

К ВОПРОСУ УЧЕТА ДОЛГОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ОПОРНЫХ ЗОНАХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СУДОХОДСТВА И ПРОМЫШЛЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА

В. В. Дроздов

ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 2 июля 2018 г.

Рассмотрен промышленный и ресурсный потенциал опорных зон социально-экономического развития России – Кольской, Архангельской, Ненецкой, Ямало-Ненецкой и Воркутинской, Таймыро-Туруханской, Северо-Якутской и Чукотской. Выполнен анализ многолетних данных по важнейшим показателям климатических изменений – температуры воздуха в среднем за год и в среднем за зиму, а также ледовитости морей в акваториях, граничащих с опорными зонами. Установлены региональные особенности многолетней динамики температурного режима и ледовитости. Обоснованы возможные последствия ожидаемых климатических изменений применительно к реализации инфраструктурных проектов и развитию судоходства.

Ключевые слова: опорные зоны социально-экономического развития, промышленный и ресурсный потенциал, климатические изменения и их последствия.

Введение

Государственная программа «Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений на 2013—2030 годы», утвержденная распоряжением Правительства РФ от 24 декабря 2012 г. № 2514-р (с изменениями от 15 апреля 2014 г. № 304, от 31 марта 2017 г. № 374 и от 30 марта 2018 г. № 360), направлена на реализацию государственной политики по повышению уровня технологического развития российской судостроительной промышленности, ее конкурентоспособности на внутреннем и мировом рынках сбыта и определяет развитие этой отрасли до 2030 г. Среди приоритетных задач, решение которых предусматривает данная программа, необходимо отметить: создание опережающего научно-технического задела и технологий, необходимых для создания перспективной морской и речной техники; укрепление и развитие научного, проектно-конструкторского и производственного потенциала отрасли; обеспечение эффективности работы отрасли и инвестиционной привлекательности отечественного судостроения, включая

достижение уровня передовых стран по качеству судостроительной продукции. При этом очевидна необходимость создания конкурентоспособного объединения судостроительной промышленности в составе интегрированных структур для совершенствования промышленной и производственной базы, внедрения наукоемких, в том числе междисциплинарных технологий в кораблестроение и судостроение для освоения месторождений углеводородного сырья на российском арктическом шельфе.

В условиях функционирования отраслей морской хозяйственной деятельности в Арктике особую важность приобретает учет природных, в том числе климатических условий. Климатические изменения в Арктике и Субарктике за последние 30—50 лет одни из самых выраженных на планете [1—11]. Это относится к региональной и крупномасштабной изменчивости характеристик ледового покрова, температуры воды и воздуха и имеет ряд навигационных, технологических, гидрологических и социально-экономических эффектов и последствий. Их необходимо оценивать и учитывать при планировании развития энергообеспечения флота, объектов морской техники, занятых в добыче углеводородного сырья, береговой

© Дроздов В. В., 2019

портовой инфраструктуры, промышленных центров и населенных пунктов, обсерваторий и военных баз [2; 12; 13]. Поэтому изучение климатических колебаний и их объективное прогнозирование должно быть основой для выработки и уточнения стратегий и программ развития судостроения и социально-экономической сферы российского Севера, включая функционирование трассы Северного морского пути.

В перечне подпрограмм государственной программы «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года и дальнейшую перспективу» имеется подпрограмма № 5 «Сбалансированное социально-экономическое развитие и обеспечение национальной безопасности. Формирование опорных зон развития Арктики и обеспечение их функционирования». Обновленный вариант этой программы согласно постановлению Правительства РФ от 31 сентября 2017 г. № 1064 также предполагает формирование и комплексное развитие опорных зон.

Опорная зона развития в Арктике — это комплексный проект планирования и обеспечения социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации, направленный на достижение стратегических интересов и обеспечение национальной безопасности. При этом комплексный проект обеспечивает объединение мероприятий по созданию арктической транспортной системы, развитию энергетической инфраструктуры и объектов промышленного производства [14; 15]. Объективная оценка и прогноз температурного и ледового режимов на среднесрочную перспективу (20—30 лет и далее) могут способствовать оптимизации судостроительных программ применительно к обоснованию характеристик, состава и структуры ледокольного флота, транспортных судов ледового плавания и судов обеспечения.

