профилактического подогрева участка грозозащитного троса с встроенным оптическим кабелем на ВЛ 110-220 кВ определяется по выражению:

$$I_{\text{по}} = [(\sigma \pi d \varepsilon (T_H^4 - T_B^4) + \lambda_B \pi Nu (T_H - T_B) + c_{\text{вд}} m' (T_H - T_B)) / R_T]^{0,5}; \quad (7)$$

Результаты

Рассмотрим пример расчета величины тока профилактического подогрева грозозащитного троса с встроенным оптическим кабелем на двухцепной ВЛ 220 кВ при следующих данных метеопараметров: температура воздуха $t_B = -2$ °С; скорость ветра $\nu = 2$ м/с; направление ветра перпендикулярно оси трассы ВЛ 220 кВ; масса гололёдной муфты $G_{\text{л}} = 715$ г/м с толщиной стенки 10 мм, которая образуется в течение 24 часов на поверхности ГЗТ-ОК длиной 1 метр. Основные характеристики грозозащитного троса с встроенным оптическим кабелем марки ОКГТ⁶ приведены в таблице 2, а его сечение приведено на рис. 1.

6 Кабель ОКГТ-с. – Текст: электронный//ООО «САРАНСКАБЕЛЬ-ОПТИКА»: официальный сайт. – URL: <https://sarko.ru/okgt-s-cable.html> (дата обращения: 06.02.2023).

Основные характеристики ОКГТ

Диаметр провода, d , мм;	13,35
Сечение алюминий/сталь, мм ²	68,71/31,6
Электрическое сопротивление постоянному току при температуре +20°C, R_{T20} , Ом/км	0,416
Температурный коэффициент электрического сопротивления, α , °C ⁻¹	0,0036

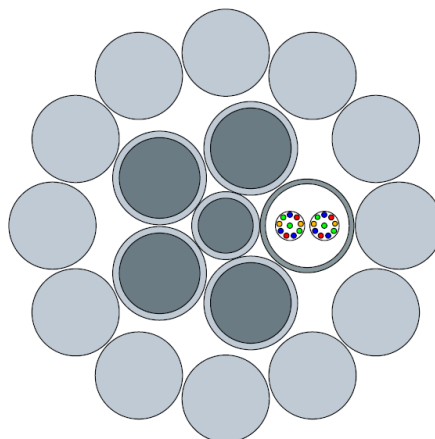


Рисунок 1. Сечение грозозащитного троса марки ОКГТ (внешний повив из алюминиевых проволок)

Теплофизические данные: удельная теплоемкость воды $c_{\text{вд}} = 4,18 \text{ Вт} \cdot \text{с}/(\text{г} \cdot \text{°C})$; коэффициент излучения поверхности ГЗТ-ОК $\varepsilon = 0,6$;
 Рассчитывается активное сопротивление ГЗТ-ОК при его температуре нагрева +2°C:

$$R_T = R_{T20} [1 + \alpha(t-20)] = 0,416 [1 + 0,0036 (2 - 20)] = 0,389 \text{ Ом/км};$$

Вычисляется число Рейнольдса для температуры воздуха $t_B = -2^\circ\text{C}$:

$$\begin{aligned} T &= t_B + 273 = -2 + 273 = 271 \text{ K}; \\ T_H^p &= t_H^p + 273 = 2 + 273 = 275 \text{ K}; \\ Re &= 1,644 \cdot 10^9 \text{ vd} [(T_B + 0,5(T_H - T_B))]^{-1,78} \\ &= 1,644 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 0,01335 [271 + 0,5(275-271)]^{-1,78} = 2045 \end{aligned}$$

Вычисляется число Нуссельта:

$$Nu = 0,65Re^{0,2} + 0,23 Re^{0,61} = 2,98 + 24,06 = 27,04;$$

Рассчитывается значение коэффициента теплопроводности воздуха λ_B для температуры воздуха $t_B = -2^\circ\text{C}$:

$$\begin{aligned} \lambda_B &= 2,424 \cdot 10^{-2} + 7,477 \cdot 10^{-5} t_B - 4,407 \cdot 10^{-9} t_B^2 \\ &= 2,424 \cdot 10^{-2} + 7,477 \cdot 10^{-5} \cdot (-2) - 4,407 \cdot 10^{-9} \cdot (-2)^2 \\ &= 0,02422 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K}); \end{aligned}$$

Далее рассчитывается величина тока $I_{\text{по}}$ профилактического подогрева участка ГЗТ-ОК:

$$\begin{aligned} I_{\text{по}} &= \sqrt{\frac{\sigma \pi d \varepsilon (T_H^4 - T_B^4) + \lambda_B \pi Nu (T_H - T_B) + c_{\text{вд}} m' (T_H - T_B)}{R_T}} = \\ &= \sqrt{\frac{5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \pi \cdot 0,01335 \cdot 0,6(275^4 - 271^4) + 0,02422 \cdot \pi \cdot 27,04 \cdot 4 + 4,18 \cdot 8,28 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{0,389 \cdot 10^{-3}}} \\ &= 150,7 \text{ A}; \end{aligned}$$

Для значения наведённого тока 150А построена область эффективного применения профилактического подогрева участка грозозащитного троса марки ОКГТ на двухцепной ВЛ 220 кВ в зависимости от значений температуры воздуха и силы ветра (рис. 2).

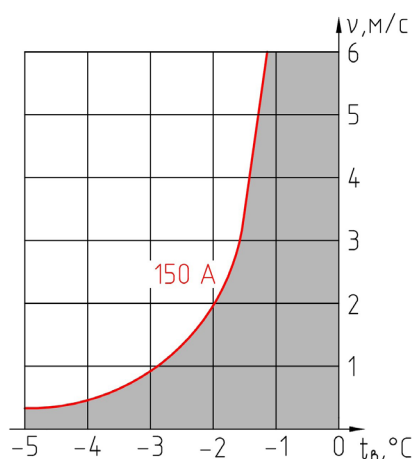


Рисунок 2. Область (тёмный фон) эффективного применения профилактического подогрева участка грозозащитного троса марки ОКГТ

Результаты расчета области допустимых значений метеопараметров указывают на эффективность применения индукционного способа профилактического подогрева участка грозозащитного троса марки ОКГТ, имеющего сечение алюминиевой части не менее 70 мм² [7]. Увеличение области эффективного применения профилактического подогрева может быть достигнуто включением в цепь контура «грозозащитный трос - дополнительный проводник» дополнительного источника постоянного тока.

Выводы

Разработана методика определения величины тока профилактического подогрева участка грозозащитного троса с встроенным оптическим кабелем на ВЛ 110-220 кВ для предотвращения образования ГИО.

Применение на двухцепной ВЛ 220 кВ индукционного способа профилактического подогрева участка грозозащитного троса марки ОКГТ, имеющего сечение алюминиевой части не менее 70 мм², эффективно для метеорологических условий образования гололёда и мокрого снега при значении наведённого тока не менее 150А.

Список литературы:

1. Методические указания по расчету климатических нагрузок на ВЛ и построение региональных карт с повторяемостью 1 раз в 25 лет. М., 1990.
2. Бучинский В.Е. Атлас обледенения проводов. // Бучинский В.Е.: под ред. Заморского А.Д.. 2-е изд. доп. Л.. 1966. 116 с.
3. Подрезов О.А. Опасные скорости ветра и гололедные отложения в горных районах. // Л., 1990. 223 с.
4. Глухов В.Г. Метеорологические условия образования гололеда. // Тр. ГГО, 1972. Вып. 311.
5. Никифоров Е.П. Повышение эффективности удаления гололедообразования с проводов ВЛ. // Электрические станции. 2004. №4.
6. Басов В.С. Защита высоковольтных линий электропередачи от налипания мокрого снега на проводах. // Электрические станции. 1962. № 12. С. 58-62.
7. Левченко И.И., Засыпкин А.С., Аллилуев А.А., Сацук Е.И. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах: учеб. пособие. Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2006. 494 с.
8. Гуревич Л.М., Даненко В.Ф., Проничев Д.В., Трунов М.Д. Моделирование температуры и плотности тока в грозозащитном тросе с оптическим кабелем связи при прохождении тока короткого замыкания // Энергия единой сети. 2014. № 5. С. 16–23.
9. Masoud Farzaneh. Atmospheric Icing of Power Networks. Springer Science Business Media B.V. 2008. ISBN: 978-1-4020-8530-7. 388 p.

10. Балыбердин Л.Л., Галанов В.И., Крайчик Ю.С., Краснова Б.П., Лозинова Н.Г., Мазуров М.И. Индукционная плавка гололеда на грозозащитных тросах воздушных линий электропередачи. Электрические станции. 2002. № 1. С. 31-37.
11. Шовкопьяс С.С. Способ предотвращения гололедообразования на грозозащитных тросах воздушной линии электропередачи сверхвысокого напряжения наведенными токами без вывода ее из работы // Энергетик. 2018. № 8. С. 13–20.
12. Засыпкин А.С., Засыпкин А.С. (мл.). Профилактический обогрев грозозащитных тросов воздушных линий наведенным током. // Изв. вузов. Электромеханика. 2018. Том 61. № 2. С. 99–106.
13. Кротков Е.А., Безменова Н.В., Щобак А.А. Учёт провисания проводов в пролете ВЛ 220 кВ при определении тока, наведенного в грозозащитном тросе магнитными полями токов фаз. Вестник СамГТУ, Серия Технические науки. Том 30. №1. С. 106-117.
14. Полянин А.Д., Вязьмин А.В., Журов А.И., Казенин Д.А. Справочник по точным решениям уравнений тепло- и массопереноса. М., 1998. С.368
15. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. 2-е изд., доп. и перераб. М. 1972. С.721.

References:

1. Metodicheskie ukazaniya po raschetu klimaticheskikh nagruzok na VL i postroenie regional'nykh kart s povtoryaemost'yu 1 raz v 25 let. Moscow, 1990. (In Russ.)
2. Buchinskij V. E. Atlas obledeneniya provodov. // Buchinskij V.E.: pod red. Zamorskogo A.D. 2-e izd. dop. - L, 1966. 116 p. (In Russ.)
3. Podrezov O.A. Opasnye skorosti vetra i gololednye otlozheniya v gornyh rajonah. // L. 1990. 223 p. (In Russ.)
4. Gluhov V.G. Meteorologicheskie usloviya obrazovaniya gololeda. // Tr. GGO, 1972, no. 311. (In Russ.)
5. Nikiforov E.P. Povyshenie effektivnosti udaleniya gololedoobrazovaniya s provodov VL. // Elektricheskie stancii, 2004, vol.4. (In Russ.)
6. Basov V.S. Zashchita vysokovol'tnykh linij elektroperedachi ot nalipaniya mokrogo snega na provodah. // Elektricheskie stancii, 1962. no. 12. Pp. 58-62. (In Russ.)
7. Levchenko I.I., Zasyupkin A.S., Alliluev A.A., Sacuk E.I. Diagnostika, rekonstrukciya i ek-spluataciya vozдушnykh lini elektroperedachi v gololednykh rajonah. Novocherkassk, 2006, 494 p. (In Russ.).
8. Gurevich L.M., Danenko V.F., Pronichev D.V., Trunov M.D. Modelirovanie temperatury i plotnosti toka v grozozashchitnom trose s opticheskim kabelem svyazi pri prohozhdenii toka korotkogo замыканиya // Energiya edinoj seti. 2014, no 5, pp. 16–23. (In Russ.).
9. Masoud Farzaneh. Atmospheric Icing of Power Networks. Springer Science Business Media B.V. 2008. ISBN: 978-1-4020-8530-7. 388 p.
10. Balyberdin L.L., Galanov V.I., Krajchik YU.S., Krasnova B.P., Lozinova N.G., Mazurov M.I. Indukcionnaya plavka gololeda na grozozashchitnykh trosah vozдушnykh linij elektroperedachi. Elektricheskie stancii. 2002, no 1, pp. 31-37. (In Russ.).
11. SHovkoplyas S. S. Sposob predotvrashcheniya gololedoobrazovaniya na grozozashchitnykh trosah vozдушnoj linii elektroperedachi sverhвысокого napryazheniya navedennymi tokami bez vyvoda ee iz raboty // Energetik. 2018, no 8, pp. 13–20. (In Russ.).
12. Zasyupkin A.S., Zasyupkin A.S. (jr.). Profilakticheskij obogrev grozozashchitnykh trosov vozдушnykh linij navedyonnym tokom. // Izv. vuzov. Elektromekhanika. 2018. Vol 61, no 2, pp. 99–106. (In Russ.).
13. Krotkov E.A., Bezменова N.V., SHCHobak A.A. Uchet provisaniya provodov v prolete VL 220 kV pri opredelenii toka, navedennogo v grozozashchitnom trose magnitnymi polyami tokov faz. Vestnik SamGTU, Seriya Tekhnicheskie nauki. Vol 30, no1, pp. 106-117. (In Russ.).
14. Polyanin A.D., Vyaz'min A.V., ZHurov A.I., Kazenin D.A. Spravochnik po tochnym resh-eniyam uravnenij teplo- i massoperenosa. Moscow, 1998. 368 p. (In Russ.).
15. Vargaftik N.B. Spravochnik po teplofizicheskim svojstvam gazov i zhidkostej. M., 1972, 721 p. (In Russ.).

Научная статья

УДК 551.58, 551.590.21

DOI: 10/24412/2658-4255-2023-1-13-19



EDN: BVXTZJ

Для цитирования:

Мискевич И.В., Котова Е.И.
Оценка возможности
прогнозирования экстремумов
гидрометеорологических
параметров с помощью
индекса солнечной активности
// Российская Арктика. 2023.
Том 5(1). С. 13–19
<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2023-1-13-19>

Получена: 30.01.2023
Принята: 16.03.2023
Опубликована: 30.03.2023

For citation:

Miskevich I.V., Kotova E.I.
Assessment of the possibility
of forecasting
hydrometeorological
extremes using the solar
activity index // Russian
Arctic, 2023; Vol 5(1):
p.p. 13-19. (In Russ.).
<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2023-1-13-19>

Работа выполнена в рамках
темы госзадания FMWE-
2021-0015 «Экстремальные
опасные явления, связанные
с Мировым океаном».



ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКСТРЕМУМОВ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ С ПОМОЩЬЮ ИНДЕКСА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

И.В. Мискевич^{1,2} , Е.И. Котова^{1,2,*} ¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия² Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, Архангельск, РоссияE-mail: *ecopp@yandex.ru

Аннотация

В работе приведены результаты исследований корреляционных полей чисел Вольфа и гидрометеорологических параметров (температура воздуха, воды, годовая сумма осадков, высота снежного покрова) для ряда пунктов в западном секторе российской Арктики (Норильск, Индига, Унский Маяк, Холмогоры). Числа Вольфа используются в качестве индикатора солнечной активности. На диаграмме рассеяния для каждого интервала чисел Вольфа, протяженностью 25 единиц, определяется повторяемость искомого экстремума. Корреляционные поля имеют квазитреугольную форму или комбинацию квазипрямоугольника и треугольника. Наиболее высокая вероятность появления геоэкологических аномалий наблюдается в диапазоне чисел Вольфа 0-125. При дальнейшем увеличении значений вероятность наступления экстремального значения заметно снижается. Под геоэкологическими аномалиями в данной случае авторы подразумевают природные события на поверхности Земли с повторяемостью менее 10%, которые могут повлечь за собой катастрофические последствия для экосистем, её отдельных районов или локальных зон. Для хозяйственной деятельности, имеющей риски возникновения аварийных ситуаций, вследствие влияния гидрометеорологических процессов, наиболее «спокойные» годы характерны для периода максимальной солнечной активности, наиболее «тревожные» годы – для периода минимальной солнечной активности. При наличии нелинейной конфигурации границ диаграмм рассеяния солнечно-земных связей можно использовать одномерные регрессионные модели при предварительной линейаризации таких связей. В этом случае достоверность определения погрешности прогнозных расчетов увеличивается. Предложенный статистический анализ корреляционных полей, разделенных на определенные интервалы солнечной активности, позволяет в ряде ситуаций получать прогнозы гидрометеорологических экстремумов, способных сформировать геоэкологические аномалии. Метод может быть использован для уточнения долгосрочных гидрометеорологических и экологических прогнозов. Кроме того, он может быть использован в качестве альтернативного способа выявления возможности проявления геоэкологических аномалий.

Ключевые слова: геоэкология, аномалия, Солнце, числа Вольфа, гидрометеорология, Арктика, корреляция, регрессия

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF FORECASTING HYDROMETEOROLOGICAL EXTREMES USING THE SOLAR ACTIVITY INDEX

I.V. Miskevich^{1,2} , E.I. Kotova^{1,2,*} ¹ Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia² Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russiae-mail: *ecopp@yandex.ru

Abstract

The paper presents the results of research of correlation fields of the relationship between Wolf number and hydrometeorological parameters (air and water temperature, annual precipitation, snow cover height) for a number of points in the western sector of the Russian Arctic (Norilsk, Indiga, Unsky Mayak, Kholmogory). Wolf numbers are used as an indicator of solar activity. It is proposed to determine the recurrence of the sought extremum on the scattering diagram for each interval of Wolf numbers with a length of 25 units. Correlation fields have a quasi-triangular shape or a combination of a quasi-rectangle and a triangle. The highest probability of geocological anomalies is observed in the range of Wolf numbers "0-125". At the further increase of values probability appreciably decreases. Under geocological anomalies in this case the authors mean natural events on the surface of the Earth with a frequency of less than 10%, which can entail disastrous consequences for ecosystems, its individual regions or local zones. For economic activity, which has risks of emergency situations due to the influence of hydrometeorological processes, the most «calm» years are typical for the period of maximum solar activity, the most «disturbing» years are typical for the period of minimum solar activity. In the presence of nonlinear configuration of scattering diagram boundaries in the plots of solar-terrestrial relations, we can use one-dimensional regression models with preliminary linearization of such relations. In this case, the reliability of determining the error of the predictions increases. Statistical analysis of correlation fields divided on certain intervals of solar activity allows obtaining forecasts of hydrometeorological extremes capable of forming geocological anomalies in a number of situations. The method can be used for specifying longterm hydrometeorological and ecological forecasts. This approach can be used as an alternative way of detecting geocological anomalies.

Keywords: geocology, anomaly, Sun, Wolf numbers, hydrometeorology, Arctic, correlation, regression

Введение

Наличие тесной связи солнечной активности с гидрометеорологическими и другими природными процессами на Земле является дискуссионной темой. Есть мнение, что не существует высокой и устойчивой корреляции между ними, пригодной для общепланетарного ведения прикладных прогнозных расчетов с высокой достоверностью [1]. В тоже время имеются отдельные успехи в этой области, но они касаются только локальных районов и конкретных природных процессов с привязкой к солнечной активности [2, 3]. Данная ситуация обусловлена большой «зашумленностью» солнечно-земных связей и зависимостью природных процессов от очень большого количества влияющих земных факторов на фоне доминирования нелинейного характера связей между различными событиями. Тем не менее, в ряде исследований зафиксирована достаточно высокая вероятность наступления определенного природного события на конкретном отрезке циклической изменчивости солнечной активности. Это позволяет обратиться к более детальному статистическому анализу корреляционных полей солнечно-земных связей.

Цель работы заключалась в оценке возможности использования метода статистического анализа корреляционных полей, отражающих связь солнечной активности с гидрометеорологическими характеристиками, для прогнозирования их экстремальных значений, которые способны генерировать геоэкологические аномалии.

Под геоэкологическими аномалиями в данной статье авторы подразумевают природные события редкой повторяемости (менее 10%) на поверхности Земли, которые могут повлечь за собой катастрофические последствия для экосистем, её отдельных районов или локальных зон. Этот термин не является стандартным (устоявшимся), но он подчеркивает суть негативного события, которое является не типичным для сложившихся за многие годы связей природных и техногенных (антропогенных) процессов. Здесь необходимо подчеркнуть, что в отсутствие общепринятых количественных критериев величина 10% принята авторами применительно к условиям рассматриваемой задачи.

В первую очередь, это касается гидрометеорологических процессов, способных разрушить различные промышленные объекты или иным способом повлиять на их

работу, что, в конечном счете, приводит к масштабному загрязнению окружающей среды и (или) к массовой гибели охраняемых представителей флоры и фауны. Например, аномально жаркое лето в условиях Арктики способно вызвать деформации фундаментов строений на объектах хранения токсических веществ, их разрушение и последующее попадание таких веществ в окружающую среду. Очень высокая величина влагозапаса снежного покрова в сочетании с очень жаркой весной способна вызвать на северных реках паводок, который может затопить территории расположения вышеупомянутых объектов и вызвать высокое загрязнение (до 100 ПДК и более) поверхностных вод. Резкое похолодание температуры воды осенью способно спровоцировать очень быстрое образование льда на портовой акватории и в сочетании со штормовыми условиями негативно повлиять на операции по разгрузке (погрузке) судов, в том числе, повлекшее за собой значительное загрязнение морских вод.

Следует также заметить, что возникновение гидрометеорологических экстремумов редкой повторяемости может вызвать геоэкологические аномалии природного генезиса. К ним, например можно отнести замор лосевых рыб в тундровых реках и озерах при их аномальном прогреве (до 23-25°C и выше) в летний период.

При рассмотрении факторов, пригодных для прогнозирования геоэкологических аномалий, сразу обращает на себя внимание солнечная активность. Это параметр, с одной стороны, не зависит от сложных процессов, происходящих в биосфере и геосфере Земли, с другой стороны, активность Солнца полностью определяет возможность существования биосферы нашей планеты [4].

В качестве индикатора солнечной активности обычно применяют числа Вольфа. Это числовой показатель, формируемый количеством солнечных пятен на рассматриваемой звезде. В колебаниях данного параметра наиболее отчетливо выделяется одиннадцатилетний цикл.

В результате анализа его временных рядов установлено, что цикличность солнечной активности является суперпозицией, по крайней мере, трех основных составляющих: 1) одиннадцатилетней (64% дисперсии исходного ряда), 2) вековой (18% дисперсии исходного ряда), 3) квазидвухлетней (11% дисперсии исходного ряда) [5].

Статистический анализ корреляционных полей солнечно-земных связей был использован авторами ранее в работе, посвященной исследованиям зависимости экстремально высоких весенних уровней воды в дельте р. Северная Двина от изменчивости чисел Вольфа [6]. Было выявлено, что максимальная вероятность его появления наблюдается в диапазоне чисел Вольфа 101–125. При более высоких значениях чисел Вольфа наблюдалась линейная тенденция к снижению вероятности появления экстремально высоких уровней до нулевого значения.

В данной статье для того, чтобы оценить возможность использования метода статистического анализа диаграмм рассеяния при прогнозировании геоэкологических аномалий, были проведены расчеты для различных гидрометеорологических параметров в западном секторе российской Арктики.

Материалы и методы

В работе были использованы значения гидрометеорологических параметров в западном секторе российской Арктики, который включает в себя акватории Баренцева, Печорского и Карского морей с прилегающей материковой зоной:

- среднее значение температура воздуха в мае на гидрометеостанции (ГМС) Норильск за 1933-2020 гг.,
- годовая сумма осадков на ГМС Индига (побережье Баренцева моря) в период 1924-2020 гг.,
- среднее значение температуры воды в октябре на ГМС Унский Маяк в Белом море в период 1975-2008 гг.,
- высота снежного покрова в период максимального влаг запаса (март) на ГМС Холмогоры (Архангельская область) ежегодно за 1966-2020 гг.

Данные получены из Государственного фонда данных о состоянии природной среды. Выборка данных проводилась с использованием Web-технологией «Аисори – Удаленный доступ к ЯОД-архивам»¹.

Данные по числам Вольфа были получены с использованием ресурсов Геоинформационного портала «МЕТЕО ДВ»².

Для анализа данных были построены диаграммы рассеяния для чисел Вольфа и значений гидрометеорологических параметров. Далее на соответствующей диаграмме рассеяния ось чисел Вольфа делилась на равные интервалы, протяженностью 25 единиц, и для каждого такого интервала определялась повторяемость искомого экстремума.