Целью настоящей работы является установление характерных региональных особенностей многолетней динамики температурного режима в опорных зонах социально-экономического развития российской Арктики на основе анализа натуральных данных и обоснование возможных последствий и рисков в рамках климатических сценариев похолодания и потепления климата.

Материалы и методы

В качестве источника многолетних данных о температуре воздуха использовалась база данных Института космических исследований им. Годдарда (НАСА, США) [16]. Используемые для расчетов периоды наблюдений: Мурманск — с 1920 по 2017 гг., Архангельск — с 1910 по 2017 гг., Нарьян-Мар — с 1930 по 2017 гг., Салехард — с 1900 по 2017 гг., Туруханск — с 1930 по 2017 гг., остров Диксон — с 1930 по 2018 гг., Якутск — с 1900 по 2017 гг., Анадырь — с 1920 по 2017 гг. Данные о ледовой обстановке получены с официального сайта Арктического и антарктического научно-исследова-

тельского института (АНИИ) [9]. Используются статистико-вероятностные методы анализа данных: корреляционный, позволяющий определить степени и характер связи между изменчивостью температуры в смежных и удаленных районах [17]; спектральный [18], позволяющий установить преобладающие периоды колебаний в рядах данных температуры воздуха и ледовитости, что, в свою очередь, может являться основой для понимания природной ритмики и составления прогностических сценариев.

Опорные зоны социально-экономического развития в Арктике и их промышленный потенциал

Согласно государственной программе [14; 15] определено восемь опорных зон — от Кольского полуострова до Чукотки, расположение которых и основные минеральные ресурсы в их пределах показаны на рис. 1.

В пределах Кольской опорной зоны предполагается комплексное развитие Мурманского транспортного узла, строительство нефтяного терминала на западном берегу Кольского залива, реконструкция аэропортовой инфраструктуры Апатитов. За 2017 г. объем обработки грузов в портах Мурманской области вырос на 40%, превысив 53 млн т. Планируется его дальнейшее увеличение по мере реализации проекта «Комплексное развитие Мурманского транспортного узла». Этому будет способствовать строительство новой железнодорожной ветки на западном берегу Кольского залива. ООО «НОВАТЭК-Мурманск» (бывшая «Кольская верфь») приступило к созданию Центра строительства крупнотоннажных морских сооружений. Считается, что реализация данного проекта даст старт новой отрасли промышленности в области судостроения: производству плавучих заводов на железобетонных основаниях гравитационного типа по сжижению природного газа [14; 15].

В Архангельской опорной зоне намечены создание регионального технологического парка, строительство глубоководного района морского порта Архангельск, развитие судостроительного инновационного территориального кластера на территории Северодвинска, создание туристического и рекреационного кластера.

В Ненецкой опорной зоне предполагаются реконструкция аэропортового комплекса Нарьян-Мара, реконструкция аэропортового комплекса Амдермы, строительство глубоководного морского порта Индига. Проект строительства порта в поселке Индига планируется включить в проект железнодорожной магистрали Белкомур. Предполагаемая пропускная способность порта, строительство которого будет осуществляться на принципах государственно-частного партнерства, может составить до 30 млн т. В структуру порта войдут нефтяные и угольные терминалы, а также терминал по отгрузке сжиженного природного газа. Белкомур — это проект строитель-