1 <http://meteo.ru/it/178-aisori>

2 <http://meteo-dv.ru/geospace/averageMonthW>

Результаты и обсуждение

Анализ корреляционных полей многолетних наблюдений (1924–2020 гг.) за различными гидрометеорологическими параметрами на сети станций Росгидромета, включая данные представленные на рис.1, позволяет предположить следующее. Корреляционное поле представлено либо квазитреугольной формой с максимумом дисперсии точек в области низких значений солнечной активности (температура воздуха, годовая сумма осадков), либо сочетанием квазипрямоугольника в диапазоне 0–150 чисел Вольфа (при наличии высокой дисперсией точек) с более коротким треугольником с вершиной на участке 225 и выше чисел Вольфа (температура воды, высота снежного покрова).

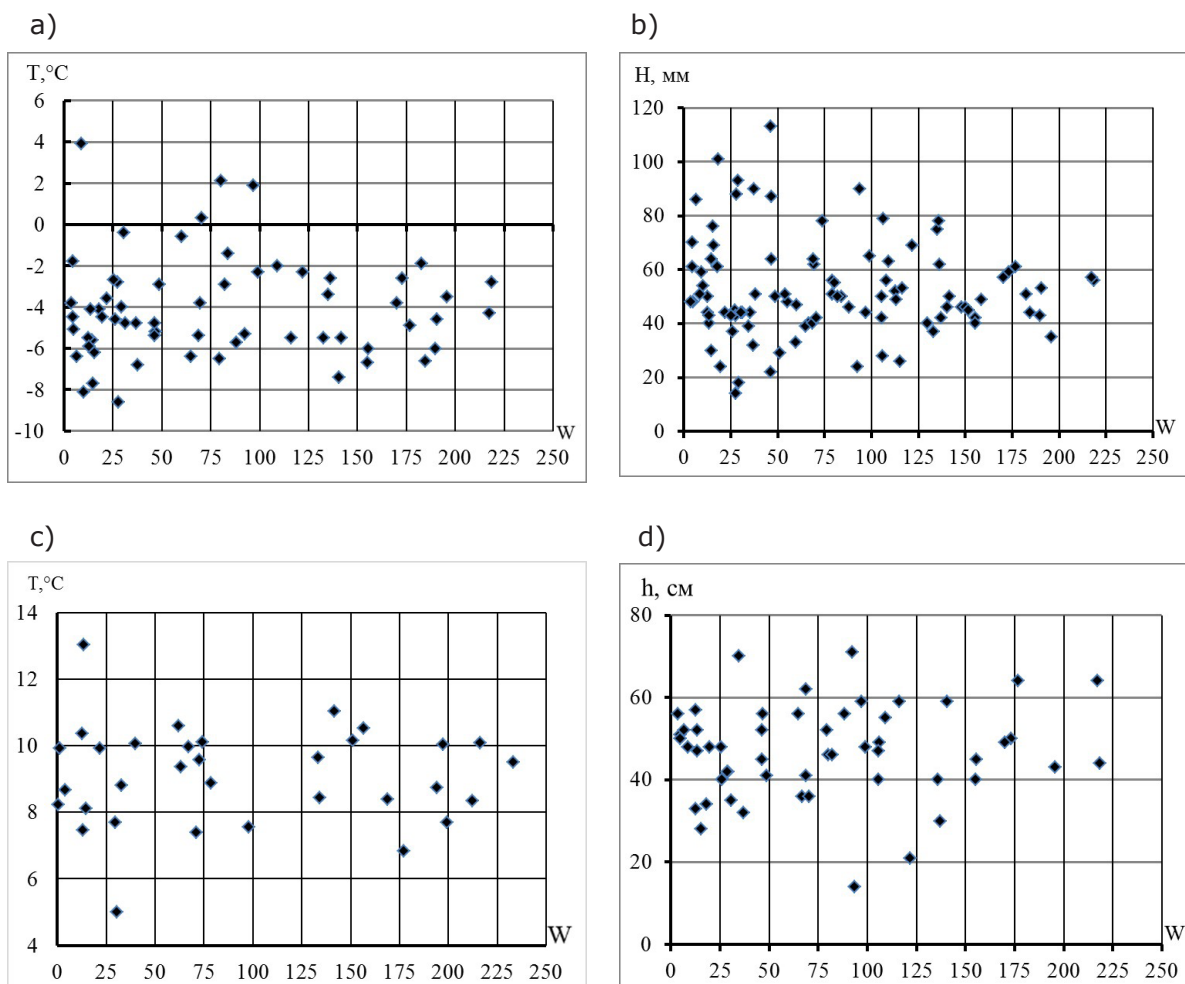


Рисунок 1. Диаграммы рассеяния годовых чисел Вольфа (W) и гидрометеорологических параметров

a) температура воздуха в мае на ГМС Норильск; б) годовая сумма осадков на ГМС Индига в Баренцевом море; в) температура воды в октябре на ГМС Унский Маяк в Белом море; д) высота снежного покрова в марте на ГМС Холмогоры

В ряде ситуаций для треугольных конфигураций корреляционных точек, как и в работе [6], удастся получить линейные зависимости их границ, что позволяет рассчитывать (прогнозировать) экстремумы гидрометеорологических параметров для определенной фазы солнечной активности.

В качестве примера можно привести линейные зависимости максимальных сумм годовых осадков на ГМС Индига, расположенной на побережье юго-востока Баренцева моря, и температуры воздуха на ГМС Норильск в мае от значений чисел Вольфа (рис. 2).

Отметим, что в районе Индиги планируется строительство арктического глубоководного порта, и в годы с аномально высокими атмосферными осадками за счет размыва почвенного покрова и образования обширной микродренажной системы в морские воды может попасть большое количество взвеси и других загрязняющих веществ.

Рассмотрим другой пример. В г. Норильск 29 мая 2020 года в результате аварии произошел разлив большого объема дизельного топлива. Считается, что это

была одна из крупнейших утечек нефтепродуктов в арктической зоне [7]. Анализ данных показал, что именно в мае 2020 г. здесь была зафиксирована экстремально высокая температура воздуха – + 3,9°C, с повторяемостью 5,9% для интервала чисел Вольфа 0–25 (рис. 1). Высокая температура воздуха, вероятнее всего, обусловила сильное протаивание многолетнемерзлых пород в рассматриваемом арктическом районе, повлекшее за собой аварийную ситуацию на хранилище дизельного топлива.

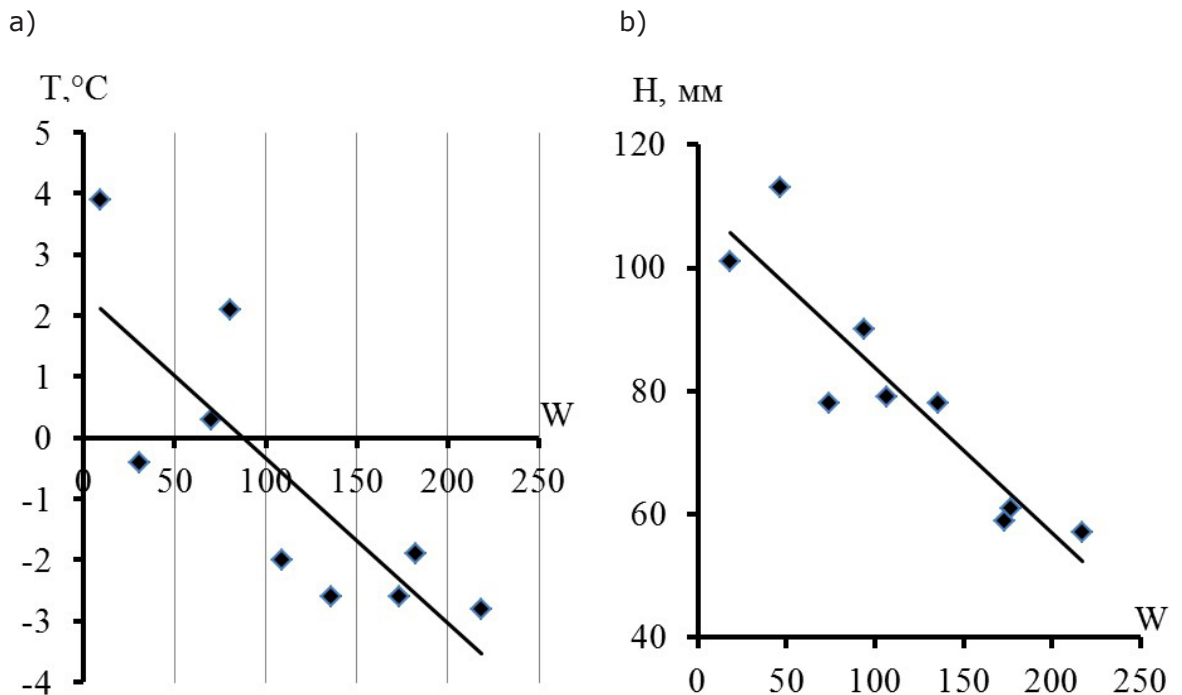


Рисунок 2. Графики связи годовых чисел Вольфа (W)
 а) с максимальными температурами воздуха в мае на ГМС Норильск (T , °C);
 б) с максимальной годовой суммой осадков на ГМС Индига (H , мм)

Для определения вышеупомянутых зависимостей воспользуемся стандартной линейной регрессионной моделью, которая имеет следующий вид:

$$C = A + B \times W + f(\varepsilon)_{95} \quad (1)$$

где C – значение исследуемого показателя;
 W – значение «управляющего» параметра (число Вольфа),
 A и B – константы, определяемые по эмпирическим данным;

$f(\varepsilon)$ – функция ошибок (регрессионных остатков) 95% обеспеченности, показывающая различия между действительными и расчетными значениями C , которая определяется по следующей формуле:

$$\varepsilon_{95} = \pm \sigma_c \times t_{st} \times (1-R^2)^{0.5} \quad (2)$$

где σ_c – среднее квадратичное отклонение для выборки C ;
 t_{st} – критерий Стьюдента, зависящий от размера выборки;
 R – коэффициент линейной корреляции.

Соответствующие уравнения приведены в таблице 1, их вид показан на рис. 2. Необходимо отметить, что по критериям методического пособия Росгидромета³ уравнение для максимальных сумм осадков на ГМС Индига в определенных интервалах чисел Вольфа пригодно для ведения прогнозных расчетов.

Для расчета гидрометеорологических экстремумов при наличии нелинейной конфигурации границ диаграммы рассеяния солнечно-земных связей можно использовать одномерные регрессионные модели при предварительной линейаризации таких связей. Последняя операция означает перевод нелинейных зависимостей в квазилинейные путем использования элементарных функций, например, при логарифмировании коррелируемых показателей. В этом случае мы получаем возможность

более достоверного определения погрешности прогнозных расчетов.

Таблица 1

Регрессионные уравнения для зависимости годовой суммы осадков на ГМС Индига (H) и температуры воздуха на ГМС Норильск в мае (T) от годового значения чисел Вольфа (W)

№ п/п	Расчетный показатель	Вид уравнения	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации	Ошибка расчетов
1	Сумма осадков, мм	$H = -0,268W + 110,6$	- 0,911	0,830	± 18,4
2	Температура воздуха, °С	$T = 0,0269W + 2,36$	- 0,811	0,658	± 3,20

В свою очередь, данные фазу или конкретное число Вольфа можно получить прогнозным расчетом [8, 9], или оценить на основе качественной оценки, учитывая одиннадцатилетнюю доминанту в многолетних колебаниях солнечной активности. В данной статье мы не касаемся гидрометеорологических критериев, способных вызвать конкретные геоэкологические аномалии в западном секторе российской Арктики, т.к. эта проблема требует отдельного рассмотрения.

В качестве первого приближения можно ориентироваться на критерии опасных природных явлений (ОЯ), используемых в системе Росгидромета при составлении гидрометеорологических прогнозов. При отсутствии таковых можно воспользоваться экспертными оценками, методология которых подробно описана в монографии [10].

Выводы

Проведенные исследования показали, что для различных районов западного сектора российской Арктики связь гидрометеорологических параметров, способных нормировать геоэкологические аномалии, с числами Вольфа имеет свой индивидуальный характер. В ряде ситуаций прогнозные экстремумы таких параметров можно рассчитать через одномерные регрессионные модели, учитывающие конфигурацию границ корреляционных полей солнечно-земных связей.

Наиболее высокая вероятность появления геоэкологических аномалий, связанных с гидрометеорологическими экстремумами, наблюдается в диапазоне чисел Вольфа 0–125, при их дальнейшем увеличении она заметно снижается вплоть до нулевого значения.

Для хозяйственной деятельности с наличием рисков возникновения аварийных ситуаций, способных вызвать геоэкологические аномалии («катастрофы»), наиболее «спокойные» годы характерны для периода максимальной солнечной активности, наиболее «тревожные» годы – для периода минимальной солнечной активности.

Рассмотренный подход к прогнозированию геоэкологических аномалий не может претендовать на роль прогнозного метода, соблюдающего соответствующие методические требования Росгидромета. Тем не менее, он может служить дополнительным инструментом для уточнения долгосрочных гидрометеорологических и экологических прогнозов или выступать в качестве альтернативного способа выявления геоэкологических аномалий. Его также можно рекомендовать при ведении проектных работ по строительству промышленных и иных объектов, в том числе, для выбора наиболее «экологически безопасного» периода строительства.

Список литературы:

1. Хромов С.П. Солнечные циклы и климат // Метеорология и гидрология. 1973. № 9. С.93–110.
2. Соловьева Н.Н. Исследование зависимости колебания уровня Каспийского моря от солнечной активности. СПб.: Изд. РГГМУ, 2004. 69 с.
3. Аль-Тамими М.А., Чукин В.В. Прогноз глобальных среднегодовых значений влагосодержания атмосферы и интенсивности осадков на основе данных статистической модели солнечно-земных связей // Естественные и технические науки. 2016. №3. С. 95–103.
4. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1973. 349 с.
5. Жеребцов Г. А., Коваленко В.А., Молодых С. И. Основные физические процессы в

- атмосфере Земли, криосфере и океане, определяющие особенности климатических изменений в XX в. и их связь с солнечной активностью // Солнечно-земная физика. 2011. Вып. 18. С. 40–50.
6. Мискевич И.В., Умидахон У.К. Использование индекса солнечной активности для прогнозирования геоэкологических ситуаций в прибрежной зоне арктических морей // Естественные и технические науки. 2021. № 2 (153). С. 108–115.
 7. Сазонов А.Д., Комаров Р.С., Передера О. С. Разлив нефтепродуктов в Норильске 29 мая 2020 года: предполагаемые причины и возможные экологические последствия // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2020. Т. 1, № 5. С. 173–177.
 8. Витинский Ю.И. Солнечная активность. М.: Наука, 1983. 192 с.
 9. Холупцев А.В., Никифорова М.П. Методика сверхдолгосрочного прогнозирования изменений состояния солнечной активности с использованием модели множественной линейной регрессии // Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. Сер.: Екологія. 2011. № 944, Вип. 6. С.13–20.
 10. Коробов В.Б. Экспертные методы в географии и геоэкологии: монография. Архангельск: Поморский университет, 2008. 234 с.

References:

1. Khromov S.P. Solnechnye tsikly i klimat [Solar cycles and climate] // Meteorologiya i gidrologiya [Meteorology and hydrology]. 1973. No 9. pp.93-110 (In Russ.)
2. Solovyova N.N. Issledovanie zavisimosti kolebaniya urovnya Kaspiyskogo morya ot solnechnoy aktivnosti [Study of dependence of Caspian Sea level fluctuations on solar activity]. Saint-Petersburg: Ed. of Russian State Hydrometeorological University, 2004. 69 p. (In Russ.)
3. Al-Tamimi M.A., Chukin V.V. Prognoz global'nykh srednegodovykh znacheniy vlagosoderzhaniya atmosfery i intensivnosti osadkov na osnove dannykh statisticheskoy modeli solnechno-zemnykh svyazey [Forecast of global annual mean values of atmospheric moisture content and precipitation intensity based on statistical model of solar-terrestrial relations] // Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Natural and Technical Sciences]. 2016. No 3. pp. 95-103 (In Russ.)
4. Chizhevsky A.L. Zemnoe ekho solnechnykh bur' [Earth echo of solar storms]. Moscow: Mysl, 1973. 349 p. (In Russ.)
5. Zherebtsov G.A., Kovalenko V.A., Molodykh S.I. Osnovnye fizicheskie protsessy v atmosfere Zemli, kriosfere i okeane, opredelyayushchie osobennosti klimaticheskikh izmeneniy v XX v. i ikh svyaz' s solnechnoy aktivnost'yu [Main physical processes in the Earth's atmosphere, cryosphere and ocean determining the features of climatic changes in the 20th century and their relation with solar activity] // Solnechno-zemnaya fizika [Solar-Terrestrial Physics]. 2011. Vol. 18. pp. 40-50 (In Russ.)
6. Miskevich I.V., Umidakhon U.K. Ispol'zovanie indeksa solnechnoy aktivnosti dlya prognozirovaniya geoekologicheskikh situatsiy v pribrezhnoy zone arkticheskikh morey [Using the index of solar activity to forecast geo-ecological situations in the coastal zone of the Arctic seas] // Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Natural and Technical Sciences]. 2021. No 2 (153). pp. 108-115 (In Russ.)
7. Sazonov A.D., Komarov R.S., Peredera O. S. Razliv nefteproduktov v Noril'ske 29 maya 2020 goda: predpolagayemye prichiny i vozmozhnyye ekologicheskiye posledstviya [Oil spill in Norilsk on May 29, 2020: alleged causes and possible environmental consequences] // Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: Sistemnyy analiz i modelirovaniye ekonomicheskikh i ekologicheskikh system [Ecology. Economy. Computer science. Series: System Analysis and Modeling of Economic and Ecological Systems] (In Russ.)
8. Vitinsky Y.I. Solnechnaya aktivnost' [Solar activity]. Moscow: Nauka, 1983. 192 p. (In Russ.)
9. Kholoptsev A.V., Nikiforova M.P. Metodika sverkhdlgosrochnogo prognozirovaniya izmeneniy sostoyaniya solnechnoy aktivnosti s ispol'zovaniem modeli mnozhestvennoy lineynoy regressii [Technique of ultra-long-term forecasting of changes in the state of solar activity with the use of multiple linear regression model] // Visnik HNU imeni V. N. Karazina. Ser.: Ekologiya [Visnik KhNU named after V. N. Karazin. Ser.: Ecology]. 2011. No. 944, Vol. 6. pp.13-20 (In Russ.)
10. Korobov V.B. Ekspertnye metody v geografii i geoekologii: monografiya [Expert methods in geography and geoecology: monograph]. Arkhangelsk: Pomorsky University, 2008. 234 p. (In Russ.)

Научная статья

УДК 613.6 (985)

DOI: 10.24412/2658-4255-2023-1-20-32



EDN: BGSDDT

Для цитирования:

Сюрин С.А., Кизеев А.Н., Полякова Е.М. Особенности профессиональной патологии в Мурманской области в 2007-2021 гг.// Российская Арктика. 2023.

Том 5(1). С. 20–32
<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2023-1-20-32>

Получена: 06.03.2023
Принята: 18.03.2023
Опубликована: 28.03.2023

For citation:

Syurin S.A., Kizeev A.N., Polyakova E.M. Specific features of occupational pathology in the Murmansk region in 2007-2021// Russian Arctic, 2023; Vol 5(1): p.p. 20-32. (In Russ.)
<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2023-1-20-32>

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Финансирование.

Исследование не имело спонсорской поддержки

**ОСОБЕННОСТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПАТОЛОГИИ В МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ В 2007-2021 ГГ.**С.А. Сюрин* , А.Н. Кизеев , Е.М. Полякова 

Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

E-mail: *kola.reslab@mail.ru**Аннотация**

Введение. Работники предприятий Мурманской области подвергаются воздействию вредных производственных факторов, увеличивающих риск развития профессиональных заболеваний.




Цель исследования заключалась в анализе причин развития, структуры и числа профессиональных заболеваний в Мурманской области в 2007-2021 годах.

Материалы и методы. Изучены результаты социально-гигиенического мониторинга «Условия труда и профессиональная заболеваемость» и регистра выписок из карт учета профессиональных заболеваний (Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации № 176 от 28.05.2001 г.).

Результаты. В Мурманской области в 2007-2021 годах основными факторами, приводившими к развитию профессиональной патологии, были тяжесть труда (41,3%), вредные химические вещества (18,2%), общая вибрация (17,0%) и шум (14,3%). В течение 15 лет было диагностировано 3888 профессиональных заболеваний у 2088 работников. У лиц, занятых на горно-металлургических предприятиях, формировалось 80-85% профессиональных заболеваний, среди которых наибольшие доли имеют вибрационная болезнь (19,6%), радикулопатия (17,4%) и нейросенсорная тугоухость (14,5%). Установлено увеличение роли в их развитии повышенной тяжести труда, рост числа нозологических форм заболеваний у одного работника, уменьшение в 22,7 раза доли хронического бронхита, повышение в 1,84 раза долей радикулопатии и в 2 раза - моно- и полинейропатии, снижение ежегодного числа работников с впервые выявленными профессиональными заболеваниями с 664 до 271 человека при отсутствии значимой динамики уровня профессиональной заболеваемости.

Заключение. Особенности профессиональной патологии в Мурманской области в 2007-2021 годах явились увеличение роли в ее развитии повышенной тяжести труда, рост числа заболеваний у одного работника, уменьшение в 22,7 раза доли хронического бронхита, снижение ежегодного числа работников с впервые выявленными профессиональными заболеваниями, отсутствие существенной динамики уровня заболеваемости (в отличие от России в целом).

Ключевые слова: условия труда, тяжесть труда, профессиональная патология и заболеваемость, Мурманская область

SPECIFIC FEATURES OF OCCUPATIONAL PATHOLOGY IN THE MURMANSK REGION IN 2007-2021Sergei A. Syurin* , Alexei N. Kizeev , Ekaterina M. Polyakova 

Northwest Public Health Research Center, S-Petersburg, Russia

E-mail: *kola.reslab@mail.ru

Abstract

Introduction. Employees of enterprises in the Murmansk region are exposed to harmful production factors that increase the risk of developing occupational diseases.

The purpose of the study was to analyze the causes, structure and number of occupational diseases in the Murmansk region in 2007-2021.

Materials and methods. We studied the results of social and hygienic monitoring «Working conditions and occupational morbidity» and the register of extracts from occupational disease records (Order of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 176 dated May 28, 2001) in the Murmansk region in 2007-2021.

Results. In the Murmansk region in 2007-2021, employees of enterprises were most often exposed to noise (18.0%), increased labor intensity (12.3%) and harmful chemicals (10.4%). However, the main harmful production factors that led to the development of occupational pathology were the severity of labor (41.3%), harmful chemicals (18.2%), general vibration (17.0%) and noise (14.3%). In 2007-2021, 3,888 occupational diseases were diagnosed in 2,088 employees in the Murmansk region. Workers of mining and metallurgical enterprises develop 80-85% of occupational diseases, among which the most common are vibration disease (19.6%), radiculopathy (17.4%) and sensorineural hearing loss (14.5%). The characteristic features of occupational pathology over the past 15 years have been an increase in the role of increased severity of labor in its development, an increase in the number of nosological forms of diseases diagnosed in one patient, a decrease in the prevalence of chronic bronchitis (22.7 times), an increase in the prevalence of radiculopathy (1.84 times) and mono- and polyneuropathy (2 times), a decrease in the number of workers with newly diagnosed occupational diseases (from 664 to 271 people) in the absence of significant dynamics in the level of occupational morbidity.

Conclusion. The features of occupational pathology in the Murmansk region were a rise in the role of increased work severity in its development, an increase in the number of diseases per worker, a 22.7-fold decrease in the proportion of chronic bronchitis, and a decrease in the annual number of workers with newly diagnosed occupational diseases.

Keywords: working conditions, labor severity, occupational pathology and morbidity, Murmansk region

Введение

Мурманская область представляет собой наиболее населенную и экономически развитую часть Российской Арктики, природные ресурсы которой имеют важнейшее значение для социально-экономического развития России [1, 2]. В число базовых отраслей экономики Мурманской области входят добыча железных, медно-никелевых, апатит-нефелиновых, комплексных апатит-содержащих, лопаритовой и других видов рудного сырья; производство никеля, меди, кобальта, алюминия; морское рыболовство и переработка рыбы, оказание транспортно-логистических услуг [3, 4].