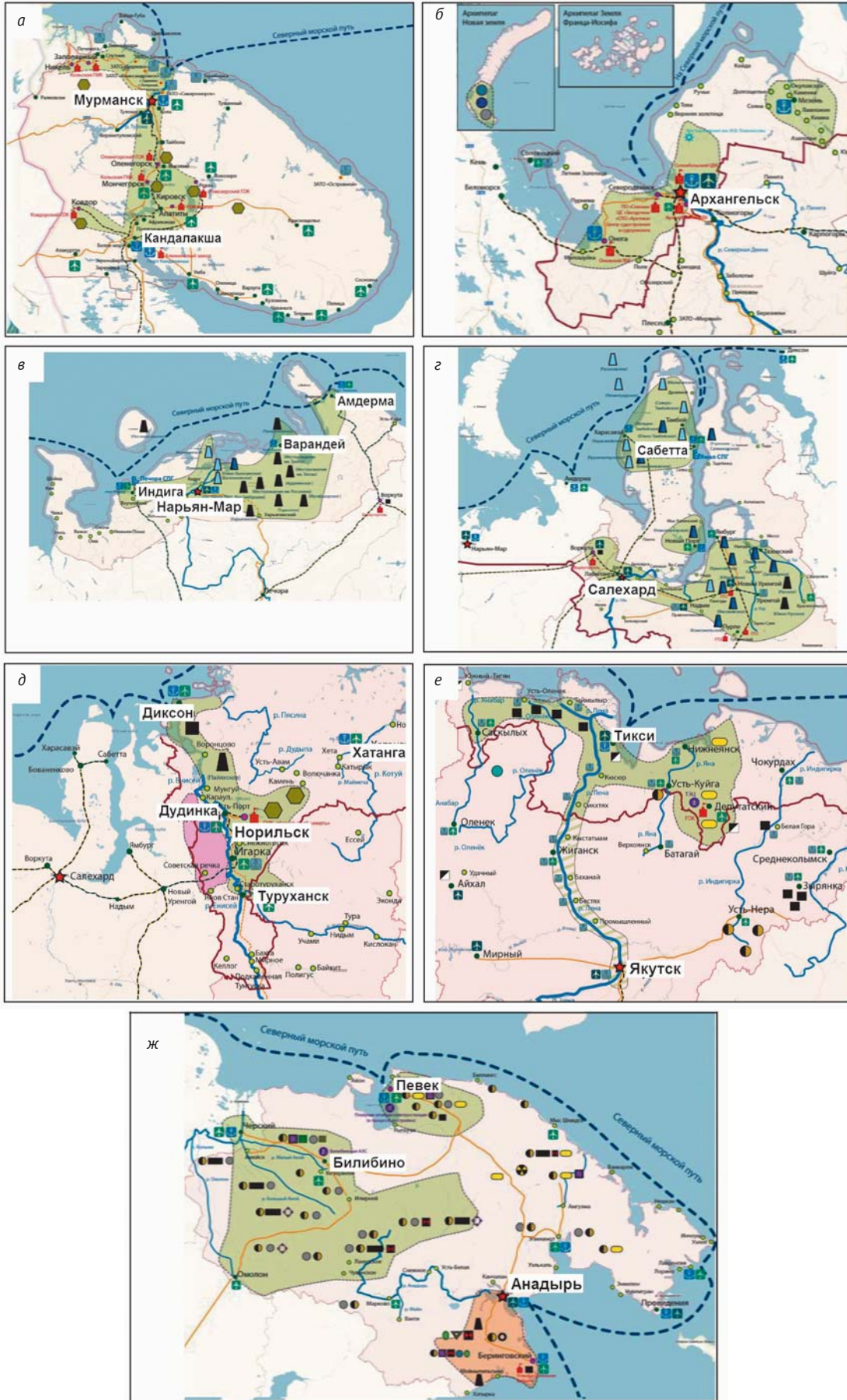




Рис. 1. Схема расположения опорных зон социально-экономического развития Российской Федерации в Арктике с указанием основных объектов промышленного и ресурсного потенциала: а — Кольская, б — Архангельская, в — Ненецкая, г — Ямало-Ненецкая и Воркутинская, д — Таймыро-Туруханская, е — Северо-Якутская, ж — Чукотская (по данным [14; 15])

Fig. 1. The layout of key zones of the socio-economic development of the Russian Arctic indicating the main objects of industrial and resource potential: а — the Kola, б — Arkhangelsk; в — Nenets, г — Yamalo-Nenets and Vorkuta, д — Taimyro-Turukhanskaya, е — North Yakut, ж — Chukotka (according to [14; 15])

ства железнодорожной магистрали Белое море — Коми — Урал. Он предполагает сокращение плеча доставки грузов с Урала и из Сибири к морским портам Архангельска и Мурманска на 850 км [19].

В Ямало-Ненецкой и Воркутинской опорных зонах намечены строительство волоконно-оптической линии связи вдоль берега Северного Ледовитого океана, реконструкция аэропортового комплекса Воркуты, создание и эксплуатация новой железнодорожной линии необщего пользования Бованенково — Сабетта, реализация проекта «Ямал-СПГ», включая разведку и освоение запасов Южно-Тамбейского, Салмановского и Геофизического месторождений. За последние пять лет в регионе ввели в эксплуатацию Бованенковское нефтегазоконденсатное месторождение с суммарным ресурсным потенциалом в 16 трлн м³. В 2017 г. вступили в строй арктический морской нефтеналивной терминал «Ворота Арктики» и магистральный трубопровод Бованенково — Ухта. Начали работу «Ямал-СПГ» и порт Сабетта, который стал ключевым звеном комплексного транспортного проекта Северный широтный ход [14; 15].

В Таймыро-Туруханской опорной зоне планируются реконструкция аэропортового комплекса Норильска, строительство волоконно-оптической линии связи по маршруту Новый Уренгой — Норильск, инвестиционные проекты стратегии развития ГМК «Норильский никель» (расширение рудной базы, модернизация Талнахской фабрики, Надеждинского завода, закрытие никелевого завода) [14; 15].

В Северо-Якутской опорной зоне предполагаются реконструкция портовой инфраструктуры ОАО «Морской порт «Тикси», создание высокотехнологичной Жатайской судовой верфи, реконструкция аэропорта Тикси, увеличение мощности Зырянского угольного разреза на участке Надеждинский до 500—600 тыс. т угля в год под строительство ТЭС в поселке Черский мощностью 198 МВт [14; 15].

В Чукотской опорной зоне намечены реконструкция объектов федеральной собственности в морском порту Певек, строительство береговых гидротехнических сооружений в составе ПАТЭС в Певеке (мощность — 70 МВт), реконструкция аэропортов Певек, Кеппервеем, Залив Креста, Беринговский, Бухта Провидения, Марково, Лаврентий [14; 15].

Таким образом, в опорных зонах уже реализуются масштабные производственные и инфраструктурные проекты, которые в среднесрочной перспективе могут получить дальнейшее развитие. Однако очевидно, что возможности их реализации и итоговая стоимость будут в существенной мере определяться суровостью климатических условий в каждой из опорных зон.

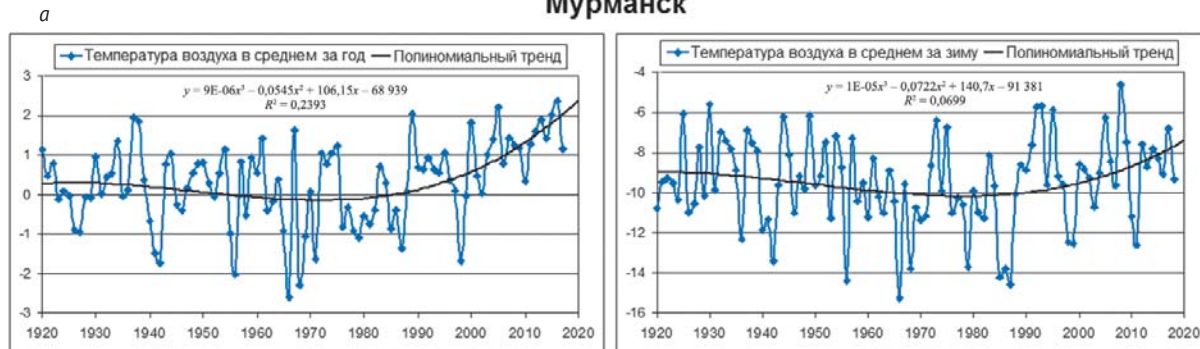
Анализ долговременных изменений климатических параметров в опорных зонах социально-экономического развития Арктики