Установлено, что работа в климатических условиях Арктики повышает риск возникновения нарушений здоровья, ведущих к преждевременному ограничению или полному прекращению трудовой деятельности работников [5-9]. Данное явление обусловлено многими причинами. Во-первых, это влияние вредных климатических факторов. В их число входят низкие температуры воздуха, нарушение сезонной фотопериодичности, низкое абсолютное содержание водяных паров в атмосфере, напряженный иономагнитный режим, резкие суточные перепады атмосферного давления и другие. Все они в совокупности оказывают дополнительную нагрузку на основные функциональные системы организма [10-12]. Во-вторых, это более вредные условия труда на предприятиях Севера, чем в других регионах страны, особенно при добыче рудного сырья [13, 14]. В-третьих, это сочетанное действие вредных производственных и климатических факторов, которое может проявляться в моди-

фикации и потенцировании их неблагоприятных эффектов, повышающих вероятность и ускоряющих развитие профессиональных заболеваний [15, 16].

В Мурманской области в 2007-2021 годах уровень профессиональной заболеваемости колебался от 5,96/10000 работников в 2008 году до 10,62 /10000 работников в 2013 году, превышая средние российские показатели в 5-8 раз^{1,2,3}. Особое медико-социальное значение сохранения здоровья работающего населения Мурманской области обусловлено еще одним аспектом: крайне неблагоприятной демографической ситуацией в регионе. Так, известно, что в постсоветские 30 лет (1992 – 2021 годы) население области уменьшилось в 1,76 раза с 1 170 000 до 665240 человек⁴. Частично поставленная задача может быть решена путем более эффективной профилактики профессиональных заболеваний на основе новых знаний о причинах их развития, структуре и распространенности.

Цель исследования заключалась в анализе причин развития, структуры и числа профессиональных заболеваний в Мурманской области в 2007-2021 годах.

Материалы и методы

Выполнено исследование результатов социально-гигиенического мониторинга «Условия труда и профессиональная заболеваемость» и регистра выписок из карт учета профессионального заболевания (отравления) (Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации «О совершенствовании системы расследования и учета профессиональных заболеваний в Российской Федерации» № 176 от 28.05.2001 г., приложение № 5) в Мурманской области в 2007-2021 годах. Изучены пол, возраст, стаж, вид экономической деятельности лиц с впервые диагностированной профессиональной патологией, а также причины и обстоятельства развития, структур и распространенность заболеваний. Для проведения сравнительного анализа показателей были выделены пять трехлетних периодов наблюдения: 2007-2009, 2010-2012, 2013-2015, 2016-2018 и 2019-2021 годы. Полученные результаты обработаны статистически с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2016 и программы Epi Info, v. 6.04d. Перед обработкой выборки проверялись на соответствие закону нормального распределения величин (Гауссовское) при помощи одновыборного теста Колмогорова - Смирнова (возраст, стаж и число заболеваний у одного работника в выделенных пяти трехлетних периодах). Все 15 выборок не соответствовали закону нормального распределения величин ($p < 0,05$). В дальнейшем использовали критерий Манна – Уитни, относительный риск (ОР) и 95% доверительный интервал (ДИ), критерий согласия χ^2 при анализе четырехпольных таблиц. Числовые данные представлены как абсолютные и процентные значения, среднее арифметическое и стандартная ошибка ($M \pm m$). Уровень значимости нулевой гипотезы считался критическим при $p < 0,05$.

Результаты

Анализ данных социально-гигиенического мониторинга по условиям труда показал, что в 2007-2021 годах работники предприятий в Мурманской области подвергались воздействию 13 видов вредных производственных факторов, а также сочетанному действию двух и/или более факторов (табл. 1). В структуре факторов наибольшие доли из них (у каждого более 10% в общей структуре вредных воздействий) имели шум, высокая напряженность трудовых процессов и химические веществ всех классов опасности, а также канцерогены. Доли от 3% до 10% занимали неионизирующие электромагнитные поля и излучения, повышенная тяжесть трудовых процессов, фиброгенные аэрозоли и биологические факторы. Еще реже (доли менее 3%) определялись общая и локальная вибрация, охлаждающий микроклимат, неудовлетворительные параметры освещения, ионизирующие излучения и инфразвук. Однако наиболее часто у работников предприятий имела место экспозиция к сочетанию вредных производственных факторов, в структуре которых за 15-летний период наблюдения произошли существенные изменения. Так, в 2019-2021 годах, по сравнению с 2007-2009 годами, повысился риск контакта работников с вредными химическими веществами (ОР=1,52; ДИ 1,49-1,56; $p < 0,001$), фиброгенными аэрозолями (ОР=2,09; ДИ 2,02-2,16; $p < 0,001$), общей вибрацией (ОР=2,21; ДИ 2,11-2,31; $p < 0,001$), а также риск

1 О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2011 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2012.

2 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.

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

4 Численность населения по полу по субъектам Российской Федерации на 1 января 2022 года (с учётом итогов Всероссийской переписи населения 2020 г.). Федеральная служба государственной статистики (30 декабря 2022).

Таблица 1.

Число и доля (%) работников, контактирующих с вредными производственными факторами на предприятиях в Мурманской области

Вредные производственные факторы	Годы					Средний годовой показатель
	2007-2009	2010-2012	2013-2015	2016-2018	2019-2021	
Шум	38370 (21,8)	23933 (17,2)	22562 (16,4)	15803 (16,5)	14450 (16,0)*	23023,6 (18,0)
Напряженность трудового процесса	20221 (11,5)	18811 (13,5)	18796 (13,6)	10122 (10,6)	10447 (11,6)	15679,4 (12,3)
Химические факторы	15668 (8,9)	13958 (10,1)	13111 (9,5)	11801 (12,3)	12181 (13,5)*	13343,8 (10,4)
Неионизирующие электромагнитные поля и излучения	9017 (5,1)	13618 (9,8)	12730 (9,2)	8853 (9,2)	5270 (5,9)*	9897,6 (7,7)
Тяжесть трудового процесса	8800 (5,0)	8012 (5,8)	8783 (6,4)	8212 (8,6)	12735 (14,1)*	9308,4 (7,3)
Аэрозоли фиброгенные	6466 (3,7)	5762 (4,2)	6458 (4,7)	5204 (5,4)	6901 (7,7)*	6158,2 (4,8)
Биологические факторы	6544 (3,7)	6264 (4,5)	5877 (4,3)	2077 (2,2)	2374 * (2,6)	4627,2 (3,6)
Вибрация общая	3456 (2,0)	3391 (2,4)	4140 (3,0)	3888 (4,1)	3906 (4,3)*	3756,2 (2,9)
Микроклимат	5157 (2,9)	3643 (2,6)	3375 (2,4)	1487 (1,6)	2444 (2,7)	3221,2 (2,5)
Вибрация локальная	2275 (1,3)	2269 (1,6)	1821 (1,3)	2225 (2,3)	1748 (1,9)*	2067,6 (1,6)
Освещенность	3199 (1,8)	3066 (2,2)	2272 (1,6)	655 (0,7)	449 (0,5)	1928,2 (1,5)
Ионизирующее излучение	832 (0,5)	1009 (0,7)	1086 (0,8)	339 (0,4)	419 (0,5)	737,0 (0,6)
Инфразвук	306 (0,2)	132 (0,1)	153 (0,1)	336 (0,4)	222 (0,2)	229,8 (0,2)
Сочетанное действие факторов	55908 (31,7)	34972 (25,2)	36793 (26,7)	24903 (26,0)	16528 (18,3)*	33820,8 (26,5)
Всего	176219	138840	137957	95905	90074	127799,0

Примечание. *- значимые различия ($p < 0,05$) между 2007-2009 и 2019-2021 годами

выполнения работ с повышенной тяжестью труда ($OP=2,83$; ДИ 2,76-2,91; $p < 0,001$). Напротив, в 2007-2009 годах, по сравнению с 2019-2021 годами, отмечалась более высокая экспозиция к шуму ($OP=1,36$; ДИ 1,33-1,38; $p < 0,001$) и сочетанному действию нескольких вредных факторов ($OP=1,73$; ДИ 1,70-1,76; $p < 0,001$).

Помимо анализа влияния отдельных вредных производственных факторов, была проведена комплексная оценка условий труда по числу работников на объектах надзора трех групп санитарно-эпидемиологического благополучия. Установлено, что в среднем в 2007-2021 годах чуть более половины работников были заняты на объектах первой группы (с удовлетворительными условиями), более трети работников – на объектах второй группы (с неудовлетворительными условиями) и только 13,2% - на объектах третьей группы (с крайне неудовлетворительными условиями). За изученный период времени в Мурманской области абсолютная численность работников на объектах надзора всех трех типов уменьшилась, в целом на более чем 100 тыс. человек. Также отмечалась существенная динамика удельного веса работников на объектах надзора трех типов: увеличение на объектах первого ($p < 0,001$) и второго ($p < 0,001$) типов, а также снижение на объектах третьего ($p < 0,001$) типа, что следовало рассматривать как свидетельство улучшения условий труда на предприятиях Мурманской области (табл. 2).

Таблица 2.

Число и доля (%) работников на объектах трех групп санитарно-эпидемиологического благополучия

Объекты санитарно-эпидемиологического благополучия	Годы					Средний годовой показатель (2007-2021)
	2007-2009	2010-2012	2013-2015	2016-2018	2019-2021	
Первая группа	113872 (46,0)	104377 (49,3)	96770 (51,1)	99604 (56,0)	75934* (53,1)	98115,4 (50,6)
Вторая группа	88430 (35,8)	74373 (35,1)	67303 (35,5)	63918 (36,0)	56363* (39,4)	70077,4 (36,1)
Третья группа	44995 (18,2)	33113 (15,6)	25348 (13,4)	14207 (8,0)	10684* (7,5)	25669,4 (13,2)
Всего	247297	211863	189421	177729	142981	193862,2

Примечание. *- значимые различия ($p < 0,05$) между 2007-2009 и 2019-2021 годами

В 2007 - 2021 годах в Мурманской области было впервые зарегистрировано 3338 профессиональных заболеваний у 2088 работников предприятий всех видов экономической деятельности. Среди них было 1848 (88,5%) мужчин и 240 (11,5%) женщин, чей средний возраст составил $53,4 \pm 0,1$ лет, а стаж работы – $26,1 \pm 0,2$ лет.

В течение 15 лет гендерное соотношение среди работников с профессиональной патологией значимо не изменялось. Средние показатели возраста и стажа имели тенденцию к повышению и, начиная с 2013-2015 годов, превысили исходный уровень (табл. 3).

Таблица 3.

Общая характеристика работников с впервые выявленной профессиональной патологией в Мурманской области

Показатель	Годы				
	2007-2009	2010-2012	2013-2015	2016-2018	2019-2021
Пол: мужчины, чел. (%) женщины, чел. (%)	583 (87,8) 81 (12,2)	408 (87,7) 57 (12,3)	371 (89,2) 45 (10,8)	235 (86,4) 37 (13,6)	247 (90,8) 25 (9,2)
Возраст, лет	$52,4 \pm 0,3$	$53,2 \pm 0,3$	$53,8 \pm 0,3^*$	$53,9 \pm 0,3^*$	$53,5 \pm 0,3^*$
Стаж, лет	$25,3 \pm 0,3$	$26,1 \pm 0,3$	$26,6 \pm 0,4^*$	$26,4 \pm 0,4^*$	$26,4 \pm 0,3^*$
Число заболеваний у одного работника	$1,00 \pm 0,01$	$1,47 \pm 0,05^* \#$	$1,93 \pm 0,05^* \#$	$2,11 \pm 0,05^* \#$	$2,22 \pm 0,08^*$

Примечание. *- значимые различия ($p < 0,05$) между 2007-2009 и 2019-2021 годами

По сравнению с 2007-2009 годами число первичных профессиональных заболеваний увеличилось в 2010-2015 годах в 1,21 раза с последующим снижением ниже исходных значений в 2016-2021 годах. Иную динамику имело число работников с профессиональной патологией, которое уменьшалось в течение всего периода на-

блюдения. Важно отметить, что по сравнению с исходным в 2016-2021 годах снижение числа работников было более значительным (1,54 раза), чем числа заболеваний (в 1,34 раза). Поэтому по сравнению с исходным уровнем количество нозологических форм профессиональной патологии, выявляемых впервые у одного работника, возрастало не только в 2007-2015 годах, но и в 2016-2021 годах (рис. 1). Величины коэффициента аппроксимации (R^2) показали, что имеет значимость тренд к снижению числа работников ($R^2=0,9072$), тогда как число заболеваний существенно не изменяется ($R^2=0,1651$).

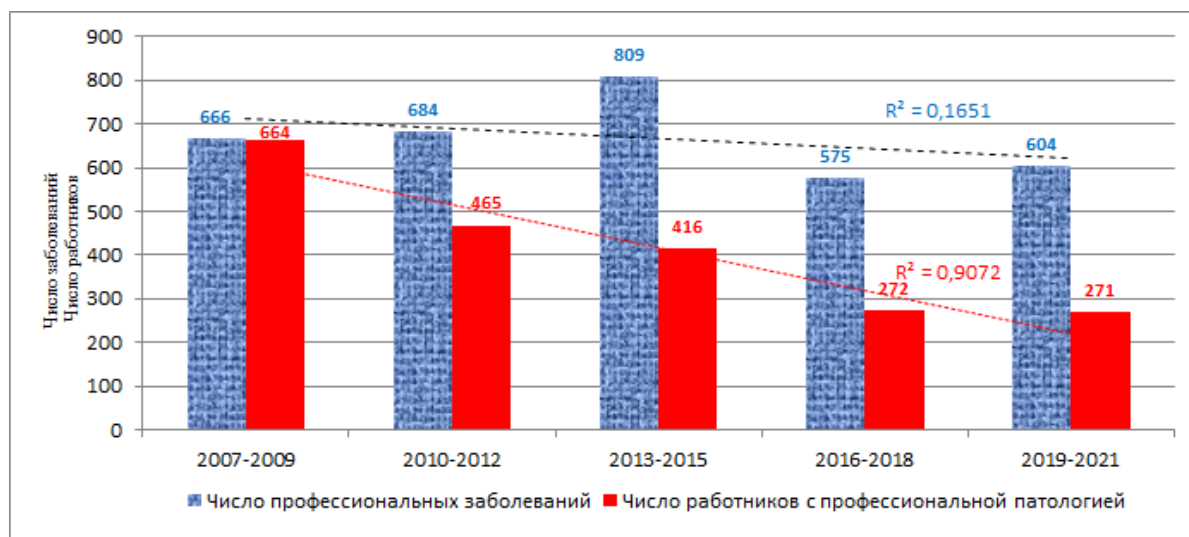


Рисунок 1. Число впервые выявленных профессиональных заболеваний и работников с профессиональной патологией в Мурманской области

На предприятиях Мурманской области причиной развития более 90% случаев профессиональной патологии были четыре вредных фактора: повышенная тяжесть труда, химические вещества I-IV класса опасности и канцерогены, общая вибрация, шум. Значительно реже профессиональная патология была обусловлена локальной вибрацией и аэрозолями фиброгенного действия, а также в единичных случаях – биологическими факторами, охлаждающим микроклиматом, ионизирующей радиацией и повышенной напряженностью труда. В течение 15 лет по сравнению с исходным уровнем в структуре вредных производственных факторов, обуславливавших развитие профессиональных заболеваний, увеличилась в 2,67 раза доля повышенной тяжести труда, а снизились доли химических факторов в 1,55 раза, общей вибрации – в 1,54 раза, локальной вибрации – в 3,00 раза, фиброгенных аэрозолей – в 6,46 раза. Увеличение доли биологических факторов в 2,80 раза в 2019-2021 годах связано было с появлением случаев новой коронавирусной инфекции. Отсутствовали профессиональные заболевания, вызванные неионизирующими электромагнитными полями и излучениями, инфразвуком и неудовлетворительными параметрами освещенности.

Более половины профессиональных заболеваний были связаны с добычей полезных ископаемых (металлические и неметаллические руды). Доля работников металлургического производства в 2007-2021 годах колебалась от 16,8% до 24,6%, занимая второе место. На третьем месте находились работники строительных предприятий с долей 1,6%-4,8%. Статистически значимых различий в структуре профессиональной патологии между видами экономической деятельности в начале и при окончании 15-летнего периода наблюдения не отмечалось.

В числе 15 специальностей с наибольшим числом профессиональных заболеваний были только представители добывающей и металлургической промышленности, за исключением маляров (строительство) и частично – электрогазосварщиков. Кроме машинистов погрузочно-доставочной машины, ни одна специальность в течение 15 лет не демонстрировала стабильного увеличения или уменьшения доли в общей структуре профессиональной патологии. Тем не менее, при сравнении между собой периодов 2007-2009 и 2019-2021 годов можно отметить значимое уменьшение долей водителей автомобиля, проходчиков, машинистов подземного электровоза, что сопровождалось повышением долей машинистов экскаватора, взрывников, подземных горнорабочих, машинистов погрузочно-доставочной машины, машинистов крана. Также заслуживают внимания существенные (в 2 раза и более) изменения удельного веса работников с профессиональной патологией в отдельных специальностях в течение установленных трехлетних временных периодов (табл. 4).

Таблица 4.

Число и доля (%) заболеваний, связанных с данными вредными производственными факторами, видами экономической деятельности и специальностями

Показатель	Годы					Всего
	2007-2009	2010-2012	2013-2015	2016-2018	2019-2021	
Вредный производственный фактор						
Тяжесть труда	115 (17,3)	279 (40,8)	420 (51,9)	287 (49,9)	279 (46,2)*	1379 (41,3)
Химические факторы	198 (29,7)	91 (13,3)	104 (12,9)	100 (17,4)	116 (19,2)*	609 (18,2)
Вибрация общая	148 (22,2)	95 (13,9)	152 (18,8)	86 (15,0)	87 (14,4)*	568 (17,0)
Шум	96 (14,4)	128 (18,7)	96 (11,9)	74 (12,9)	85 (14,1)	479 (14,3)
Вибрация локальная	70 (10,5)	71 (10,4)	24 (3,0)	16 (2,8)	21 (3,5)*	202 (6,1)
Фиброгенные аэрозоли	35 (5,3)	13 (1,9)	12 (1,5)	11 (1,9)	5 (0,82)*	76 (2,0)
Биологические факторы	1 (0,15)	1 (0,15)	1 (0,12)	0	11 (1,8)*	14 (0,42)
Микроклимат	3 (0,45)	6 (0,88)	0	0	0	9 (0,27)
Ионизирующая радиация	0	0	0	1 (0,17)	0	1 (0,03)
Напряженность труда	0	0	0	0	1 (0,17)	1 (0,03)
Вид экономической деятельности						
Добыча полезных ископаемых	380 (57,1)	436 (63,7)	578 (71,4)	376 (65,4)	365 (60,4)	2135(64,0)
Металлургическое производство	164 (24,6)	122 (17,8)	136 (16,8)	110 (19,1)	138 (22,8)	670 (20,1)
Строительство	29 (4,4)	24 (3,5)	13 (1,6)	19 (3,3)	29 (4,8)	119 (3,6)
Транспорт и связь	17 (2,6)	18 (2,6)	14 (1,7)	16 (2,8)	13 (2,2)	73 (2,2)
Прочие	76 (11,4)	84 (12,3)	68 (8,4)	54 (9,4)	59 (9,8)	341 (10,2)
Основные по численности специальности работников						
Водитель автомобиля	96 (14,4)	100 (14,6)	153 (18,9)	62 (10,8)	46 (7,6)*	457 (13,7)
Машинист экскаватора	43 (6,5)	23 (3,4)	57 (7,0)	62 (10,8)	62 (10,3)*	247 (7,4)
Машинист буровой установки	45 (6,8)	43 (6,3)	41 (5,1)	33 (5,7)	56 (9,3)	218 (6,5)
Проходчик	69 (10,4)	46 (6,7)	46 (5,7)	20 (3,5)	31 (5,1)*	212 (6,4)
Взрывник	18 (2,7)	46 (6,7)	57 (7,0)	32 (5,6)	30 (5,0)*	183 (5,5)
Горнорабочий подземный	16 (2,4)	57 (8,3)	54 (6,7)	22 (3,8)	27 (4,5)*	176 (5,3)
Слесарь (электрослесарь)	39 (5,9)	42 (6,1)	36 (4,4)	18 (3,1)	32 (5,3)	167 (5,0)
Машинист погрузочно-доставочной машины	8 (1,2)	8 (1,2)	23 (2,8)	34 (5,9)	50 (8,3)*	123 (3,7)
Электрогазосварщик	27 (4,1)	31 (4,5)	33 (4,1)	11 (1,9)	16 (2,6)	118 (3,5)
Машинист крана	8 (1,2)	13 (1,9)	21 (2,6)	36 (6,3)	25 (4,1)*	103 (3,1)
Машинист электровоза подземного	18 (2,7)	19 (2,8)	26 (3,2)	22 (3,8)	3 (0,5)*	88 (2,6)
Крепильщик	8 (1,2)	15 (2,2)	29 (3,6)	19 (3,3)	16 (2,6)	87 (2,6)

Показатель	Годы					Всего
	2007-2009	2010-2012	2013-2015	2016-2018	2019-2021	
Электролизник водных растворов	27 (4,1)	12 (1,8)	9 (1,1)	7 (1,2)	24 (4,0)	79 (2,4)
Аппаратчики-металлурги	18 (2,7)	7 (1,0)	14 (2,4)	9 (1,6)	6 (1,0)	54 (1,6)
Маляр	6 (0,9)	10 (1,5)	12 (1,5)	7 (1,2)	8 (1,3)	43 (1,3)

Примечание. *- значимые различия ($p < 0,05$) между 2007-2009 и 2019-2021 годами

В структуре классов профессиональной патологии почти треть занимали болезни костно-мышечной системы. Следующими по распространенности были заболевания класса «Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин», болезни уха, органов дыхания и нервной системы. В совокупности на эти пять классов заболеваний приходилось более 98% всех случаев профессиональной патологии на предприятиях Мурманской области. Только у единичных работников диагностировались злокачественные новообразования, инфекционные заболевания, болезни кожи и системы кровообращения. В течение 15 лет среди классов профессиональной патологии увеличился удельный вес болезней костно-мышечной и нервной систем, а снизился – болезней органов дыхания (табл. 5).

Таблица 5.