На рис. 2 приведены многолетние изменения температуры воздуха в среднем за год и в среднем за зиму в Мурманске, Архангельске, Салехарде и Нарьян-Маре на основе данных, полученных из базы Института им. Годдарда [16] с 1900 по 2017 гг. Как видно из рисунка, температура в среднем за год на всех рассматриваемых станциях демонстрирует выраженную межгодовую изменчивость. Кроме того, в пунктах наблюдений Мурманск и Архангельск заметны долгопериодные изменения циклического характера.

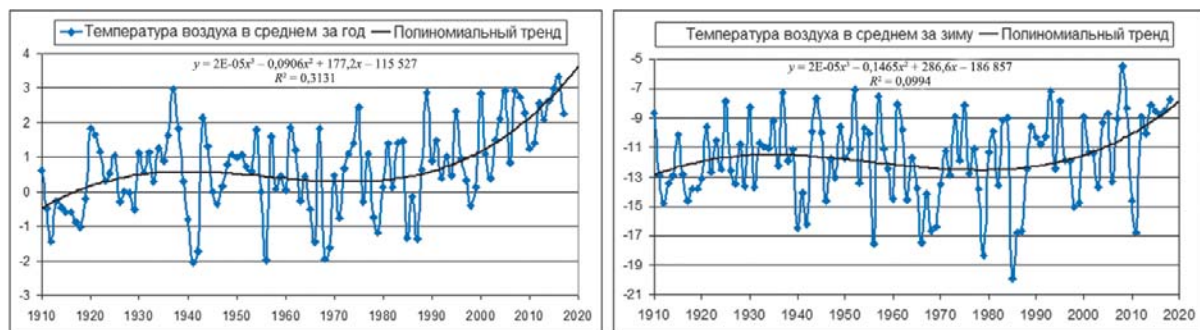
В середине 1960-х годов в Мурманске, Архангельске и Нарьян-Маре было отмечено выраженное похолодание. С начала 1990-х годов во всех рассматриваемых пунктах начало проявляться достаточно выраженное потепление, которое привело к росту средних годовых температур за 1990—2017 гг. на 1—1,5°C по сравнению с 1900—1989 гг.

Однако средние за зимний период значения температуры воздуха не демонстрируют столь устойчивого роста за последние три десятилетия. В наименьшей степени рост средних за зиму температур характерен