Классы болезней и отдельные нозологические формы профессиональной патологии, случаи (%)

Показатель	Годы					Всего
	2007-2009	2010-2012	2013-2015	2016-2018	2019-2021	
Классы профессиональных болезней						
Болезни костно-мышечной системы	134 (20,1)	208 (30,4)	293 (36,2)	208 (36,2)	214(35,4)*	1057 (31,7)
Травмы, отравления и последствия воздействия внешних причин	172 (25,8)	159 (23,2)	216 (26,7)	144 (25,0)	153 (25,3)	824 (24,7)
Болезни уха и сосцевидного отростка	107 (16,1)	108 (15,8)	106 (13,1)	74 (12,9)	88 (14,6)	503 (15,1)
Болезни органов дыхания	204 (30,6)	104 (15,2)	59 (7,3)	64 (11,1)	66 (10,9)*	497 (14,9)
Болезни нервной системы	40 (6,0)	102 (14,9)	131 (16,2)	82 (14,3)	62 (10,3)*	417 (12,5)
Новообразования злокачественные	6 (0,90)	1 (0,15)	1 (0,12)	2 (0,35)	9 (1,5)	19 (0,57)
Инфекционные и паразитарные болезни	1 (0,15)	0	1 (0,12)	0	11 (1,8)	13 (0,39)
Болезни кожи и подкожной клетчатки	2 (0,30)	1 (0,15)	2 (0,25)	1 (0,17)	0	6 (0,18)
Болезни системы кровообращения	0	1 (0,15)	0	0	1 (0,17)	2 (0,06)
Основные по численности формы профессиональных заболеваний						
Вибрационная болезнь	137 (20,6)	149 (21,9)	162 (20,0)	99 (17,2)	107 (17,7)	654 (19,6)
Радикулопатия	76 (11,4)	111 (16,2)	139 (17,2)	128 (22,3)	127 (21,0)*	581 (17,4)
Нейросенсорная тугоухость	97 (14,6)	108 (15,8)	116 (14,3)	74 (12,9)	88 (14,6)	483 (14,5)
Моно- и полинейропатия	35 (5,3)	101 (14,8)	129 (15,9)	72 (12,5)	64 (10,6)*	401 (12,0)
Хронический бронхит	151 (22,7)	73 (10,7)	21 (2,6)	12 (2,1)	6 (1,0)*	263 (7,9)
Деформирующий остеоартроз	39 (5,9)	60 (8,8)	78 (9,6)	38 (6,6)	35 (5,8)	250 (7,5)
Хронические интоксикации	21 (3,2)	24 (3,5)	34 (4,2)	44 (7,7)	48 (7,9)*	167 (5,0)

Показатель	Годы					Всего
	2007-2009	2010-2012	2013-2015	2016-2018	2019-2021	
Бронхиальная астма	36 (5,4)	23 (3,4)	23 (2,8)	27 (4,7)	23 (3,8)	132 (4,0)
Миофиброз предплечий	18 (2,7)	19 (2,8)	18 (2,2)	13 (2,3)	12 (2,0)	80 (2,4)
Хронический ларингит	8 (1,2)	10 (1,5)	12 (1,5)	10 (1,7)	19 (3,1)	59 (1,8)

Примечание. *- значимые различия ($p < 0,05$) между 2007-2009 и 2019-2021 годами

Среди десяти наиболее распространенных нозологических форм профессиональной патологии по три относились к болезням костно-мышечной системы и органов дыхания, две – к классу «Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин» и по одной – к классам болезней уха и нервной системы. В 2007-2021 годах резко снизилась доля хронического бронхита (в 22,7 раза) и увеличились доли радикулопатии (в 1,84 раза), моно- и полинейропатии (в 2,0 раза), хронических интоксикаций никелем и другими металлами (2,47 раза).

В 2007-2021 годах наибольшее число профессиональных заболеваний было выявлено у населения административно-территориальных образований, в которых располагались горнодобывающие и металлургические предприятия. Это г. Кировск (добыча и обогащение апатит-нефелиновой руды), Печенгский район (добыча, обогащение и пирометаллургическая переработка медно-никелевой руды), г. Мончегорск (переработка медно-никелевого штейна и фаянштейна), Ковдорский район (добыча и обогащение бадделеит-apatит-магнетитовой руды). Значительно реже (1,1%-2,6%) случаи профессиональной патологии диагностировались в г. Кандалакша (производство алюминия), г. Оленегорске (добыча и обогащение железной руды) и в Ловозерском районе (добыча руды редкоземельных металлов). За 15 лет в структуре профессиональных заболеваний с учетом места проживания работников, повысились доли городов Кировск и Оленегорск, а уменьшились доли Ковдорского и Печенгского районов. Нужно отметить значительные колебания числа работников с профессиональной патологией за трехлетние периоды наблюдения на уровне городов и районов, также как это происходило и в целом по области (табл. 6).

Таблица 6.

Случаи и доли (%) впервые выявленных профессиональных заболеваний по территориально-административным единицам Мурманской области

Административная единица	2007-2009	2010-2012	2013-2015	2016-2018	2019-2021	Всего
г. Апатиты	27 (4,1)	28 (4,1)	31 (3,8)	28 (4,9)	28 (4,6)	142 (4,3)
г. Кандалакша	16 (2,4)	3 (0,44)	5 (0,62)	0	12 (2,0)	36 (1,1)
г. Кировск	145 (21,8)	256 (37,4)	342 (42,3)	271 (47,1)	241 (39,9)*	1255 (37,6)
г. Мончегорск	155 (23,3)	78 (11,4)	111 (13,7)	110 (19,1)	144 (23,8)	598 (17,9)
г. Мурманск	33 (5,0)	34 (5,0)	43 (5,3)	17 (3,0)	11 (1,8)	138 (4,1)
г. Оленегорск	4 (0,6)	9 (1,3)	7 (0,86)	6 (1,0)	30 (5,0)*	56 (1,7)
Ковдорский район	40 (6,0)	57 (8,3)	109 (13,5)	24 (4,2)	10 (1,7)*	240 (7,2)
Ловозерский район	11 (1,7)	20 (2,9)	12 (1,5)	23 (4,0)	20 (3,3)	86 (2,6)
Печенгский район	234 (35,1)	199 (29,1)	149 (18,4)	96 (16,7)	107 (17,7)*	785 (23,5)
г. Заозерск	1 (0,15)	0	0	0	0	1 (0,03)
г. Североморск	0	0	0	0	1 (0,17)	1 (0,03)

Примечание. *- значимые различия ($p < 0,05$) между 2007-2009 и 2019-2021 годами

Уровень профессиональной заболеваемости в Мурманской области 2007-2021 годах превышал общероссийский в 4,03-8,31 раза (не анализируется 2020 год) и не имел существенной тенденции к снижению или повышению ($R^2 = 0,0099$). Некоторое влияние на 15-летний тренд могло иметь резкое снижение (в 2,89 раза) заболеваемости в 2020 году (вероятно, из-за COVID-19 пандемии). При этом сравнение показателей 2021 года и 2007 года (окончание и начало периода наблюдения) показало рост на 14,0%. Уровень профессиональной заболеваемости в России за этот же период вре-

мени имел выраженную тенденцию к снижению ($R^2 = 0,5348$) и несмотря на COVID-19 пандемию показатель 2021 года был на 40,4% ниже, чем в 2007 году (рис. 2).

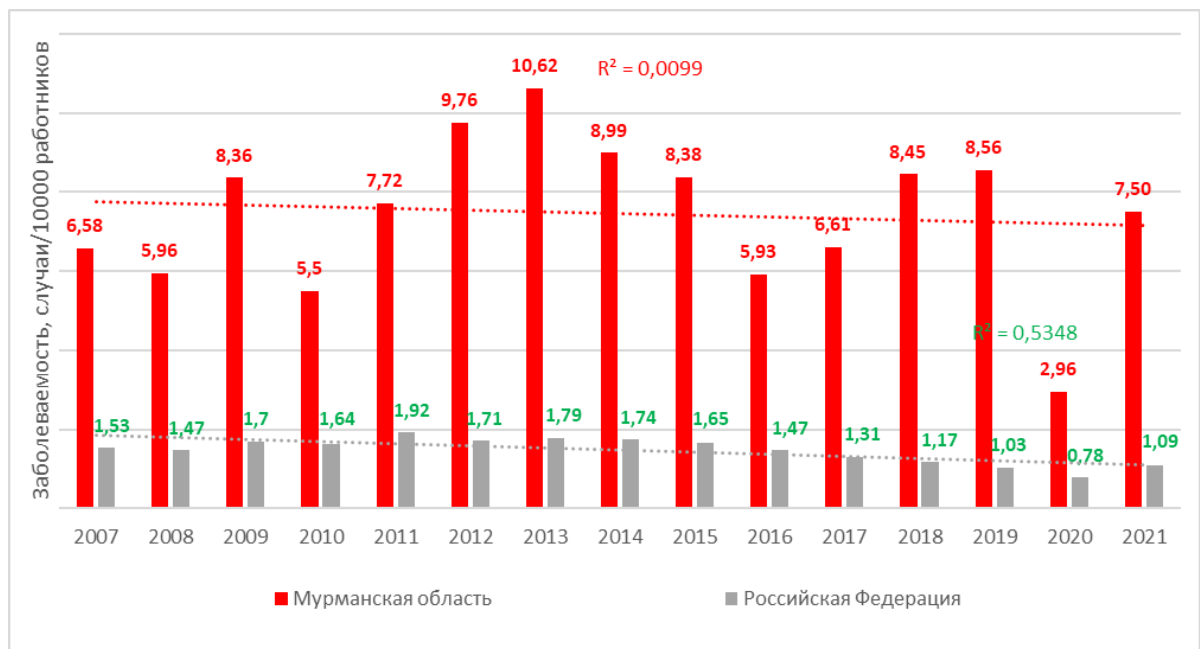


Рисунок 2. Профессиональная заболеваемость в Мурманской области и в Российской Федерации в 2007-2021 годах

Обсуждение

Выполненная работа показала, что в 2007-2021 годах в Мурманской области произошли существенные изменения причин развития, структуры и числа случаев профессиональной патологии, которые требуют внимания и научного объяснения. Во-первых, выявленные изменения проявились увеличением доли работников, выполняющих технологические операции с повышенной тяжестью труда и доли профессиональных заболеваний, обусловленных этим фактором. Это не совсем понятно, учитывая постоянно проводимую механизацию и даже автоматизацию производственных процессов, приводящих к снижению уровня физических нагрузок на горнодобывающих и металлургических предприятиях [17, 18]. Во-вторых, установлено увеличение доли работников, экспонированных к аэрозолям вредных химических веществ всех классов опасности и фиброгенным аэрозолям. При этом, вместо ожидаемого повышения удельного веса болезней респираторной системы, отмечается его снижение. В данном случае можно предполагать эффект более строго соблюдения регламента при использовании современных средств индивидуальной защиты органов дыхания [19].

Анализируя изменения условий труда на предприятиях Мурманской области, необходимо отметить существенные различия полученных результатов при использовании двух разных методов. Так, при оценке отдельных вредных производственных факторов нет оснований говорить о положительной динамике, тогда как при комплексной оценке по изменению числа объектов трех групп санитарно-эпидемиологического благополучия благоприятные изменения очевидны. Вероятно, вторая методика дает завышенный положительный результат. Проверить это предположение не представляется возможным в связи с отсутствием в научной литературе данных сравнительных исследований.

В 2007-2021 годах на предприятиях Мурманской области выявлена разнонаправленная динамика числа первичных профессиональных заболеваний и числа работников, у которых они были диагностированы. Если по сравнению с исходным уровнем количество заболеваний увеличивалось до 2013-2015 годов, а затем с 2016-2018 годов снижалось, то количество работников с профессиональной патологией по сравнению с исходным уровнем уменьшалось с 2010-2012 годов. Это приводило к постоянному росту числа нозологических форм профессиональных заболеваний, выявляемых у одного работника. Данный феномен известен как профессиональная мультиморбидность и его следует рассматривать как неблагоприятный вариант течения возникающих нарушений с выходом за пределы первично поражаемых органов-мишеней [20].

Обращают на себя внимание значительные изменения в структуре профессио-

нальной патологии, произошедшие за 15 лет у работников предприятий Мурманской области. Прежде всего, это снижение в 22,7 раза доли хронического бронхита, который в течение многих лет был наиболее распространенным заболеванием у работников-металлургов [19]. В то же время отмечено увеличение удельного веса радикулопатии и моно- и полинейропатии, в развитии которых важную роль играют повышенные физические нагрузки [17, 18, 21]. В целом, уровень профессиональной заболеваемости в Мурманской области в 2007-2021 годах значимо не изменялся, тогда как в России демонстрировал выраженную тенденцию к снижению. Практическая важность этого феномена заслуживает дальнейшего изучения.

Анализ структуры и числа профессиональных заболеваний выявил значительные колебания показателей за короткие временные промежутки, которые не могут быть объяснены изменениями условий труда. Мы поддерживаем мнение о том, что данный факт связан с недостаточным качеством организации и проведения медицинских осмотров, неполным выявлением патологии или её диагностикой на поздних стадиях развития, наличием «отложенных» случаев, различными подходами врачей к трактовке выявленных нарушений здоровья. Также нельзя исключить влияния на результаты медицинских осмотров других факторов, прежде всего, административного воздействия со стороны владельцев предприятий [14, 22]. Вероятно, в условиях Арктики остается недооцененной роль общего и локального хронического переохлаждения, с которым могут быть связаны заболевания костно-мышечной, нервной и дыхательной систем [23].

В качестве ограничения проведенного исследования можно рассматривать изменения в трактовке диагнозов профессиональных заболеваний, которые происходили в 2007-2021 годах.

Заключение

В Мурманской области в 2007-2021 годах работники предприятий подвергались чаще всего воздействию шума (18,0%), повышенной напряженности труда (12,3%) и вредным химическим веществам (10,4%). Однако основными вредными производственными факторами, приводившими к развитию профессиональной патологии, были другими: тяжесть труда (41,3%), вредные химические вещества (18,2%), общая вибрация (17,0%). В Мурманской области у работников горно-металлургических предприятий формируются 80-85% профессиональных заболеваний, среди которых наиболее распространенными являются вибрационная болезнь (19,6%), радикулопатия (17,4%) и нейросенсорная тугоухость (14,5%). Характерными особенностями профессиональной патологии за последние 15 лет были увеличение роли повышенной тяжести труда в ее развитии, рост числа нозологических форм заболеваний у одного работника, уменьшение доли хронического бронхита (в 22,7 раза), повышение долей радикулопатии (1,84 раза) и моно- и полинейропатии (в 2,0 раза), снижение ежегодного числа работников с впервые диагностированными профессиональными заболеваниями (с 664 в 2007 году до 271 человека в 2021 году). В 2007-2021 годах в Мурманской области, в отличие от России в целом, не отмечено значимого снижения профессиональной заболеваемости. Полученные данные целесообразно использовать для актуализации программ профилактики профессиональной патологии у работников предприятий в Мурманской области.

Информация о вкладе авторов:

Сюрин С.А. - концепция и дизайн исследования, интерпретация результатов, написание текста статьи; Кизеев А.Н. - сбор и анализ данных; Полякова Е.М. – сбор и анализ данных.

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

Список литературы:

1. Меламед И. И., Авдеев М. А., Павленко В. И., Куценко С. Ю. Арктическая зона России в социально-экономическом развитии страны // Власть. 2015. № 1. С. 5-12
2. Кондратьев В.Б. Минеральные ресурсы и будущее Арктики //Горная промышленность. - 2020. № 1 С. 87-96. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-1-87-96.
3. Ануфриев В.А. Социально-экономические проблемы Мурманской области и пути их решения. Перспективы развития региона // Экономика и общество. 2018. Т.1, № 4. С. 20-29.
4. Shcherbakov. D.S., Tikhonov A.A., Prokhorov V.T., Volkova G.Y. About increasing the level of socio-economic development of the Murmansk region // ISJ Theoretical & Applied Science. 2022. 11 Vol.115. № 11. P. 69-92. DOI: <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2022.11.115.3>

5. Antipov S. Occupational health in Siberia and Arctic zones. *Occupational and Environmental Medicine* // 2018. № 75. A247. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/oemed-2018-ICOHabstracts.706>
6. Chashchin V.P., Gorbanev S., Thomassen Y., Ellingsen D., Syurin S. et al. Occupational medicine and environmental health in the border areas of Euro-Arctic Barents Region: a review of 30-Year Russian–Norwegian research collaboration outcomes // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. № 17. 3879. <https://doi.org/10.3390>
7. Gorbanev S., Syurin S., Kovshov A. Features of Occupational Health Risks in the Russian Arctic (on the Example of Nenets Autonomous Okrug and Chukotka Autonomous Okrug) // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Vol. 18, № 3. 1061. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031061>
8. Chatwood S, Bjerregaard P, Young TK. Global health - a circumpolar perspective // *American Journal of Public Health*, 2012. Vol. 102. № 7. Pp. 1246-1249. DOI: 10.2105/AJPH.2011.300584.
9. Donaldson S., Adlard B., Odland J.Ø. Overview of human health in the Arctic: conclusions and recommendations // *International Journal of Circumpolar Health*. 2016. № 75. 33807. DOI: 10.3402/ijch.v75.33807.
10. Мышинская Ж.М. Влияние климатических и экологических факторов на здоровье человека в условиях Крайнего Севера // *Ямальский вестник*. 2016. Т.2, № 7. С. 79-80.
11. Хаснулин В. И., Хаснулин П. В. Современные представления о механизмах формирования северного стресса у человека в высоких широтах // *Экология человека*. 2012. № 1. С. 4-11.
12. Чашин В.П., Гудков А.Б., Попова О.Н., Одланд Ю.О., Ковшов А.А. Характеристика основных факторов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике // *Экология человека*. 2014. Т. 21, № 1. С. 3-12. DOI: 10.17816/humeco17269
13. Бухтияров И.В. Проблемы медицины труда на горнодобывающих предприятиях Сибири и Крайнего Севера // *Горная промышленность*. 2013. Т. 110, № 56. С. 77-80.
14. Чеботарев А.Г. Состояние условий труда и профессиональной заболеваемости работников горнодобывающих предприятий // *Горная промышленность*. 2018. Т. 137, № 1. С. 92-95. DOI: <http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2018-1-137-92-95>
15. Измеров Н.Ф. Проблемы медицины труда на Крайнем Севере // *Медицина труда и промышленная экология*. 1996. № 5. С. 1-4.
16. Сюрин С.А., Ковшов А.А. Условия труда и риск профессиональной патологии на предприятиях Арктической зоны Российской Федерации // *Экология человека*. 2019. № 10. С. 15-23. DOI:10.33396/1728-0869-2019-10-15-23
17. Скрипаль Б.А. Состояние здоровья и заболеваемость рабочих подземных рудников горно-химического комплекса Арктической зоны Российской Федерации // *Медицина труда и промышленная экология*. 2016. № 6. С. 23-26.
18. Бухтияров И.В., Чеботарев А.Г., Курьеров Н.Н., Сокур О.В. Актуальные вопросы улучшения условий труда и сохранения здоровья работников горнорудных предприятий // *Медицина труда и промышленная экология*. 2019. Т. 59, № 7. С. 424-429. DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-7-424-429>
19. Горбанев С.А., Сюрин С.А. Профессиональная патология у работников медно-никелевой промышленности в Кольской Арктике (1989-2018 гг.) // *Здоровье населения и среда обитания*. 2020. Т. 331. №10. С. 22-27. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-331-10-22-27
20. Сюрин С.А., Полякова Е.М. К вопросу профессиональной полиморбидности (на примере российской Арктики) // *Медицина труда и промышленная экология*. 2022. Т. 62, № 7. С. 459-465. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-7-459-465>.
21. Сюрин С.А. Повышенная тяжесть труда – важнейший фактор риска профессиональной патологии на предприятиях в Арктике // *Санитарный врач*. 2020. №10. С. 26-34. DOI: 10.33920/med-08-2010-03.
22. Бабанов С.А., Будащ 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.
23. Mäkinen T., Rytönen M. Cold exposure, adaptation, and performance // *Health transitions in Arctic Populations* / ed. by T. Kue Young and P. Bjerregaard. Toronto: University of Toronto Press Incorporated, 2008. Pp. 245–262.

References:

1. Melamed I.I., Avdeev M.A., Pavlenko V.I., Kutsenko S.Yu. The Arctic zone of Russia in the socio-economic development of the country. *Vlast' publ.*, 2015, no 1, pp. 5-12. (in Russ.)
2. Kondratiev V.B. Mineral resources and the future of the Arctic. *Gornaya*

- promyshlennost'. 2020, no 1: pp. 87-96. (in Russ.) DOI: 10.30686/1609-9192-2020-1-87-96.
3. Anufriev V.A. Socio-economic problems of Murmansk region and ways of its deciding. Developing prospects of region. *Ekonomika i obshchestvo*, 2018, 1(4), pp. 20-29. (in Russ.)
 4. Shcherbakov D.S, Tikhonov A.A, Prokhorov V.T, Volkova G.Y. About increasing the level of socio-economic development of the Murmansk region. *ISJ Theoretical & Applied Science*. 2022, 11(115), pp. 69-92. <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2022.11.115.3>
 5. Antipov S. Occupational health in Siberia and Arctic zones. *Occupational and Environmental Medicine*. 2018, 75, A247. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/oemed-2018-ICOHabstracts.706>
 6. Chashchin V.P, Gorbanev S., Thomassen Y., Ellingsen D., Syurin S. et al. Occupational medicine and environmental health in the border areas of Euro-Arctic Barents Region: a review of 30-Year Russian–Norwegian research collaboration outcomes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17, p. 3879. <https://doi.org/10.3390>
 7. Gorbanev S., Syurin S., Kovshov A. Features of Occupational Health Risks in the Russian Arctic (on the Example of Nenets Autonomous Okrug and Chukotka Autonomous Okrug). *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021, 18(3), 1061. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031061>
 8. Chatwood S., Bjerregaard P., Young TK Global health - a circumpolar perspective. *American Journal of Public Health*, 2012, 102(7), pp. 1246-1249. DOI: 10.2105/AJPH.2011.300584.
 9. Donaldson S., Adlard B., Odland JØ. Overview of human health in the Arctic: conclusions and recommendations. *International Journal of Circumpolar Health*. 2016, 75, p. 33807. DOI: 10.3402/ijch. v75.33807.
 10. Myshinskaya J.M. The influence of climatic and environmental factors on human health in the Far North. *Yamalskiy Vestnik*. 2016, 2 (7), pp. 79-80. (in Russ.)
 11. Khasnulin V.I., Khasnulin P.V. Modern ideas about the mechanisms of formation of northern stress in humans in high latitudes. *Ekologiya Cheloveka*. 2012, 1, pp. 4-11. (in Russ.)
 12. Chashchin V.P., Gudkov A.B., Popova O.N., Odland J.Ö., Kovshov A.A. Description of main health deterioration risk factors for population living on territories of active natural management in the Arctic. *Ekologiya cheloveka*. 2014; 21 (1), pp. 3-12. (in Russ.). DOI: 10.17816/humeco17269
 13. Bukhtiyarov I.V. Problems of occupational medicine at mining enterprises in Siberia and the Far North. *Gornaya Promyshlennost*. 2013, 110 (56), pp. 77-80. (in Russ.).
 14. Chebotarev A.G. The state of working conditions and occupational morbidity of employees of mining enterprises. *Gornaya Promyshlennost*. 2018; 137 (1): 92-95. (in Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2018-1-137-92-95>
 15. Izmerov NF. Problems of occupational medicine in the Far North. *Meditcina Truda i Promyshlennaya Ecologiya*. 1996; 5, pp. 1-4. (in Russ.).
 16. Syurin S.A., Kovshov A.A. Working conditions and the risk of occupational pathology at enterprises in the Arctic zone of the Russian Federation. *Ekologiya Cheloveka*. 2019, 10, pp. 15-23. (in Russ.). DOI:10.33396/1728-0869-2019-10-15-23
 17. Skripal B.A. The state of health and morbidity of workers in underground mines of the mining and chemical complex of the Russian Federation Arctic zone. *Meditcina Truda i Promyshlennaya Ecologiya*. 2016, 6, pp. 23-26 (in Russ.).
 18. Bukhtiyarov I.V., Chebotarev A.G., Kuryerov N.N., Sokur O.V. Topical issues of improving working conditions and maintaining the health of employees of mining enterprises. *Meditcina Truda i Promyshlennaya Ecologiya*. 2019, 59 (7), pp. 424-429. (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-7-424-429>
 19. Gorbanev S.A., Syurin S.A. Occupational pathology among workers in the copper-nickel industry in the Kola Arctic (1989-2018). *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2020, 331 (10), pp. 22-27. (in Russ.). 10.35627/2219-5238/2020-331-10-22-27
 20. Syurin S.A., Polyakova E.M. To the question of occupational polymorbidity (on the example of the Russian Arctic). *Meditcina Truda i Promyshlennaya Ecologiya*. 2022, 62(7): pp. 459-465. (in Russ.) <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-7-459-465>
 21. Syurin S.A. The increased severity of labor is the most important risk factor for occupational pathology at enterprises in the Arctic. *Sanitarnyy Vrach*. 2020; 10: 26-34. (in Russ.). DOI 10.33920/med-08-2010-03
 22. Babanov S.A., Budash D.S., Baikova A.G., Baraeva R.A. Periodic medical examinations and professional selection in industrial medicine. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2018, 5, pp. 48-53 (in Russ.).
 23. Mäkinen T, Rytönen M. Cold exposure, adaptation, and performance // *Health transitions in Arctic Populations* / ed. by T. Kue Young and P. Bjerregaard. Toronto, University of Toronto Press Incorporated, 2008, pp. 245–262.