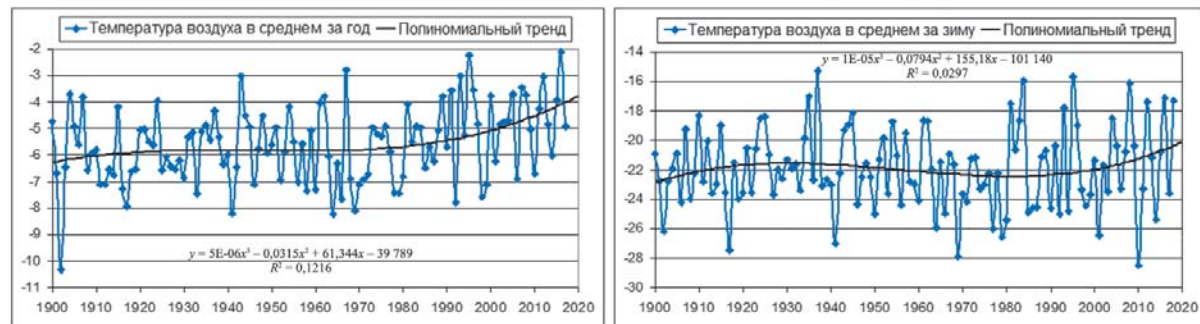
Мурманск



Архангельск



Салехард



Нарьян-Мар

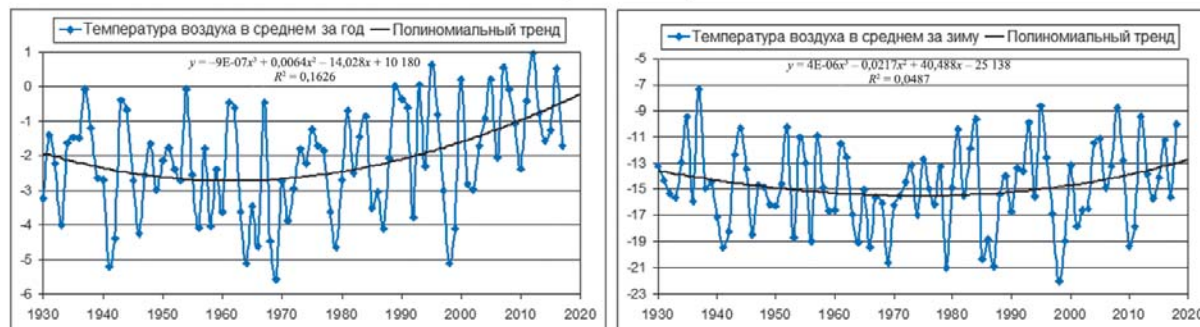


Рис. 2. Многолетние изменения температуры воздуха в среднем за год и в среднем за зиму в районах расположения Кольской, Архангельской, Ненецкой и Ямало-Ненецкой опорных зон социально-экономического развития (по данным Института им. Годдарда [16]): а – Мурманск, б – Архангельск, в – Салехард, г – Нарьян-Мар

Fig. 2. Long-term changes in mean air temperature per year and over the winter in the areas of the Kola, Arkhangelsk, Nenets and Yamalo-Nenets key zones of the socio-economic development in the Arctic (according to the Goddard Institute [16]): а – Murmansk, б – Arkhangelsk, в – Salekhard, г – Naryan-Mar

Таблица 1. Корреляционная матрица между значениями температуры воздуха в среднем за год в пунктах долговременных наблюдений, соответствующих опорным зонам Российской Федерации в Арктике

Пункт наблюдений	Мурманск	Архангельск	Нарьян-Мар	Остров Диксон	Салехард	Туруханск	Якутск	Анадырь
Анадырь	0,11	0,21	0,02	0,12	0,12	0,17	0,04	1
Якутск	0,43	0,51 **	0,52 **	0,53 **	0,51 **	0,57 **	1	
Туруханск	0,45 *	0,47 *	0,66 **	0,76 **	0,68 **	1		
Салехард	0,61 **	0,71 **	0,91 **	0,78 **	1			
Остров Диксон	0,51 **	0,55 **	0,75 **	1				
Нарьян-Мар	0,73 **	0,85 **	1					
Архангельск	0,88 **	1						

* Значения коэффициентов корреляции соответствуют 95%-ному уровню обеспеченности.

** Значения коэффициентов корреляции соответствуют 99%-ному уровню обеспеченности.

Таблица 2. Корреляционная матрица между значениями температуры воздуха в среднем за зиму в пунктах долговременных наблюдений, соответствующих опорным зонам Российской Федерации в Арктике