Научная статья

УДК 556

DOI: 10/24412/2658-4255-2023-1-33-44



EDN: CGLAXD

Для цитирования:

Шпакова Р.Н., Wang P.
Изменение характера
многолетних колебаний стока
рек Южной Якутии и
прилегающих районов
российского Дальнего Востока
в условиях глобального
потепления // Российская
Арктика. 2023. Том 5(1).
С. 33–44
<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2023-1-33-44>

Получена: 17.10.2022
Принята: 15.03.2023
Опубликована: 12.04.2023

For citation:

Shpakova R.N., Wang P.
Change in Perennial Runoff
Fluctuations of the Rivers in
South Yakutia in the Context
of Global Warming // Russian
Arctic, 2023; Vol 5(1):
p.p. 33-44. (In Russ.)
<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2023-1-33-44>



ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРА МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ СТОКА РЕК ЮЖНОЙ ЯКУТИИ И ПРИЛЕГАЮЩИХ РАЙОНОВ РОССИЙСКОГО ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Р.Н. Шпакова^{1,*} , Ping Wang (王平)^{2,**} 

¹ Московский государственный институт международных отношений
(университет), Москва, Россия

² Институт географических наук и исследования природных ресурсов, Китайская академия наук, Пекин, Китай

E-mail: *production2003@mail.ru, **wangping@igsnr.ac.cn

Аннотация

В предлагаемой статье приводятся результаты исследования особенностей изменения характера многолетних колебаний водного режима рек в условиях развивающегося глобального потепления. Речные бассейны компактно расположены в пределах одной природно-климатической зоны – региона Южной Якутии и прилегающих районов Иркутской, Амурской областей, Хабаровского и Забайкальского краев Российской Федерации. Бассейны рассмотренных 6 рек, за небольшим исключением, охватывают всю территорию Южной Якутии.

К основным тенденциям в изменениях характера многолетних колебаний стока в современный период (1988-2018 гг.) следует отнести рост водности на большинстве рек на 16-34%, который, тем не менее, не привел к нарушению стационарности рядов годового стока по математическому ожиданию. В большей степени возросла дисперсия годового стока: на 5 реках из 6 ее рост составил от 8 до 254%, в результате чего на трех реках (Чара, Тимптон, Амга) ряды годового стока утратили стационарность по дисперсии.

В целом по региону отмечен рост частоты наступления экстремальных событий – превышения исторического максимального годового стока базового периода или наступления годового стока, меньшего, чем исторический минимальный годовой сток базового периода, причем частота постепенно увеличивается в пределах длительности современного периода. Выявлена географическая закономерность изменения характера многолетних колебаний речного стока: в наибольшей степени эти изменения проявились на реках западной части Южной Якутии (Чара, Олекма), в наименьшей – на реках восточной части (Учур, Мая).

Ключевые слова: глобальное потепление, Южная Якутия, многолетние колебания стока рек, изменчивость стока

CHANGE IN PERENNIAL RUNOFF FLUCTUATIONS OF THE RIVERS IN SOUTH YAKUTIA IN THE CONTEXT OF GLOBAL WARMING

R.N. Shpakova^{1,*} , Ping Wang ^{2,**} 

¹ Moscow State Institute of International Relations (University), Regional Governance and National Policy Department, Moscow, Russia

² Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

e-mail: *production2003@mail.ru, **wangping@igsnr.ac.cn

Abstract

The proposed article presents the results of a study of the peculiarities of changing the nature of long-term fluctuations in the water regime of rivers in the conditions of developing global warming. River basins are compactly located within one natural and climatic zone - the region of Southern Yakutia and adjacent areas of the Irkutsk, Amur regions, Khabarovsk and Trans-Baikal Territories of the Russian Federation. This approach made it possible to adequately compare the parameters of changes in the nature of long-term fluctuations in the flow of rivers under similar conditions.

The basins of the 6 rivers considered, with a few exceptions, cover the entire territory of South Yakutia.

The main trends in changes in the nature of long-term fluctuations in runoff in the modern period (1988-2018) include an increase in water content on most rivers by 16-34%, which, nevertheless, did not lead to a violation of the stationarity of the annual runoff series according to mathematical expectation. The dispersion of annual runoff increased to a greater extent: on 5 rivers out of 6, its growth ranged from 8 to 254%, as a result of which on three rivers (Chara, Timpton, Amga), the annual runoff series lost their stationarity in dispersion.

In general, the region has seen an increase in the frequency of occurrence of extreme events – exceeding the historical maximum annual runoff of the base period or the occurrence of an annual runoff less than the historical minimum annual runoff of the base period, and the frequency is gradually increasing within the duration of the modern period.

The geographical pattern of changes in the nature of long-term fluctuations in river flow was revealed: to the greatest extent these changes were manifested on the rivers of the western part of Southern Yakutia (Chara, Olekma), to the least - on the rivers of the eastern part (Uchur, Maya).

Keywords: global warming, water runoff, SouthYakutia, perennial runoff, runoff variability

Введение

Продолжающееся глобальное потепление имеет прямым следствием дестабилизацию гидрометеорологических процессов, в частности, режима стока рек, что, в свою очередь, может проявляться в формировании опасных гидрологических явлений. Особая опасность в данном случае состоит в том, что такие явления могут оказаться нетипичными, беспрецедентными для многих водных объектов. Подобные события необходимо предвидеть хотя бы на вероятностном уровне, чтобы предотвратить или смягчить причиняемый ими ущерб.

Происходящие климатические изменения уже привели к существенным изменениям водного режима в ряде крупных регионов [4; 11]. При этом ряд исследований свидетельствует о том, что процессы глобального потепления продолжатся в ближайшей обозримой перспективе [13; 16]. Предполагается, что Россия (особенно арктические и субарктические регионы) окажется в зоне наиболее интенсивного потепления [8].

С учетом указанных перспектив нетрудно предположить и продолжение (а, вероятно, и усиление) реакции рек на климатические изменения. Общим правилом в этом отношении является увеличение стока воды в тех случаях, когда повышенное испарение не превышает увеличения количества осадков [8].

Такого рода предполагаемое развитие гидрометеорологических процессов ставит вопрос об оценке возможного влияния развивающегося глобального потепления на речной сток. Моделирование таких процессов осуществляется, как правило, для отдельных речных бассейнов или речных систем [17; 21].

Относительно территориальных особенностей предполагаемых изменений годового стока рек, преобладающим мнением является то, что наибольшее увеличение годового стока рек будет иметь место в северном полушарии и, в частности, в зоне Сибири (с более чем 8% в начале до 17% в конце XXI века) [8]. Увеличение стока предполагается и для рек на территории Якутии, прежде всего, для реки Лены [3; 15].

Как правило, модельные расчеты строятся для крупных и крупнейших рек и речных систем, в связи с чем, оценки изменения стока в таких случаях являются крайне обобщенными. Вопросы о поведении в условиях климатических изменений различ-

ных участков крупных речных систем, а также средних по величине, изолированных речных бассейнов, остаются открытыми. И, если представление о предполагаемых основных тенденциях годового стока такого рода объектов можно получить, адаптировав к ним результаты модельных расчетов для рек, к бассейнам которых они относятся, то формы возможных нарушений характера многолетних колебаний стока предсказать пока невозможно. Между тем, потепление длится уже более 30 лет, и реакция речного стока на это явление, если таковая имеется, уже должна была проявиться.

Представляется, что, обобщив данные о фактических изменениях характера многолетних колебаний стока в период развивающихся климатических изменений, можно получить представление и о возможных изменениях в будущем.

Именно оценка фактических изменений характера многолетних колебаний стока в условиях глобального потепления явилась предметом настоящего исследования. В качестве объекта принят ряд рек, бассейны которых расположены в Южной Якутии и прилегающих к ней районах Дальнего Востока южнее 60°с.ш. Это исследование является своего рода продолжением исследований, проведенных для рек, расположенных в приполярной зоне Якутии [20] и в Центральной Якутии [18]. Под изменениями характера многолетних колебаний стока здесь понимается: а) нарушение стационарности временного ряда, б) увеличение частоты возникновения (по сравнению с предыдущим периодом) экстремальных событий (годового стока, превышающего исторический максимум, или меньшего, чем исторический минимум).

Оценки современных изменений стока воды, обусловленных климатическими изменениями, для рек бассейна Нижней Лены и Вилюя, лежащих вблизи исследуемого района, представлены Д.В. Магрицким [7]. К выводу о том, что климатически обусловленные изменения стока рек особенно интенсивно проявляются в бассейне Северного Ледовитого океана, в частности – в бассейне реки Лены, пришли А.Г. Георгиади и Е.А. Кашутина [2]. В указанных работах дается наиболее общая оценка ожидаемых изменений водности рек, но не дается ответа на вопрос, какого характера будут проявления этих изменений по частоте, продолжительности, амплитуде отклонения от нормы и т. д. Только в исследовании Е. Гусева и др. [12] сделана попытка определить для р. Лены (в числе еще ряда крупнейших рек мира) вероятности наступления в перспективе лет с экстремально высоким и экстремально низким годовым стоком.

В работе Shpakova et al. [19] установлена общая тенденция к увеличению среднегодового стока для рек Якутии за последние 50 лет, правда, без выделения отдельной оценки реакции стока в период активного потепления. В упомянутых выше работах [18; 20] были проведены исследования изменений характера многолетних колебаний стока рек приполярной зоны Якутии и Центральной Якутии (соседствующей с рассматриваемым в данной работе регионом), согласно которым реакция стока рек носит различный характер: появление в отдельных случаях экстремально высокого годового стока на фоне обычного режима многолетних колебаний; возникновение длительных (свыше 5 лет) периодов повышенной (выше обычных максимумов годового стока) водности. Начало периода искажений характера многолетних колебаний стока в указанных регионах – конец 90-х годов XX века.

Проблеме определения начала существенных изменений климата в бассейне р. Лены (а, следовательно, и на территории Якутии) также уделялось достаточное внимание. В статье Джамалов и др., 2012 год [5] в качестве срока, разграничивающего период похолодания и последующего потепления, принят 1970 год, хотя даже на приведенных в этой статье графиках изменения температур видно, что ни о каком выраженном потеплении климата до конца 80-х годов не может быть и речи. Скорее всего, авторам пришлось сдвинуть расчетную дату на несколько лет назад для выравнивания продолжительности рядов среднегодовой температуры воздуха до и после потепления. Используя метод разностных интегральных кривых, А. Г. Георгиади и Е. А. Кашутина пришли к выводу, что переломным является 1980 год [1]. В данном случае авторами за начало потепления принято начало относительно стабильного в климатическом отношении периода 1980-1987 годов, в течение которого среднегодовые температуры менялись незначительно вплоть до начала в 1988 году интенсивного потепления. Такой подход, разумеется, имеет свою логику.

Применительно к теме исследования определенным интерес представляет работа Tananaev, Makarieva & Lebedeva [22], в которой, в ходе оценки многолетних изменений водности рек бассейна р. Лены, определены случаи статистически значимых разрывов однородности рядов среднегодового стока. К сожалению, формат подачи выводов в указанной работе таков, что не позволяет установить, на каких конкретно реках и когда именно происходили существенные изменения в однородности, а это было бы крайне интересно в плане сравнения с результатами, полученными в настоящей работе.

Материалы и методы

Использованы многолетние данные о среднегодовом стоке воды для 6 гидрологических постов российской государственной системы наблюдений за режимом рек, расположенных в пределах выделенного региона (рис. 1).

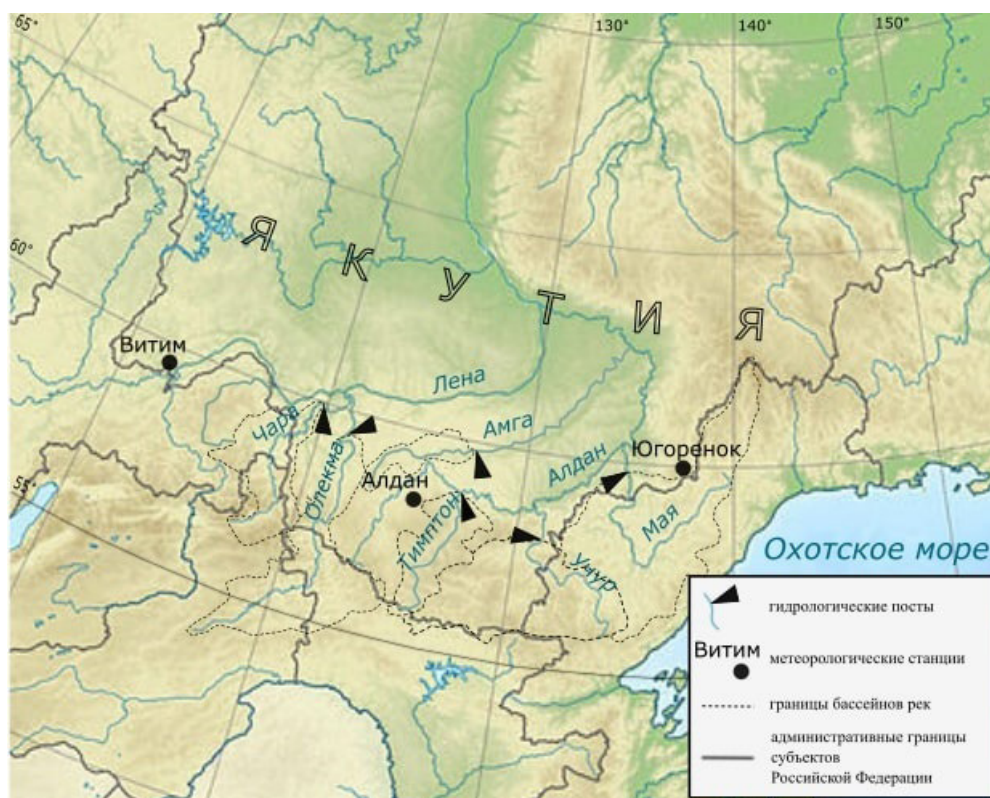


Рисунок 1. Карта-схема размещения рек, пунктов наблюдения за стоком воды и метеорологических станций в регионе Южной Якутии

Данные о среднегодовом стоке предоставлены Якутским управлением по гидрометеорологии и контролю природной среды. Реки – объекты исследования выбирались в соответствии с заданными в данном исследовании критериями: а) бассейн должен быть целиком расположен в выделенной широтной зоне 55-60°с.ш.; б) период наблюдений должен составлять не менее 60 лет; в) река не должна быть малым водотоком; г) река не может быть очень крупной – площадь водосбора не должна превышать 200 000 тыс. км². Указанным критериям не вполне соответствует только р.Олекма, исток которой находится несколько за пределами выделенного географического района.

Выбранные объекты исследования характеризуются водосборами различной величины (таблица 1), относящимся к категориям больших и средних рек. Период наблюдений на постах составляет от 66 до 85 лет и заканчивается 2018 годом.

Таблица 1

Сведения о гидрологических постах

Гидрологические посты (река, пункт)	Площадь водосбора (км ²)	Период наблюдения за стоком, гг
Олекма, Куду-Кель	115 000	1939 - 2018
Чара, Токко	62 500	1934 - 2018
Тимптон, Усть-Тимптон	43 700	1953 - 2018
Учур, Чюльбю	108 000	1953 - 2018
Мая, Чабда	165 000	1935 - 2018
Амга, Буяга	23 900	1937 - 2018

Для сравнимости результатов все ряды приведены к единому размеру расчетного периода 1953-2018 гг.

Сведения о годовом стоке представлены в модульных коэффициентах – нормированном по отношению к среднему многолетнему значению виде.

Несмотря на достаточно малое количество пунктов наблюдений за речным стоком, их размещение позволяет охватить всю территорию Южной Якутии по широте.

Реки, принятые к исследованию, имеют естественный режим. Какие-либо гидротехнические объекты, оказывающие влияние на речной сток, на этих реках отсутствуют. Также следует отметить, что рассматриваемый регион отличается крайне низкой плотностью населения и отсутствием крупных промышленных предприятий и иных факторов антропогенного воздействия, что позволяет оценивать условия формирования стока рек на данной территории как фоновые.

Для изучения климатических факторов выбрано 3 метеорологических станции, для каждой из которых рассмотрены многолетние ряды температуры воздуха. Метеостанции, по которым определялась многолетняя динамика среднегодовых температур, выбирались так, чтобы они располагались примерно на одной широте и распределялись равномерно по всей территории региона (см. рис. 1). Сведения о географических характеристиках метеостанций приведены в таблице 2.

Для целей определения изменения статистических характеристик временного ряда в условиях радикальной смены климатических условий необходимо установить момент начала этой смены. Это позволит разделить временные ряды на периоды «до» и «после» указанного момента. В работе [20] такой момент был определен для полярной зоны Якутии как 1988 год. Затем данная оценка подтвердилась и для региона Центральной Якутии, непосредственно соседствующего с исследуемым в настоящей работе регионом [18].

Н. М. Юмина и М. А. Терешина, применив в своем исследовании метод разностных интегральных кривых, пришли к выводу, что годом начала климатически-обусловленных изменений водного режима для водных рек бассейна реки Вилюя является 1987 год [11]. При этом следует отметить, что бассейн реки Вилюя также соседствует с регионом Южной Якутии.

Кроме того, в исследовании Min Xu et al. [14] установлена примерная дата начала существенного изменения климата в бассейне реки Оби – 1990 год. Хотя данный регион отделен от Южной Якутии огромной территорией водной системы реки Енисея, но, тем не менее, близость дат начала проявления глобального потепления в Якутии и Западной Сибири очевидна.

Не противоречат изложенным выше обстоятельствам и результаты наблюдений на метеостанциях, расположенных непосредственно в исследуемом регионе, в частности, на метеостанции Югоренок (рис. 2). Переход к растущей тенденции от стационарного состояния, начиная с 1988 года (обозначен на рис. 2 вертикальной линией), выражен достаточно явно.

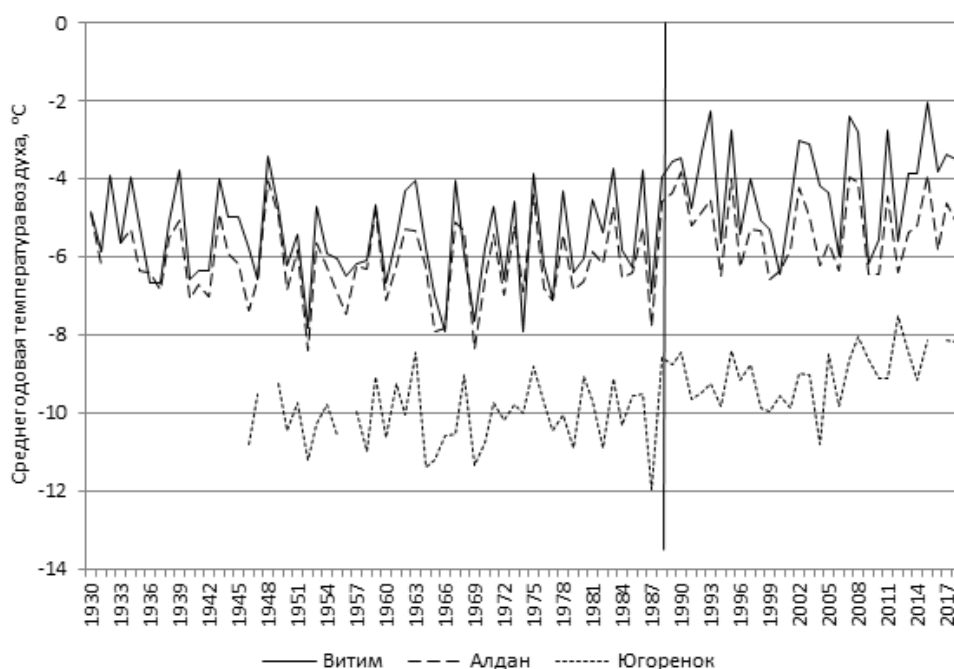


Рисунок 2. Изменение среднегодовой температуры воздуха по метеостанциям Витим, Алдан, Югоренок за период с начала наблюдений до 2018 года

Таким образом, дата начала глобального потепления в Якутии, в том числе и Южной, – 1988 год, полученная различными независимыми методами, может быть оценена как достаточно корректная.

Для удобства анализа и изложения результатов единый для всех пунктов ряд наблюдений за период 1953-2018 гг. именуется расчетным, ряд наблюдений до даты начала потепления (1953-1987 гг.) – *базовым*, период после начала потепления (1988-2018 гг.) – *современным*.

Проверка наличия или отсутствия существенного изменения режима рек состояла, в частности, в определении стационарности временных рядов годового стока рек за базовый и расчетный периоды. Соответственно, предполагалось, что изменение оценки стационарности, если таковое будет иметь место, должно быть связано с изменениями характера многолетних колебаний в период после даты начала потепления (современный).

Каждый ряд годового стока проверялся на соответствие нормальному распределению с помощью критерия Шапиро-Уилка, вполне приемлемого для временных рядов, имеющих более 20 членов [6, с. 26-29]. В качестве нулевой гипотезы выдвигалась гипотеза о соответствии эмпирического распределения нормальному типу, альтернативная гипотеза – о несоответствии. Нулевая гипотеза принималась при превышении рассчитанного (эмпирического) значения критерия W над критическим $W_{кр}$.

Оценка стационарности временных рядов сводилась к проверке статистических гипотез о постоянстве математического ожидания и постоянстве дисперсии. Оценка стационарности математического ожидания проводилась по параметрическому критерию – t -критерию Стьюдента, а оценка стационарности дисперсий – по параметрическому F -критерию Фишера [10]. Нулевая гипотеза – постоянство математического ожидания или дисперсии, альтернативная – непостоянство. В обоих случаях меньшее, по отношению к критическому, значение критерия являлось основанием принятия нулевой гипотезы.

Существовала проблема неприменимости критериев Фишера и Стьюдента к оценке стационарности временных рядов гидрологических характеристик. Дело в том, что указанные критерии были разработаны для нормальных функций распределения вероятностей и независимых во времени случайных последовательностей, а ряды гидрологических характеристик, как правило, асимметричны и коррелированы во времени. Однако, к настоящему времени классические критерии Фишера и Стьюдента уточнены для случаев асимметричных и коррелированных последовательностей и рекомендованы для применения при оценке однородности гидрологических рядов [9]. Этот вариант критериев и использован в настоящей работе.

Уровень значимости α во всех случаях принимался равным 0,05.

Стационарным признавался ряд данных, для которого подтверждались обе нулевые гипотезы (о стационарности математического ожидания и дисперсии), нестационарным – для которого обе нулевые гипотезы отвергались. Среди полученных результатов имеются также случаи нестационарности по одному из параметров – дисперсии.

Кроме оценки стационарности временных рядов проверялось изменение частоты появления в современном периоде экстремальных по отношению к базовому периоду событий – наступления годового стока, превысившего исторический максимальный годовой сток базового периода, или наступления годового стока, меньшего, чем исторический минимальный сток базового периода. Анализировалось число таких случаев, их распределение в пределах современного периода и в пределах рассматриваемой территории.

Результаты и их обсуждение

Очевидно, что в условиях глобального характера климатических процессов изменение параметров многолетних колебаний стока может не вполне соответствовать характеру изменений климатических условий на региональном уровне, но, тем не менее, полагаем необходимым кратко описать динамику среднегодовой температуры воздуха в Южной Якутии.

В таблице 2 приведены сведения о средней многолетней температуре воздуха по метеостанциям Витим, Алдан, Югоренок. Как видно из этой таблицы, в среднем по региону среднегодовая температура воздуха, начиная с 1988 года, повысилась на 1,2°C. Интенсивность потепления составила около 0,39°C за 10 лет. Следует отметить, что это существенно ниже, чем интенсивность потепления в Центральной Якутии, которая составила 0,55°C за 10 лет [18].

Таблица 2

Сведения о метеорологических станциях и средней многолетней температуре воздуха

Метеостанция	Широта (северная)	Долгота (восточная)	Высота над уровнем моря (м)	Средняя многолетняя температура воздуха от начала наблюдений до 1987 г.	Средняя многолетняя температура воздуха за период 1988-2018 гг.	Изменение средней многолетней температуры воздуха
Витим	59°272'	112°35'	186	-5,6	-4,0	+1,6
Алдан	58°362'	125°23'	678	-6,2	-5,2	+1,0
Югоренок	59°462'	137°40'	380	-10,1	-9,1	+1,0
Среднее значение по региону				-7,3	-6,1	+1,2

Прирост средней температуры в центральной (м/ст. Алдан) и восточной (м/ст. Югоренок) частях региона близки по величине, а тот же параметр в западной части (м/ст. Витим) существенно выше – на 0,6°С. Немаловажно отметить, что суровость климата увеличивается с запада на восток: средняя многолетняя температура на метеостанции Югоренок на 4.6°С ниже, чем на метеостанции Витим.

Об общем характере изменений параметров временных рядов стока можно судить по данным таблицы 3.

Таблица 3

Изменение средней многолетней величины (в модульных коэффициентах) и дисперсии годового стока воды за базовый (1953-1987 гг.) и современный (1988-2018 гг.) периоды

Пункты наблюдений за стоком (река, пост)	Средний многолетний сток за период:			Дисперсия годового стока за период:		
	базовый	современный	изменение (%)	базовый	современный	изменение (%)
Олекма, Куду-Кель	0,935	1,110	+18,7	0,064	0,069	+7,8
Чара, Токко	0,893	1,196	+33,9	0,043	0,152	+253,5
Тимптон, Усть-Тимптон	0,972	1,031	+6,1	0,032	0,059	+84,4
Учур, Чюльбю	1,000	1,000	0	0,037	0,036	-2,3
Мая, Чабда	1,003	1,037	+3,4	0,052	0,058	+11,5
Амга, Буяга	0,947	1,094	+15,5	0,067	0,117	+74,6

В целом, следует отметить общую тенденцию к росту среднего многолетнего стока в современный период по сравнению с базовым периодом, почти равным ему по длительности. Исключением явилась р. Учур с нулевым изменением среднего многолетнего стока. Наибольший рост пришелся на реки, расположенные в западной части рассматриваемого региона (Олекма, Чара). Менее всего тенденция повышения среднего многолетнего стока выражена в восточной части региона (Мая, Учур). Также возросла дисперсия годового стока, за исключением р. Учур, на которой наблюдалось небольшое снижение. Степень роста дисперсии отличается значительным диапазоном (от 7,8% до 253,5%) при отсутствии какой-либо географической закономерности.

В таблице 4 приведены аналогичные расчеты для более длинных рядов наблюдений (79-85 лет). Соответственно, в таблице 4 отсутствуют такие пункты, как Тимптон - Усть-Тимптон и Учур - Чюльбю, по которым такие длительные наблюдения отсутствуют.

Таблица 4

Изменение средней многолетней величины (в модульных коэффициентах) и дисперсии годового стока воды за периоды наблюдений до и после 1988 г.

Пункты наблюдений за стоком (река, пост, дата начала наблюдений)	Средний многолетний сток за период:			Дисперсия годового стока за период:		
	с начала наблюдений до 1987 г.	с 1988 по 2018 годы	Изменение (%)	с начала наблюдений до 1987 г.	с 1988 по 2018 годы	Изменение (%)
Олекма, Куду-Кель, 1939 г.	0,937	1,110	+18,5	0,057	0,069	+21,1
Чара, Токко, 1934 г.	0,888	1,196	+34,7	0,032	0,152	+375,0
Мая, Чабда, 1933 г.	0,978	1,037	+6,0	0,054	0,058	+7,4
Амга, Буяга, 1937 г.	0,943	1,094	+16,0	0,065	0,117	+80,0

Сравнение с результатами аналогичного расчета, приведенными в таблице 3, показывает, что увеличение среднего многолетнего стока в период 1988-2018 годы по сравнению со средним многолетним стоком за более длительный, чем в предыдущем расчете, предшествующий период, отличается незначительно – от 0,1 до 0,8 процентных пункта. В то же время прирост дисперсии оказался существенно выше – от 5,4 до 121,5 процентных пункта. Исключение составила река Мая, на которой прирост дисперсии в период 1988-2018 гг. по сравнению с периодом от начала наблюдений до 1987 года оказался на 4,1 процентных пункта меньше, чем по сравнению с периодом 1953-1987 гг.

Определенные сведения о характере многолетних колебаний годового стока может дать постоянство (или непостоянство) закона распределения случайных величин, составляющих временной ряд. В таблице 5 приведены результаты оценки соответствия рядов годового стока нормальному закону распределения за базовый период (1953-1987 гг.) и за расчетный период (1953-2018 гг.).

Таблица 5

Оценка соответствия рядов стока нормальному распределению по W -критерию Шапиро-Уилка

Пункты наблюдений за стоком (река, пост)	Базовый период ($W_{кр} = 0,938$)		Расчетный период ($W_{кр} = 0,964$)	
	Значения критерия $W_{эмп}$	Оценка соответствия нормальному распределению	Значения критерия $W_{эмп}$	Оценка соответствия нормальному распределению
Олекма, Куду-Кель	0,970	соответствует	0,986	соответствует
Чара, Токко	0,937	не соответствует	0,911	не соответствует
Тимптон, Усть-Тимптон	0,985	соответствует	0,972	соответствует
Учур, Чюльбю	0,946	соответствует	0,950	не соответствует
Мая, Чабда	0,965	соответствует	0,983	соответствует
Амга, Буяга	0,966	соответствует	0,951	не соответствует

Как видно из таблицы 5, ряды годового стока в рассматриваемых пунктах за базовый период подчиняются нормальному закону распределения вероятностей, за исключением пункта р. Чара – с. Токко, причем и здесь эмпирическое значение W -критерия Шапиро-Уилка меньше критического всего на 0,001, то есть отличие от нормального закона минимально. Оценки соответствия нормальному закону распределения за расчетный период показали, что половина рядов перестали соответствовать нормальному закону.

Важнейшим параметром, характеризующим характер многолетних колебаний стока, является стационарность. Полная стационарность ряда определялась как совокупность условий стационарности средней величины и стационарности дисперсии.

По итогам расчета F -критерия Фишера (далее эмпирические значения критерия обозначены $F_{\text{эмп}}$, критические $F_{\text{кр}}$) получены следующие оценки: до 1988 года все ряды годового стока отличаются стационарностью дисперсий, но затем произошедшие изменения режима многолетних колебаний привели к нарушению этого параметра в пунктах р. Чара – с. Токко ($F_{\text{эмп}} = 3,55, F_{\text{кр}} = 2,64$), р. Тимптон – с. Усть-Тимптон ($F_{\text{эмп}} = 2,14, F_{\text{кр}} = 1,90$) и р. Амга – с. Буяга ($F_{\text{эмп}} = 2,12, F_{\text{кр}} = 2,01$).

В отличие от дисперсии, стационарность средней величины годового стока подтверждена по всем пунктам как в базовый (1953-1987 гг.), так и в расчетный (1953-2018 гг.) период. Оценка производилась по t -критерию Стьюдента.

Окончательно, получены следующие оценки стационарности временных рядов стока. До 1987 года включительно все ряды годового стока рек характеризуются как стационарные. В разрезе расчетного периода 1953-2018 гг. в трех пунктах – р. Чара – с. Токко, р. Тимптон – с. Усть-Тимптон, р. Амга – с. Буяга – ряды годового стока не являются стационарными по дисперсии. Причиной послужило увеличение изменчивости годового стока в период 1988-2018 гг. (см. таблицу 3). Полной нестационарности не наблюдается ни в одном пункте.

По данным следующей таблицы 6 можно судить о динамике изменений характера многолетних колебаний годового стока – по количеству и частоте наступления в современном периоде экстремальных по отношению к базовому периоду событий. Под экстремальными в данном случае понимаются случаи наступления годового стока, превысившего исторический максимальный годовой сток базового периода (N_{max}), или наступления годового стока, меньшего, чем исторический минимальный сток базового периода (N_{min}). Исторический максимальный годовой сток базового периода – наибольший наблюдаемый годовой сток периода 1953-1987 гг., а исторический минимальный – наименьший наблюдаемый годовой сток периода 1953-1987 гг. Кроме того, современный период 1988-2018 гг. поделен на три примерно равных по длительности подпериода (11 + 10 + 10 лет), и количество указанных событий определялось за каждый подпериод.

Таблица 6

Число наступления в современный период экстремальных по отношению к базовому периоду событий

Пункты наблюдений за стоком (река, пост)	Подпериод современного периода наблюдений						Всего по пункту
	1988-1998		1999-2008		2009-2018		
	N_{max}	N_{min}	N_{max}	N_{min}	N_{max}	N_{min}	
Олекма, Куду-Кель	1	0	0	0	5	0	6
Чара, Токко	0	0	3	0	3	0	6
Тимптон, Усть-Тимптон	1	0	2	0	1	0	4
Учур, Чюльбю	0	0	0	1	0	0	1
Мая, Чабда	0	1	0	0	0	0	1
Амга, Буяга	0	0	1	0	1	0	2
Всего	2	1	6	1	10	0	20

Данные таблицы 6 показывают, что интенсивность возникновения экстремальных явлений увеличивается со временем: от 3 случаев в первые 11 лет периода до 10 случаев в последние 10 лет. Подавляющее большинство случаев, 18 из 20, – превышение исторического максимального годового стока базового периода. Прослеживается и пространственная закономерность – наибольшее число случаев приходится на реки, расположенные в западной части рассматриваемого региона (Олекма, Чара – по 6 случаев), наименьшее – на реки восточной части (Учур, Мая – по 1 случаю).

Подобный анализ был проведен и для предшествующего периода 1953-1987 гг., считая за базовый по отношению к нему период, начиная с даты начала наблюдений (1934 – 1939 для разных пунктов) до 1952 года. Так как такие длительные периоды наблюдений имеются не на всех пунктах, то подобный расчет оказался возможным только для Олекмы, Чары, Майи и Амги. Отмечено следующее число экстремальных

случаев: Куду-Кель – 0, Токко – 5, Чабда – 1, Буяга – 3. В целом, можно видеть, что, по крайней мере, для данных пунктов, количество экстремальных случаев в период 1953-1987 гг. существенно ниже, чем в период 1988-2018 гг. Для указанных четырех пунктов это соотношение составляет: 9 случаев в период 1953-1987 гг. против 15 случаев (см. таблицу 6) в период 1988-2018 гг.

Выводы

В условиях активного потепления, начало которого отнесено нами к 1988 году, на рассмотренных реках региона Южной Якутии и прилегающих районов российского Дальнего Востока отмечено общее повышение водности, достигающее для отдельных рек значений роста в 16–34%. На 5 из 6 рек существенным образом возросла дисперсия годового стока. Наиболее высокий рост дисперсии на отдельных реках достигает 75 – 254%.

На рассмотренных реках региона многолетние ряды годового стока до начала устойчивого потепления оцениваются как стационарные. Последовавшие затем изменения в характере многолетних колебаний привели к тому, что ряды стока рек Чары, Тимптона, Амги утратили стационарность по дисперсии, на трех остальных реках стационарность рядов сохранилась.

В современный период 1988-2018 гг. на реках Южной Якутии участилось (по сравнению с базовым периодом сравнимой продолжительности 1953-1987 гг.) появление экстремальных событий в виде годового стока, превышающего исторический максимальный годовой сток базового периода или годового стока, меньшего, чем исторический минимальный годовой сток базового периода. Для четырех рек с наиболее длинными рядами наблюдений (Олекма, Чара, Мая, Чабда) можно привести следующее соотношение: 15 экстремальных событий в период 1988-2018 гг. против 9 случаев в период 1953-1987 гг.

Общее количество экстремальных явлений на рассмотренных реках в период 1988-2018 гг. составляет 20, из которых 18 – превышение исторического максимального годового стока базового периода. Интенсивность возникновения экстремальных явлений увеличивается со временем: от 3 случаев в первые 11 лет современного периода до 10 случаев в последние 10 лет. Прослеживается и пространственная закономерность – наибольшее число случаев приходится на реки, расположенные в западной части рассматриваемого региона (Олекма, Чара – по 6 случаев), наименьшее – на реки восточной части (Учур, Мая – по 1 случаю). С учетом результатов оценки стационарности временных рядов можно сделать общий вывод о том, что в наибольшей степени изменение характера многолетних колебаний стока затронуло реки западной части Южной Якутии, в наименьшей степени – реки восточной части.

Список литературы:

1. Георгиади А. Г., Кашутина Е. А. Многолетние изменения годового и сезонного стока рек бассейна Лены // Известия Российской Академии наук. Серия географическая. 2014. №2. С. 71-83.
2. Георгиади А.Г., Кашутина Е.А. Региональные особенности изменений во времени притока речных вод в Северный Ледовитый океан / Полярная криосфера и воды суши. М.: Paulsen, 2011. С. 252–264.
3. Георгиади А.Г., Милюкова И.П. Речной сток в бассейне реки Лены в условиях вероятного глобального потепления климата // Вычислительные технологии. Т. 11. Ч. 2. Специальный выпуск. 2006. С. 166–174.
4. Георгиевский В.Ю., Шалыгин А.Л. Гидрологический режим и водные ресурсы / Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. М.: Росгидромет, 2012. С. 53–86.
5. Джамалов Р.Г., Кричевец Г.Н., Сафронова Т.И. Современные изменения водных ресурсов в бассейне Лены // Водные ресурсы. 2012. Т. 39, №2. С. 131–145.
6. Лемешко Б. Ю. Критерии проверки отклонения распределения от нормального закона. Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2014. – 192 с. URL:https://ami.nstu.ru/~headrd/seminar/publik_html/guid_normal_tets.pdf
7. Магрицкий Д.В. Факторы и закономерности многолетних изменений стока воды, взвешенных наносов и теплоты Нижней Лены и Вилюя // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2015. №6. С. 85–95.
8. Мелешко В.П. Изменения гидрологического цикла в Северной Евразии, обусловленные потеплением климата // Вычислительные технологии. Т.11. Ч.1. Специальный выпуск. 2006. С. 29–38.

9. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным / Государственное учреждение «Государственный гидрологический институт». Санкт-Петербург: Нестор-история, 2010. 162 с.
10. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. СПб.: РГГМУ, 2007. 279 с.
11. Юмина Н.М., Терешина М.А. Многолетние изменения стока рек бассейна Вилюя // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2017. №6. С. 62–70.
12. Gusev Ye.M., Nasonova O.N., Kovalev E.E., Auzel G.V. Impact of Possible Climate Change on Extreme Annual Runoff from River Basins Located in Different Regions of the Globe // *Water Resources*. 2019. 46(S1). P. 126–136. DOI: 10.1134/S0097807819070108
13. Houghton J.E.T., Ding Y.H., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P., Dai X., Maskell M., Johnson C.A. The Scientific Basis Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge Univ. Cambridge, New York, 2001. 881p.
14. Min X., Shichang K., Xiaoming W., Hao W., Didi H., Daqing Y. Climate and hydrological changes in the Ob River Basin during 1936–2017 // *Hydrological Processes*. 2020. 34(15). P. 1–16. DOI: 10.1002/hyp.13695
15. Nohara D., Kitoh A., Hosaka M., Oki T. Impact of climate change on river runoff // *Journal of Hydrometeorology*. 2006. 7(5). P. 1076–1089.
16. Phillips T.J., Gleckler P.J. Evaluation of continental precipitation in 20th century climate simulations: Utility of multi-model statistics // *Water Resources*. 2005. 42. W03202.
17. Sa-Cheol S. Analysis of River Flow Change Based on Some Scenarios of Global Warming // *Journal of Korea Water Resources Association*. 2000. 33 (5).
18. Shpakova R.N. Changes in the Behavior of Long-Term Waterflow Variations in the Middle Part of Yakutia under the Global Warming Conditions // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2021. 666 042010 DOI:10.1088/1755-1315/666/4/042010
19. Shpakova R.N., Kusatov K.I., Mustafin S.K. Spatiotemporal Trends in Changes in the River Water Contents in the Sakha Republic (Yakutia) // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2020. 459 052062. DOI:10.1088/1755-1315/459/5/052062.
20. Shpakova R., Kusatov K., Mustafin S., Trifonov A. Changes in the Nature of Long-Term Fluctuations of Water Flow in the Subarctic Region of Yakutia: A Global Warming Perspective // *Geosciences*. 2019.9. 287. <https://doi.org/10.3390/geosciences9070287>
21. Stagl J.C., Hattermann F.F. Impacts of Climate Change on Riverine Ecosystems: Alterations of Ecologically Relevant Flow Dynamics in the Danube River and Its Major Tributaries // *Water*. 2016. 8(12). 566. <https://doi.org/10.3390/w8120566>
22. Tananaev N.L., Makarieva O.M. and Lebedeva L.S. Trends in annual and extreme flows in the Lena River basin, Northern Eurasia // *Geophys. Res. Lett.* 2016. 43, 10,764–10,772. doi: 10.1002/2016GL070796

References:

1. Georgievsky V.Yu. Shalygin A.L. Hydrological regimen and water resources, in *Metody ocenki posledstviy izmeneniya klimata dlya fizicheskikh i biologicheskikh system (Methods of evaluation of the effects of climate changes on physical and biological systems)*. Moscow: Rosgidromet, 2012, pp. 53–86.
2. Yumina N.M., Tereshina M.A. Estimating long-term changes of river runoff in the Viluy river basin. *Vestnik Moskovskogo universiteta, Ser. 5 Geogr.*, 2017, no 6, pp. 62–70. (In Russ.)
3. Houghton J.E.T., Ding Y.H., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P., Dai X., Maskell M. and Johnson C.A. The Scientific Basis Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge Univ. Cambridge, New York, 2001. 881 p.
4. Phillips T.J. and Gleckler P.J. Evaluation of continental precipitation in 20th century climate simulations: Utility of multi-model statistics // *Water Resources*. 2005. 42. W03202.
5. Meleshko V.P. Change in hydrologic cycle in the Northern Eurasia conditioned by global warming. *Vychislitel'nye tekhnologii*, 2006, vol.11(1), pp. 29–38. (In Russ.)
6. Sa-Cheol S. Analysis of River Flow Change Based on Some Scenarios of Global Warming. *Journal of Korea Water Resources Association*. 2000. 33 (5).
7. Stagl J.C. and Hattermann F.F. Impacts of Climate Change on Riverine Ecosystems: Alterations of Ecologically Relevant Flow Dynamics in the Danube River and Its Major Tributaries. *Water*. 2016. 8(12). 566. <https://doi.org/10.3390/w8120566>

8. Georgiadi A.G., Milukova I.P. River run-off in the Lena river basin in the conditions of eventual global warming. *Vychislitel'nye tekhnologii*, 2006, vol. 11(6), pp. 166–174. (In Russ.)
9. Nohara D., Kitoh A., Hosaka M. and Oki T. Impact of climate change on river runoff. *Journal of Hydrometeorology*. 2006. 7(5). P. 1076–1089.
10. Shpakova R., Kusatov K., Mustafin S. and Trifonov A. Changes in the Nature of Long-Term Fluctuations of Water Flow in the Subarctic Region of Yakutia: A Global Warming Perspective. *Geosciences*. 2019. 9. 287. <https://doi.org/10.3390/geosciences9070287>
11. Shpakova R.N. Changes in the Behavior of Long-Term Waterflow Variations in the Middle Part of Yakutia under the Global Warming Conditions. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2021. 666 042010 DOI:10.1088/1755-1315/666/4/042010
12. Magritskiy D.V. Features and regularities of the long-term fluctuations of water flow, suspended sediment and heat runoff in the lower Lena and Viluy rivers. *Vestnik Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geografiya*. 2015. no 6, pp. 85–95. (In Russ.)
13. Georgiadi A.G. and Kashutina Ye.A. Regional features of the time changes in river runoff to the Arctic Ocean, in *Polyarnaya kriosfera I vody sushi (Polar Cryosphere and Land Waters)*. Moscow: Paulsen Publ., 2011, pp. 252–264.
14. Gusev Ye.M., Nasonova O.N., Kovalev E.E. and Auzel G.V. Impact of Possible Climate Change on Extreme Annual Runoff from River Basins Located in Different Regions of the Globe. *Water Resources*. 2019. 46(S1), p. 126–136. DOI: 10.1134/S0097807819070108
15. Shpakova R.N., Kusatov K.I. and Mustafin S.K. Spatiotemporal Trends in Changes in the River Water Contents in the Sakha Republic (Yakutia). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2020. 459 052062. DOI:10.1088/1755-1315/459/5/052062.
16. Dzhamalov R.G., Krichevets G.N., Safronova T.I. Current changes in water resources in Lena river basin. *Water Resources*. 2012, vol.39, no 2, pp.147-160.
17. Georgiadi A.G., Kashutina Ye.A. The features of long-term annual and seasonal runoff changes for Lena basin rivers. *Izvestiya Rossijskoj Akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2014, no 2, pp. 71-83. (In Russ.)
18. Tananaev N.L., Makarieva O.M. and Lebedeva L.S. Trends in annual and extreme flows in the Lena River basin, Northern Eurasia. *Geophys. Res. Lett.* 2016, 43, 10,764-10,772. doi: 10.1002/2016GL070796
19. Min X., Shichang K., Xiaoming W., Hao W., Didi H. and Daqing Y. Climate and hydrological changes in the Ob River Basin during 1936–2017. *Hydrological Processes*. 2020, 34(15), p. 1–16. DOI: 10.1002/hyp.13695
20. Lemeshko B. YU. Kriterii proverki otkloneniya raspredeleniya ot normal'nogo zakona (Criteria for checking the deviation of the distribution from the normal law), Novosibirsk: Novosibirsk State University Publ., 2014. (In Russ.)
21. Sikan A.V. *Metody statisticheskoy obrabotki gidrometeorologicheskoy informacii (Statistical Methods of Processing Hydrometeorological Information)*, Saint Petersburg: Intensive Technologies Publ., 2007. (In Russ.)
22. *Metodicheskie rekomendacii po ocenke odnorodnosti gidrologicheskikh harakteristik i opredeleniyu ih raschetnyh znachenij po neodnorodnym dannym (Methodological recommendations for assessing the homogeneity of hydrological characteristics and determining their calculated values based on heterogeneous data)*. Saint-Petersburg: Nestor-history Publ, 2010. 162 p. (In Russ.)

Научная статья

УДК 620.9

DOI: 10/24412/2658-4255-2023-1-45-57



EDN: CYCZTG

Для цитирования:

Вариводов В.Н., Ковалев Д.И., Голубев Д.В., Елфимов С.А., Жуликов С.С. Технические решения по передаче электроэнергии при высоком напряжении в арктических условиях // Российская Арктика. 2023. Том 5(1). С. 45–57 <https://doi.org/10.24412/2658-4255-2023-1-45-57>

Получена: 20.03.2023
Принята: 06.04.2023
Опубликована: 13.04.2023

For citation:

Varivodov V.N., Kovalev D.I., Golubev D.V., Elfimov S.A., Zhulikov S.S. Technical solutions for the transmission of electricity at high voltage in arctic conditions// Russian Arctic, 2023; Vol 5(1): p.p. 45-57. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2658-4255-2023-1-45-57>

Работа выполнена в рамках Стратегического проекта «Распределенная и возобновляемая энергетика» ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030».



ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ВЫСОКОМ НАПРЯЖЕНИИ В АРКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

В.Н. Вариводов, Д.И. Ковалев, Д.В. Голубев*, С.А. Елфимов, С.С. Жуликов

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия

E-mail: *golubev_dmitry@list.ru**Аннотация**

В статье рассмотрены основные решения проблем, возникающих при передаче электроэнергии высокого напряжения в условиях Крайнего Севера. Актуальность данной темы связана с высоким стратегическим значением Арктической зоны для Российской Федерации и обеспечением национальной безопасности на период до 2035 года. В рамках данной стратегии необходима разработка и внедрение инженерно-технических решений передачи электрической мощности, обеспечивающих устойчивое функционирование инфраструктуры в экстремальных климатических условиях. Проведен анализ существующих решений передачи электроэнергии в арктической зоне. Для воздушных и кабельных линий электропередачи описаны их конструктивные особенности, условия их эксплуатации, а также особенности прокладки при экстремально низких температурах.

В рамках данной работы выдвинуты предпосылки использования газоизолированных линий, а также токопроводов с литой изоляцией. Определены основные достоинства и недостатки использования рассматриваемого оборудования.

Дальнейшее освоение и развитие арктической зоны будет диктовать более жесткие требования к применяемому оборудованию. Так, с целью снижения диэлектрических потерь при передаче электроэнергии авторами предлагается использование перспективного полимерно-газового токопровода, имеющего возможность эксплуатироваться как в воздушной, так и в водной среде. Проведен численный анализ снижения диэлектрических потерь и значений напряженности электрического поля в полимерно-газовом токопроводе, по сравнению с существующими решениями.

Ключевые слова: Арктическая зона, Крайний Север, передача электроэнергии, газоизолированные линии, токопровод, силовой кабель, полимерная изоляция

TECHNICAL SOLUTIONS FOR THE TRANSMISSION OF ELECTRICITY AT HIGH VOLTAGE IN ARCTIC CONDITIONS

V.N. Varivodov, D.I. Kovalev, D.V. Golubev*, S.A. Elfimov, S.S. Zhulikov

National Research University «MPEI», Moscow, Russia

E-mail: *golubev_dmitry@list.ru**Abstract**

The article considers the main solutions to the problems that arise during the transmission of high voltage electricity in the Far North. The relevance of this topic is associated with the high strategic importance of the Arctic zone for the Russian Federation and ensuring national security for the period up to 2035. Within the framework of this strategy, it is necessary to develop and implement engineering and technical solutions for the transmission of electric power that ensure the stable functioning of the infrastructure in extreme climatic conditions. An analysis of existing solutions for the transmission of electricity in the Arctic zone was carried

out. For overhead and cable power lines, their design features, their operating conditions, as well as the features of laying at extremely low temperatures are described.

Within the framework of this work, the prerequisites for the use of gas-insulated lines, as well as conductors with cast insulation, are put forward. The main advantages and disadvantages of using the considered equipment are determined.

Further exploration and development of the Arctic zone will dictate more stringent requirements for the equipment used. So, in order to reduce dielectric losses during the transmission of electricity, the authors propose the use of a promising polymer-gas conductor, which can be operated both in air and in water. Numerical analysis of reduction of dielectric losses and values of electric field strength in a polymer-gas conductor in comparison with existing solutions has been carried out.

Keywords: Arctic zone, Far North, electric power transmission, gas-insulated lines, current line, power cable, polymer insulation

Введение

Роль Арктической зоны в развитии Российской Федерации трудно переоценить. Эта зона обеспечивает добычу более 80% горючего природного газа и 17% нефти (включая газовый конденсат), а Северный морской путь, как транспортный коридор, имеет мировое значение для перевозки грузов, которое будет возрастать с учетом глобального потепления.¹

В документе со «Стратегией развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечением национальной безопасности на период до 2035 года» важнейшими направлениями развития страны является создание и внедрение технологий, имеющих критически важное значение для освоения Арктики, а также разработка и внедрение инженерно-технических решений, обеспечивающих устойчивое функционирование инфраструктуры в условиях климатических изменений, развитие энергетической инфраструктуры, в том числе замена оборудования, предназначенного для дизельной теплогенерации, оборудованием, использующим иные виды энергетических ресурсов. Конечно, это относится и к технологиям передачи электрической энергии в условиях Крайнего Севера России.

Выбор того или иного способа передачи электроэнергии зависит от различных факторов, в том числе от типа генерации электрической энергии – например, в случае малой распределенной генерации – это могут быть одни технические решения, а при формировании электрической сети от крупных электростанций – другие.

Как отмечено в Стратегии, сегодня слишком высока доля локальной генерации электроэнергии на основе использования экономически неэффективного и экологически небезопасного дизельного топлива. Большинство населенных и промышленных пунктов Арктической зоны России обеспечиваются энергией с помощью отдельных локальных энергоузлов – как правило, дизельных установок. В зоне Российского Севера эксплуатируются более 12 тысяч дизельных электростанций (ДЭС) мощностью от 100 кВт до 3.5 МВт. Поскольку дизельное топливо нужно завозить в труднодоступные районы, то для такого электроснабжения характерна высокая себестоимость энергии. Кроме того, использование дизельного топлива ухудшает экологию этих районов [1].

На Севере России эксплуатируются всего две стационарные атомные станции – Кольская АЭС мощностью 1840 МВт (на ее долю приходится около половины суммарной мощности электростанций Мурманской области) и Билибинская АЭС на Чукотке – сегодня мощностью 36 МВт.

Для снижения расходов и экологических рисков, дизельные электростанции постепенно заменяются на возобновляемые источники энергии (например, ветра, воды и солнца), атомные станции малой мощности (как стационарные, так и мобильные), а также водородные топливные элементы. Малые атомные станции могут быть оборудованы теми же реакторами, что и атомные ледоколы. Принципиальные преимущества атомных станций – в компактной форме сырья и отходов, а также отсутствии

1 Указ Президента РФ от 26 октября 2020 г. № 645 "О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года".

выбросов продуктов сгорания. Плавающие атомные станции легко перегоняются в места, где есть потребность в электричестве и горячей воде. Они могут также служить аварийным источником теплоэлектроснабжения и в районах стихийных бедствий.

В таких арктических странах как Канада, Швеция, Норвегия, Финляндия, США (на Аляске) все более широкое применение, помимо малых гидроэлектростанций, находят солнечные электростанции. Повышение эффективности солнечных элементов и качества материалов позволило за два последних десятилетия снизить на 80% затраты на сооружение солнечных установок электроснабжения [2].

Россия обладает колоссальным суммарным потенциалом энергии ветра. Начато освоение этого потенциала -уже сейчас успешно работают ветроэлектростанции на Новой Земле, в Амдерме, на мысе Уэлен, на островах Врангеля, Шмидта, Командорах (остров Беринга).

Современные технологии также значительно повысили эффективность ветроэнергостанций (ВЭУ). Ветроустановки, как и солнечные электростанции, особенно эффективны в небольших поселениях Севера (рисунок 1), для автономных энергопотребителей, отдаленных от централизованных систем энергоснабжения. Для них энергия ветра и солнца является одним из самых экономичных источников электричества. Ветроустановки могут располагаться и на морском шельфе.



Рисунок 1. Ветроустановки на арктическом побережье

Открытие дешевого и эффективного способа электролиза воды могло бы превратить водород в господствующий энергоноситель в недалеком будущем. Топливные водородные элементы уже сегодня применяются в легковых автомобилях, автобусах, больницах, на военных базах, предприятиях по переработке промышленных стоков. Использование малогабаритных топливных водородных элементов позволит эффективно использовать децентрализованную энергосистему Арктики, поскольку может быть сокращено расстояние между источником энергии и ее потребителем [3].

Сегодня оптимальным вариантом при использовании возобновляемых источников энергии является применение гибридных энергокомплексов, которые состоят из дизельной электростанции, к которой добавляется солнечная или ветровая станция для снижения расхода органического топлива [4].

Электрические сети в северных районах России сегодня формируются в основном на основе силовых кабелей (наземных- при формировании электрических сетей на материке и подводных – при присоединении энергетических объектов на морском шельфе) и воздушных линий электропередач (ЛЭП) переменного тока при номинальном напряжении 110/35/6/0,4 кВ, причем эксплуатация их ведется в экстремальных условиях [5-7]. Обычно расстояние от локальной электростанции до потребителя в этих зонах не превышает 40-50 км, но в отдельных случаях может достигать 100-500 км (например, ЛЭП 110 кВ Певек-Билибино длиной около 500км). Использование переменного тока приводит к большим потерям мощности в линиях электропередачи и, следовательно, к снижению общей эффективности. Поэтому целесообразным расстоянием применения кабельных передач переменного тока на номинальное напряжение до 110 кВ является дистанция не более 100-150 км. Использование передачи переменного тока на расстояния свыше приведенного значения приводит к значительным потерям в кабелях из-за значительной реактивной составляющей полной мощности, что требует применения компенсаторов этой мощности. Как результат, при больших длинах передачи электроэнергии целесообразно, по мнению некоторых исследователей, применять высоковольтные линии постоянного тока [8-9]. Однако,

учитывая высокую стоимость преобразователей электроэнергии, такое решение следует применять только при тщательном технико-экономическом обосновании.

Природные условия в районах Арктики характеризуются [10,12]:

- штормовым периодом (сентябрь-ноябрь) с высотой волн до 6 м;
- обледенением наземных и подводных конструкций (при расположении объектов на морском шельфе), проводов (рисунок 2);
- порывистым ветром до 36 м/с;
- коротким холодным летом и продолжительным зимним периодом с экстремально низкой температурой воздуха (до минус 50-60 °С);
- тяжелыми ледовыми условиями в зимне-весенний период времени (торошение и сжатие льдов до 3 баллов, образование стационарных ледовых образований, мощные навалы льда на морские стационарные сооружения и берег и т. п.);
- значительными (до 5 м) колебаниями уровня моря;
- вечной мерзлотой грунта.



Рисунок 2. Иллюстрация обледенения проводов воздушных ЛЭП и их повреждения

К ЛЭП предъявляются повышенные требования в части фундаментов опор ЛЭП, стойкости к обледенению проводов, ветровым нагрузкам, а также к морозостойкости применяемых материалов (что важно и для силовых кабелей). Надежность и долговечность воздушных линий электропередачи в арктической зоне также зависят от инженерно-геологических, климатических и геокриологических условий местности их строительства. Наличие сильнопучинистых грунтов, формирование просадочных рытвин, термокарст приводят к смещению, деформации фундаментов опор линий электропередачи и к нарушению геометрического состояния конструкции опор, вследствие чего опоры падают. Воздействие ветра, гололеда, изморози и других природных явлений приводят к наиболее частым технологическим нарушениям (межфазные КЗ в результате перехлеста и обрыва проводов) в работе электросетевого комплекса. Перечисленные факторы отрицательно сказываются на функционировании электрических сетей, понижая срок эксплуатации линий электропередачи и надежность электроснабжения.

Так как расчетная температура воздуха в Арктике имеет достаточно низкое значение, то использование сталей, применяемых в других, более мягких по температурному режиму районах, невозможно, так как они теряют свою ударную вязкость при экстремально низких температурах. Все металлические конструкции, устанавливаемые в районах Крайнего Севера, должны быть выполнены из специальных сталей.

Основной отличительной особенностью грунтов района Крайнего Севера является наличие многолетнемерзлых грунтов, занимающих почти половину территории Российской Федерации. Многолетнемерзлые грунты – это такие грунты, которые находятся в мерзлом состоянии в течение ряда лет – от трех и более. Эти грунты характеризуются рядом специфических свойств: сезонным протаиванием верхнего слоя, пучинистостью (увеличением объема грунта при промерзании), просадкой грунтов при сезонных изменениях температуры. Эти особенности затрудняют установку ЛЭП в арктических районах. Для закрепления фундаментов опор линий электропередачи в многолетнемерзлых грунтах используется метод сохранения мерзлого состояния грунтов основания опоры при использовании металлических свайных фундаментов, предназначенных для установки в вечномерзлых грунтах. Для уменьшения воздействия сил пучения на фундаменты применяются следующие мероприятия: распре-

деление нагрузки между фундаментами таким образом, чтобы действующая на него сила пучения не превышала нагрузочную способность сваи на вырывание; уменьшение количества свай и увеличение глубины заглубления каждой из них. Конструктивной особенностью фундамента опор может быть уменьшение сечения его в зоне пучения и увеличение сечения в зоне анкирования – в слое многолетнемерзлого грунта [11].

В настоящее время широкое распространение для арктических районов получают стальные многогранные опоры. Основными преимуществами данных опор являются: установка на металлическую трубу, что наиболее актуально в районах с грунтами, подверженных пучению; хорошие эксплуатационные характеристики; простота конструкции; высокая скорость монтажа, что также актуально при строительстве в северных районах; уменьшение землеотвода под одну опору; транспортабельность; экономичность; долговечность.

Для борьбы с гололедом и изморосью традиционно используются два основных способа. Механический способ заключается в сбивании льда при помощи длинных шестов. Обивка осуществляется боковыми ударами, вызывающими волнообразное колебание провода. Электротермический способ представляет собой профилактический подогрев проводов электрическим током, что обеспечивает предотвращение образования льда, либо плавку электрическим током уже образовавшегося льда. При этом могут быть использованы различные технологии подогрева.

В Арктике целесообразно применение технических решений, где влияние атмосферы и низких температур сведено до минимума. Анализ технических и эксплуатационных характеристик применяемых кабелей показывает, что в случае падения температуры до минус 50°C и ниже оболочка и изоляция из традиционных поливинилхлоридных пластикутов или полиэтилена становятся жесткими и хрупкими – и в условиях низких температур происходит разрушение оболочки в результате растрескивания, что, в конечном итоге, влечет за собой выход кабеля из строя.

В настоящее время специально для арктических условий разработаны силовые кабели с полимерной изоляцией и оболочкой с применением специальных добавок. Благодаря этому их можно смонтировать при отрицательных температурах без дополнительного подогрева [13]. Принципиальная конструкция силовых кабелей с полимерной изоляцией представлена на рисунке 3.

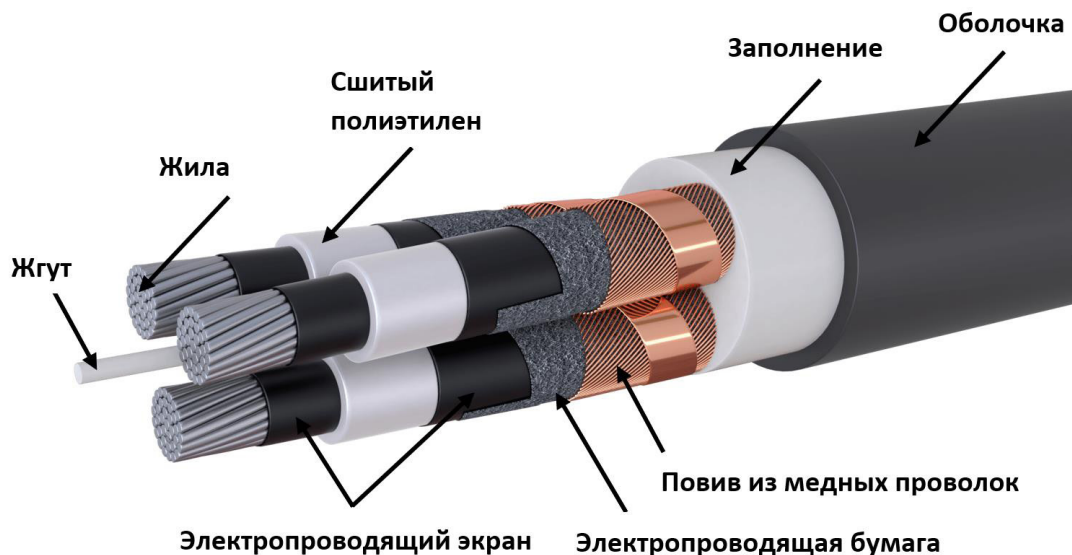


Рисунок 3. Принципиальная конструкция высоковольтных силовых полиэтиленовых кабелей трехфазного исполнения

В маркировке морозостойких кабелей обязательно должны быть буквы ХЛ или УХЛ. Согласно ГОСТ 15150 любой кабель имеет свое климатическое исполнение. Допустимые значения температур для таких исполнений кабелей представлены в Таблице 1.

В районах распространения вечномёрзлых грунтов кабели, проложенные в траншеях, могут подвергаться механическим деформациям вследствие просадки и пучения грунтов, появления трещин, замерзания воды, скопившейся в полостях вокруг кабеля, а также термокарстовых явлений и вымывания грунта при нарушении естественного покрова почвы. Пылеватые грунты, суглинки и глины, сильно насыщенные водой, не являются стабильной средой для прокладки силовых кабелей. При таких грунтах следует отказываться от прокладки кабелей в траншеях.

Таблица 1

Нормальные значения климатических факторов внешней среды

Исполнение изделий	Категория изделий	Значение температуры воздуха при эксплуатации, °С			
		Рабочее		Предельное рабочее	
		верхнее	нижнее	верхнее	нижнее
ХЛ	1; 1.1; 2; 2.1; 3	+40	-60	+45	-70
	3.1	+40	-10	+45	-10
	5; 5.1	+35	-10	+35	-10
УХЛ	1; 1.1; 2; 2.1; 3	+40	-60	+45	-70
	3.1	+40	-10	+45	+10
	4	+35	+1	+40	+1
	4.1	+25	+10	+40	+1
	4.2	+35	+10	+40	+1
	5; 5.1	+35	-10	+35	-10

Проблемой применения силовых кабелей также являются их повышенные диэлектрические потери из-за высокой диэлектрической проницаемости твердых диэлектриков.

Согласно ПУЭ п. 2.3.31 при сооружении кабельных линий в районах многолетней мерзлоты также следует учитывать физические явления, связанные с природой многолетней мерзлоты.²

Среди новых способов передачи электроэнергии в арктических условиях перспективными являются применение газоизолированных линий (ГИЛ) и токопроводов специальных конструкций, поскольку в них влияние окружающей атмосферы сведено до минимума. Принципиальная конструкция газоизолированных линий электропередачи приведена на рисунках 4, 5.

Возможны различные варианты исполнения газоизолированных линий передачи [14]:

- с различным профилем токоведущих шин (включая трубчатое исполнение);
- с полностью герметизированной внешней оболочкой и без герметизации;
- с газовой изоляцией воздухом или высокопрочным газом;
- с атмосферным и повышенным давлением газа внутри оболочки;
- с однофазным и трехфазным расположением шин в одной оболочке.

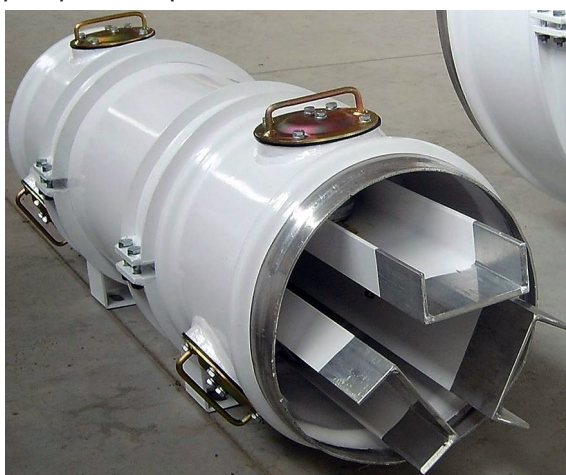


Рисунок 4. Конструкция газоизолированной линии передачи на напряжение 0,4-35кВ с воздушной изоляцией

Основными достоинствами конструкции ГИЛ с воздушной изоляцией по сравнению с воздушными линиями электропередачи являются высокая безопасность эксплуатации, повышенная надежность из-за снижения влияния атмосферы на характеристики изоляции (не влияют ветровые нагрузки, влага, гололед, низкие температуры), не требуются специальные фундаменты при прокладке. Габариты ГИЛ могут быть сокращены путем повышения давления воздуха. Технология прокладки ГИЛ близка к технологии прокладки газопроводов в арктических условиях, которая хорошо освоена. Воздушные ГИЛ на напряжение 0,4-35кВ могут быть использованы при номи-

2

Правила устройства электроустановок (ПУЭ), Издание 7, 2002

нальных токах от 1600А до 6000А (при естественном охлаждении) и до 30000А (при искусственном охлаждении) [15]. Важным достоинством ГИЛ с воздушной изоляцией является простота и, как результат, достаточно низкая стоимость.

К недостаткам такой конструкции ГИЛ следует отнести сложности ее использования на более высокие классы напряжения (так как электрическая прочность относительно небольших воздушных промежутков оказывается недостаточна для обеспечения надежной эксплуатации). ГИЛ на более высокие классы напряжения (более 35кВ) целесообразно делать с основной изоляцией высокопрочными газами (рисунок 5).

Конструкция ГИЛ с изоляцией высокопрочными газами близка к конструкции герметизированных шинопроводов с воздушной изоляцией. Основное отличие заключается в том, что шинопроводы с изоляцией высокопрочными газами имеют в 2 - 5 раз меньшие радиальные габариты на одно и то же номинальное напряжение, и, соответственно, они работают при существенно больших напряженностях электрического поля. Как результат, влияние металлических частиц внутри объема шинопровода на электрическую прочность изоляции в этом случае существенно выше и необходимо предусматривать специальные ловушки частиц (см. рисунок 5), а резконеоднородные электрические поля должны быть исключены. В качестве основной изолирующей среды в газонаполненных шинопроводах в настоящее время применяется элегаз (шестифтористая сера) или смесь элегаза (20-30%) с азотом [16].

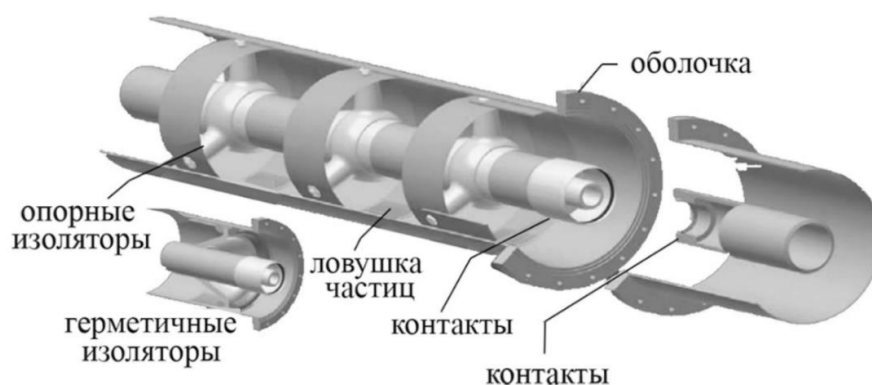
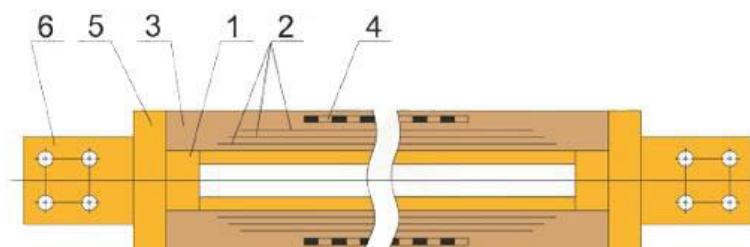


Рисунок 5. Принципиальная конструкция ГИЛ с изоляцией высокопрочными газами на номинальное напряжение 110-1150кВ

Определяющими целесообразность применения ГИЛ с изоляцией высокопрочными газами по сравнению с воздушными и кабельными ЛЭП и кабельными линиями являются такие факторы как независимость ГИЛ от влияния атмосферы, компактность в сочетании с более высокой пропускной способностью.

Альтернативой силовым кабелям для применения в северных районах являются также токопроводы с полимерной изоляцией [17]. Конструктивно токопровод представляет собой комплектное устройство, состоящее из жестких разделенных изоляционными промежутками фазных шин. Для обеспечения электрической прочности узлов соединения отдельных секций в большинстве случаев применяется комбинированная градирированная изоляция (где происходит выравнивание электрического поля с помощью конденсаторных обкладок), позволяющая выводить в воздух концы секций для их болтового соединения (рисунок 6).



- | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| 1. Токоведущий проводник (Al; Cu) | 4. Заземляющий слой |
| 2. Полупроводящие слои | 5. Фланец (Al; Cu) |
| 3. Изоляционный слой | 6. Контактная площадка (Al; Cu) |

Рисунок 6. Принципиальная конструкция токопроводов с комбинированной градирированной изоляцией и болтовым соединением отдельных участков шин, где 1 – токоведущий проводник, 2 – полупроводящие слои, 3 – изоляционный слой, 4 – заземляющий слой, 5 – фланец, 6 – контактная площадка

В этих системах изоляции широкое применение нашла RIP (resin impregnated paper) - изоляция, которая состоит из слоев высушенной в вакууме и пропитанной эпоксидной смолой крепированной бумаги. Конденсаторные слои из полупроводящих структур или алюминиевой фольги служат для выравнивания электрического потенциала по толщине изоляции и по поверхности твердого диэлектрика в соединительных муфтах, что и означает градирование изоляции.

Недостатком таких токопроводов является то, что соединение отдельных секций выполнено в воздухе. Это ведет к увеличению радиального размера соединительных муфт, а само градирование изоляции также несколько ухудшает весогабаритные характеристики изоляции.

Такого недостатка лишены токопроводы с композиционной полимерной изоляцией без градирования и конусным соединением отдельных участков шин (рисунок 7) [18], где в местах соединения нет газовой изоляции вообще - вся изоляция является литой, что сокращает радиальные размеры самой изоляции и соединений. Все токоведущие части в подобных токопроводах имеют твердую изоляцию на основе эпоксидной смолы. Высокая электрическая прочность в месте соединения отдельных элементов без выхода в атмосферу обеспечивается высококачественным коническим соединителем с использованием специальных упругих полимерных материалов.

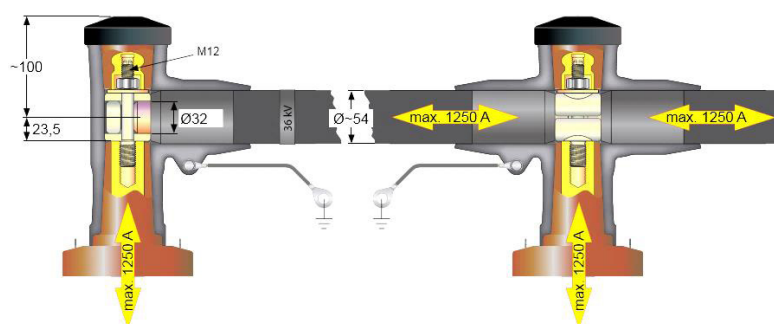


Рисунок 7. Токопроводы с композиционной литой изоляцией, конусным соединением отдельных участков шин и болтовым подключением секций и ответвлений на номинальное напряжение 35кВ

В таких соединительных устройствах корпус изготавливается, как правило, из упругого этиленпропиленового каучука и имеет конические отверстия. В эти конические отверстия вставляются жесткие эпоксидные конуса соседнего соединителя, смежных секций или другого высоковольтного оборудования. Соединение работает в условиях сжатия и, в результате, реализуется сплошная изоляция из твердого диэлектрика без газовых полостей в месте контакта соседних участков шин. Упругость каучука обеспечивает его хорошее облегание эпоксидного конуса и исключает развитие разряда в какой-либо воздушной прослойке.

Наибольшее распространение высоковольтные токопроводы с литой (как правило – эпоксидной) полимерной изоляцией получили на номинальное напряжение 6-35кВ. Номинальный ток в токопроводах может быть существенно выше, поскольку из условия необходимой гибкости кабеля основной его изоляцией являются термопласты, рабочая температура которых ниже, чем у большинства эпоксидных компаундов. Кроме того, токопроводы с литой изоляцией имеют более высокую механическую прочность, меньший возможный минимальный радиус изгиба (иногда это требуется из условия прокладки трассы), лучшую ремонтпригодность – легко заменить поврежденные секции в случае возникновения проблем, а монтаж токопроводов существенно легче.

Кабели, газоизолированные линии и токопроводы с литой изоляцией могут использоваться не только для наземной, но и подводной установки (например, для связи с оффшорными ветровыми электростанциями).

Существенным недостатком как кабелей, так и рассмотренных токопроводов являются высокие диэлектрические потери. Для снижения потерь могут быть использованы токопроводы с комбинированной полимерно-газовой изоляцией (рисунок 8), где газовая изоляция используется для снижения потерь, а полимерная изоляция для повышения электрической прочности. Электрическая прочность одного из самых прочных газов – элегаза - при атмосферном давлении составляет максимально 8,9 кВ/мм, в то время как кратковременная электрическая прочность эпоксидных компаундов находится в диапазоне 15 – 35 кВ/мм [19]. Это означает, что если брать композицию полимеров и газа, то газ следует располагать на периферии электри-

ческого поля коаксиального промежутка (рисунок 9), где напряженность электрического поля в однородной среде может быть в 2-3 раза меньше, чем, например, у внутреннего электрода в коаксиальном промежутке. Кроме того, электрическую прочность элегаза можно значительно увеличивать за счёт повышения давления газа.

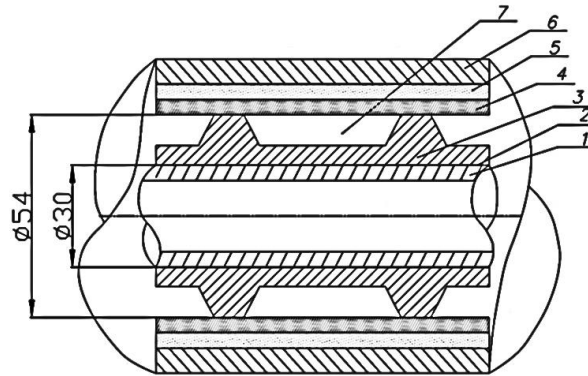


Рисунок 8. Принципиальная конструкция токопроводов с комбинированной полимерно-газовой изоляцией (1 – токоведущая жила; 2 – полупроводящий тонкий слой; 3 – эпоксидная изоляция; 4 – упругий полупроводящий цилиндр из каучука; 5 – слой дополнительной изоляции; 6 – металлическая герметичная оболочка-броня; 7 – элегаз)



Рисунок 9. Структура комбинированной полимерно-газовой изоляции (слева) и традиционной однородной изоляции (справа) в коаксиальном промежутке

Распределение напряженности электрического поля в изоляционных слоях можно рассчитать с помощью формул (1) – (3), используя методы численного моделирования:

$$\nabla \cdot J = Q_{j,v} \tag{1};$$

$$J = \sigma \cdot E + j \cdot \omega \cdot D + J_e \tag{2};$$

$$E = - \nabla \varphi \tag{3},$$

где J - плотность тока [А/м²];

J_e - плотность тока внешнего источника (индуцированные токи, генерируемые в материале внешними источниками электрического поля)[А/м²];

σ - удельная проводимость [См/м];

$Q_{j,v}$ - объемная плотность тока источника, расположенного внутри выбранного объема [А/м³] (данный параметр является необходимым при численном моделировании, используя метод конечных элементов, и в приближенном значении принимается равным 0 А/м³);

E - вектор напряженности ЭП [В/м];

D - вектор электрического смещения (электрическая индукция) [Кл/м²];

φ - потенциал электрического поля [В];

ω - угловая частота [рад/с];

j - мнимая единица.

На рисунке 10 представлена иллюстрация расчёта напряженности электрического поля (кривая 2) в коаксиальном промежутке с радиусом внутреннего электрода 15 мм и внешнего радиуса 30 мм при воздействии напряжения 200 кВ (что соответствует испытательному напряжению при воздействии грозового импульса оборудования на номинальное напряжение 35 кВ). Максимальная напряженность в этом случае составила около 23 кВ/мм, минимальная – примерно 5 кВ/мм, а средняя напряженность – 13,3 кВ/мм.

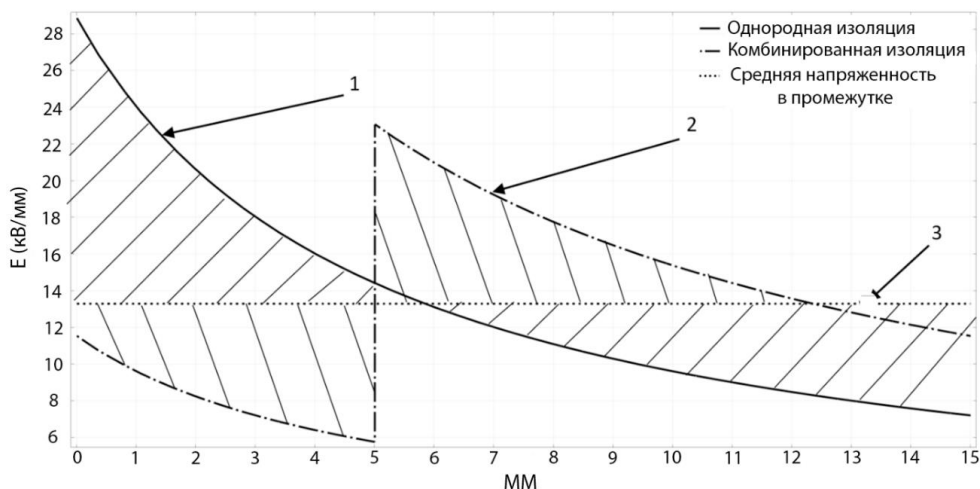


Рисунок 10. Распределение напряженности электрического поля в коаксиальном промежутке с радиусом внутреннего электрода 15 мм и внешнего электрода 30 мм с однородной изоляцией (1) и комбинированной полимерно-газовой изоляцией (2) с расположением газа на периферии электрического поля (вблизи оболочки), где (3) - средняя напряженность в промежутке

Обеспечить необходимую электрическую прочность (22 – 23 кВ/мм) в элегазе можно при абсолютном давлении около 2,4 атм. Несколько снизить напряжённость в газе, и соответственно, увеличить напряжённость поля в твёрдом диэлектрике возможно изменяя толщину твёрдого диэлектрика.

Величина диэлектрических потерь определяется по следующей формуле:

$$P_d = \omega C_x U^2 \operatorname{tg} \delta \tag{4},$$

где ω – угловая частота, рад/с;

C_x – емкость диэлектрика, Ф;

U – напряжение сети, В;

$\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь.

При этом тангенс угла диэлектрических потерь равен:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon \rho_v}, \tag{5},$$

где ε_0 – диэлектрическая постоянная, ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды, ρ_v – удельное объемное сопротивление диэлектрика, Ом·м.

Емкость диэлектрика можно определить на основании его характеристик:

$$C_x = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}, \tag{6},$$

где S – площадь пластины коаксиального конденсатора, в виде которого интерпретируется участок линии токопровода, мм, d – расстояние между пластинами конденсатора, мм.

Из известных выражений (5), (6) можно получить соотношение для диэлектрических потерь в токопроводах с однородной изоляцией P_{d1} и потерь в токопроводах с полимерно-газовой изоляцией P_{d2} :

$$\frac{P_{d1}}{P_{d2}} = \frac{P_{d1}}{P_{d21} + P_{d22}}, \tag{7},$$

где $P_{д1}$ – потери в однородной изоляции, $P_{д21}$ – потери в полимерной части токопровода, $P_{д22}$ – потери в газовой части токопровода.

$$\begin{aligned} \frac{P_{д1}}{P_{д2}} &= \frac{\omega C_x U^2 tg\delta}{\omega C_\Sigma U^2 tg\delta_\Sigma} = \frac{C_x tg\delta}{C_\Sigma tg\delta_\Sigma} = \frac{\frac{\varepsilon_0 \varepsilon_x S}{d_1} \cdot \frac{1}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_x \rho_{v1}}}{\frac{\varepsilon_0 \varepsilon_\Sigma S}{d_{21}} \cdot \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_\Sigma S}{d_{22}} \cdot \frac{1}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_\Sigma (\rho_{v1} + \rho_{v2})}} \\ &= \frac{\frac{S}{\omega d_1 \rho_{v1}}}{\frac{\varepsilon_0 \varepsilon_\Sigma S}{d_{21} + d_{22}} \cdot \frac{1}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_\Sigma (\rho_{v1} + \rho_{v2})}} = \frac{(\rho_{v1} + \rho_{v2})(d_{21} + d_{22})}{d_1 \rho_{v1}} \end{aligned}$$

где $C_\Sigma = C_1 \cdot C_2 / C_1 + C_2$ – емкость полимерного и газового слоя изоляции, $tg\delta_\Sigma$ – тангенс угла диэлектрических потерь полимерно-газовой изоляции, ε_x – диэлектрическая проницаемость однородной изоляции, ε_Σ – эквивалентная диэлектрическая проницаемость полимерно-газовой изоляции.

В результате получается следующая формула:

$$\frac{P_{д1}}{P_{д2}} = \frac{(\rho_{v1} + \rho_{v2})(d_{21} + d_{22})}{d_1 \rho_{v1}}, \quad (8),$$

где d_1 – расстояние между пластинами для однородной изоляции, d_{21} – расстояние между пластинами для полимерной изоляции в токопроводах с полимерно-газовой изоляцией, d_{22} – расстояние между пластинами для газовой изоляции в токопроводах с полимерно-газовой изоляцией, ρ_{v1} – удельное объемное сопротивление полимерно-диэлектрика, ρ_{v2} – удельное объемное сопротивление газового диэлектрика.

В случае, когда толщина полимерной изоляции в токопроводах с полимерно-газовой изоляцией составляет $d_{21} = 30 - 35$ мм, толщина газового промежутка составляет $d_{22} = 10 - 15$ мм, а удельное объемное сопротивление полимерного и газового диэлектриков находятся в диапазоне $\rho_{v1} = 10^{11} - 10^{12}$ Ом·м и $\rho_{v2} = 10^{13}$ Ом·м, то для однородной изоляции такой же толщины $d_1 = 40-50$ мм диэлектрические потери в токопроводах с комбинированной изоляцией уменьшатся в 10 раз. Следовательно, изменяя структуру и характеристики комбинированной полимерно-газовой изоляции можно добиться значительного снижения диэлектрических потерь при передаче электроэнергии, сохранив при этом высокие электроизоляционные характеристики.

Выводы

1. Стратегическими направлениями развития электрических сетей в Арктической зоне Российской Федерации являются создание и внедрение технологий, а также разработка инженерно-технических решений, обеспечивающих устойчивое функционирование инфраструктуры Севера в условиях климатических изменений, в том числе самой энергетической инфраструктуры, с учетом замены оборудования, предназначенного для дизельной электро-теплогенерации, оборудованием, использующим иные виды энергетических ресурсов.

2. Для повышения надежности эксплуатации воздушных линий электропередачи в арктических условиях необходимо применять специальные технические решения в части фундаментов опор ЛЭП, а также конструкции, обладающие стойкостью к обледенению проводов, ветровым нагрузкам, воздействию экстремально низких температур – такие как использование метода сохранения мерзлого состояния грунтов основания опоры; распределение нагрузки между фундаментами таким образом, чтобы действующая на него сила морозного пучения не превышала нагрузочную способность свай на вырывание; уменьшение количества свай и увеличение глубины заглубления каждой из них; использование многогранных опор; механическое или электротермическое удаление льда и измороси с проводов и др.

3. При установке современных силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в условиях Крайнего Севера следует использовать оболочки с применением специальных добавок, исключающих разрушение этих оболочек при экстремально низких температурах, а сами кабели должны быть исполнения ХЛ или УХЛ, причем

целесообразно отказываться от прокладки кабелей в траншеях в условиях пылеватых грунтов, глин и суглинков при возможности насыщения этих грунтов водой.

4. Такие новые, но уже известные технические решения, как газоизолированные линии и токопроводы с литой полимерной изоляцией являются перспективной альтернативой применению в Арктике традиционных ЛЭП и кабелей, поскольку в них влияние окружающей атмосферы сведено до минимума.

5. Перспективным техническим решением по передаче электроэнергии на Крайнем Севере может стать применение нового типа токопроводов с комбинированной полимерно-газовой изоляцией, так как в них, как показывают проведенные расчеты, можно оптимизировать основные технико-экономические характеристики при передаче электроэнергии.

Список литературы:

1. Агаркова С.А., Богоявленский В.И., Козьменко С.Ю. Глобальные тенденции освоения энергетических ресурсов Российской Арктики. Часть II. Мониторинг освоения арктических энергетических ресурсов // изд. Кольского научного центра РАН. Апатиты. 2019. 177 с.
2. Бердин В.Х., Кокорин А.О., Юлкин Г.М., Юлкин М.А. Возобновляемые источники энергии в изолированных населённых пунктах Российской Арктики. // Всемирный фонд дикой природы (WWF). 2017. 80 с.
3. Крутиков А.В., Смирнова О.О., Бочарова Л.К. Стратегия развития российской Арктики. Итоги и перспективы // Арктика и Север. 2020. №40. С 254-269. DOI: 10.37482/2221-2698.2020.40.254.
4. Zmieva K.A. Problems of Energy Supply in the Arctic Regions. // Russian Arctic. 2020. No. 8. P. 5-12. DOI:10.24411/2658-4255-2020-00001.
5. Nalivaychenko E., Volkov A., Tishkov S. Fuel and energy complex of the Arctic zone of Russia and its transport infrastructure. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 918. 012238. 2020. DOI:10.1088/1757-899X/918/1/012238.
6. Kirsanova N., Lenkovets O., Nikulina A. The role and future outlook for renewable energy in the Arctic zone of Russian Federation. // European Research Studies Journal. 2018. 21, 356-368. DOI: 10.35808/ersj/1262
7. Popel O., Kiseleva S., Morgunova M., Gabderahmanova T., Tarasenko A. The use of renewable energy sources for power supply to consumers in the Arctic zone of the Russian Federation. // Arctic: Ecology and Economy. 2015. 1(17), 64-69.
8. Кабельная продукция в арктических условиях // 22.04.2019, URL: <http://www.zavodkama.ru/news/primenenie-kabelnoj-produkczii-v-arkticheskix-usloviyax> (дата обращения: 10.02.2023).
9. Карпов А.С., Ярошевич В.В., Фастий Г.П. Воздушные линии электропередачи в условиях Арктики, Труды Кольского научного центра РАН. 6(1). 2019.
10. Зарубин А.С. Особенности проектирования и строительства линий электропередач в условиях Крайнего Севера, VIII Всероссийская конференция «Молодёжь и наука», Секция «Энергетика». 2012.
11. Лобанов А.В., Левчук В.О., Кузнецов Р.Г. Применение морозостойких кабелей в арктических условиях. <https://www.elec.ru/publications/peredacha-raspredelenie-i-nakoplenie-elektroenergi/2106/>. 2014.
12. Саунаваара Ю. Арктические подводные коммуникационные кабели и региональное развитие северных территорий // Арктика и Север. 2018. № 32. С. 63-81. DOI 10.17238/issn2221-2698.2018.32.63. EDN YLBIGD.
13. Middleton A., Bjorn R. Geopolitics of Subsea Cables in the Arctic, 2022.
14. Koch H Gas Insulated Lines (GIL), 2019 10.1007/978-3-319-49574-3_27.
15. Pleşa I., Notingher P.V., Schlögl S., Sumereder. C., Muhr. M. Properties of Polymer Composites Used in High-Voltage Applications. *Polymers* 2016, 8, 173. <https://doi.org/10.3390/polym8050173>.
16. Вариводов В.Н., Ковалев Д.И., Голубев Д.В., Воронкова Е.М. Технические решения по снижению диэлектрических потерь электроэнергии в токопроводах при ее передаче от офшорных ветровых электростанций // Электрические станции. 2023. №1. С 42-49. DOI: 10.34831/EP.2023.1098.1.007.
17. Sun J. Development Status of High Voltage Insulation Technology. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020, 1549. 052001. 10.1088/1742-6596/1549/5/052001.
18. Varivodov V.N., Kovalev D.I., Timofeev A.M., Krupenin N.V. Application of shielded solid insulation for the complete switchgears at high voltage, *Modern Power Systems (MPS), 2017 International Conference, IEEE Publisher, 6-9 June 2017, Cluj-Napoca, Romania*.

References:

1. Agarkova S.A., Bogoyavlenskij V.I., Koz'menko S.YU. Global'nye tendencii osvoeniya energeticheskikh resursov Rossijskoj Arktiki. CHast' II. Monitoring osvoeniya arkticheskikh energeticheskikh resursov // izd. Kol'skogo nauchnogo centra RAN. Apatity, 2019, 177 p. (In Russ.).
2. Berdin V.H., Kokorin A.O., YUlkin G.M., YUlkin M.A. Vozobnovlyaemye istochniki energii v izolirovannyh naselyonnyh punktah Rossijskoj Arktiki. // Vsemirnyj fond dikoj prirody (WWF), 2017. 80 p. (In Russ.).
3. Krutikov A.V., Smirnova O.O., Bocharova L.K. Strategiya razvitiya rossijskoj Arktiki. Itogi i perspektivy // Arktika i Sever, 2020, no. 40, pp. 254-269. DOI: 10.37482/2221-2698.2020.40.254. (In Russ.).
4. Zmieva K.A. Problems of Energy Supply in the Arctic Regions. // Russian Arctic. 2020. No. 8. Pp. 5-12. DOI:10.24411/2658-4255-2020-00001. (In Russ.).
5. Nalivaychenko. E., Volkov A., Tishkov. S. Fuel and energy complex of the Arctic zone of Russia and its transport infrastructure. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 918. 012238. 2020. DOI:10.1088/1757-899X/918/1/012238. (In Russ.).
6. Kirsanova N., Lenkovets O., Nikulina A. The role and future outlook for renewable energy in the Arctic zone of Russian Federation. // European Research Studies Journal. 2018, 21, 356-368. DOI: 10.35808/ersj/1262
7. Popel O., Kiseleva S., Morgunova M., Gabderahmanova T., Tarasenko A. The use of renewable energy sources for power supply to consumers in the Arctic zone of the Russian Federation. // Arctic: Ecology and Economy, 2015, 1(17), 64-69.
8. Kabel'naya produkciya v arkticheskikh usloviyah // 22.04.2019, URL: <http://www.zavodkama.ru/news/primenenie-kabelnoj-produkczii-v-arkticheskix-usloviyah> (date of the application: 10.02.2023). (In Russ.).
9. Karpov A.S., YArOshevich V.V., Fastij G.P., Vozdushnye linii elektroperedachi v usloviyah Arktiki, Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN, 6(1), 2019. (In Russ.).
10. Zarubin A.S. Osobennosti proektirovaniya i stroitel'stva linij elektroperedach v usloviyah Krajnego Severa, VIII Vserossijskaya konferenciya «Molodyozh' i nauka», Sekciya «Energetika», 2012. (In Russ.).
11. Lobanov A.V., Levchuk V.O., Kuznecov R.G. Primenenie morozostojkikh kabelej v arkticheskikh usloviyah. <https://www.elec.ru/publications/peredacha-raspredelenie-i-nakoplenie-elektroenergi/2106/>, 2014. (In Russ.).
12. Saunavaara YU. Arkticheskie podvodnye kommunikacionnye kabeli i regional'noe razvitie severnyh territorij // Arktika i Sever. 2018, no. 32, pp. 63-81. DOI 10.17238/issn2221-2698.2018.32.63. EDN YLBIGD. (In Russ.).
13. Middleton A., Bjorn R. Geopolitics of Subsea Cables in the Arctic. 2022.
14. Koch H Gas Insulated Lines (GIL), 2019 10.1007/978-3-319-49574-3_27.
15. Pleşa I., Noţingher P.V., Schlögl S., Sumereder. C., Muhr. M. Properties of Polymer Composites Used in High-Voltage Applications. Polymers 2016, 8, 173. <https://doi.org/10.3390/polym8050173>.
16. Varivodov V.N., Kovalev D.I., Golubev D.V., Voronkova E.M. Tekhnicheskie resheniya po snizheniyu dielektricheskikh poter' elektroenergii v tokoprovodah pri ee peredache ot ofshornyh vetrovyh elektrostancij // Elektricheskie stancii, 2023, no. 1, pp. 42-49. DOI: 10.34831/EP.2023.1098.1.007. (In Russ.).
17. Sun J. Development Status of High Voltage Insulation Technology. Journal of Physics: Conference Series. 2020, 1549. 052001. 10.1088/1742-6596/1549/5/052001.
18. Varivodov V.N., Kovalev D.I., Timofeev A.M., Krupenin N.V. Application of shielded solid insulation for the complete switchgears at high voltage, Modern Power Systems (MPS), 2017 International Conference, IEEE Publisher, 6-9 June 2017, Cluj-Napoca, Romania.

«Российская Арктика» – научный рецензируемый журнал, который издается с 2018 года в электронном виде. Издание выходит на русском и английском языках.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС77-72859 от 22 мая 2018 года.

Номер ISSN: 2658-4255

Задачи журнала:

- предоставить ученым, занимающимся изучением Арктики, возможность оперативно публиковать результаты своих исследований;
- обеспечить научное сопровождение стратегически важных проектов в Арктике;
- привлечь внимание широкой аудитории к проблемам здравоохранения коренного населения, экологии и климата русского Севера;
- предоставить российским и иностранным ученым площадку для диалога и обмена знаниями;
- повысить престиж научных исследований российских ученых на мировом уровне.

Тематики

Журнал входит в Перечень ВАК по следующим специальностям:

- 1.6.17. Океанология
- 1.6.21. Геоэкология
- 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы
- 3.2.4. Медицина труда

Периодичность

Журнал выходит 4 раза в год; по запросу публикуются тематические и специальные выпуски