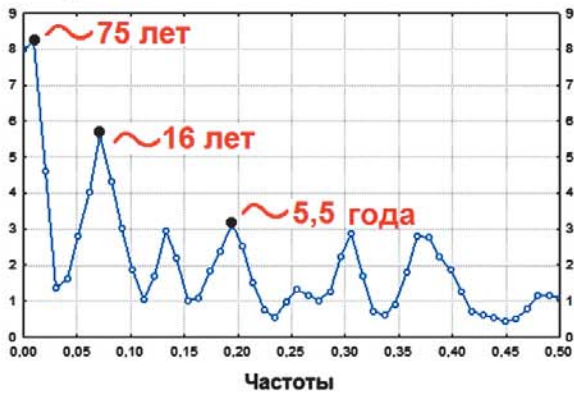
Пункт наблюдений	Мурманск	Архангельск	Нарьян-Мар	Остров Диксон	Салехард	Туруханск	Якутск	Анадырь
Анадырь	0,06	0,11	0,07	-0,06	0,0004	0,0007	-0,006	1
Якутск	0,28	0,37	0,32	-0,11	0,12	0,21	1	
Туруханск	0,27	0,26	0,37	0,13	0,28	1		
Салехард	0,36	0,44 *	0,51 **	0,04	1			
Остров Диксон	0,04	0,05	0,06	1				
Нарьян-Мар	0,71 **	0,82 **	1					
Архангельск	0,55 **	1						
Мурманск	1							

для Салехарда и Нарьян-Мара. Есть основания полагать, что начиная с 2010-х годов суровость зим начала возрастать. Подтверждением этому среди прочего могут служить факты замерзания Кольского залива, которые регистрировались в зимы 2010 и 2011 гг., а также зимой 2015 г., когда толщина льда составила более 10 см. До этого периода Коль-

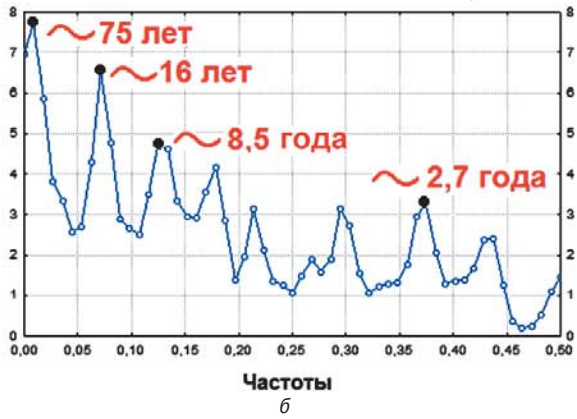
ский залив замерзал в 1935—1936, 1965—1966 и 1978—1979 гг.

Для уточнения степени и характера связи между изменчивостью температурного режима в различных районах в пределах опорных зон выполнен корреляционный анализ, результаты которого в виде корреляционных матриц представлены в табл. 1 и 2.

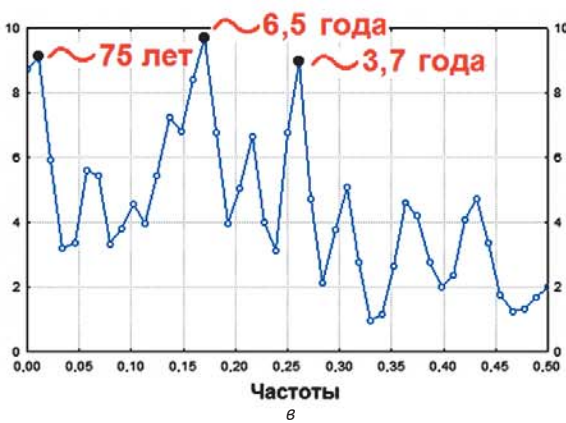
Спектральная плотность



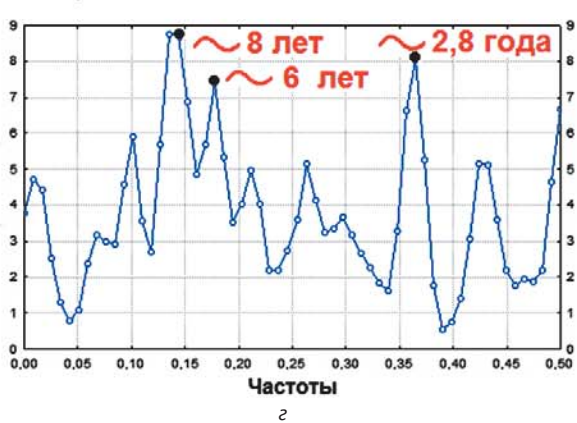
Спектральная плотность



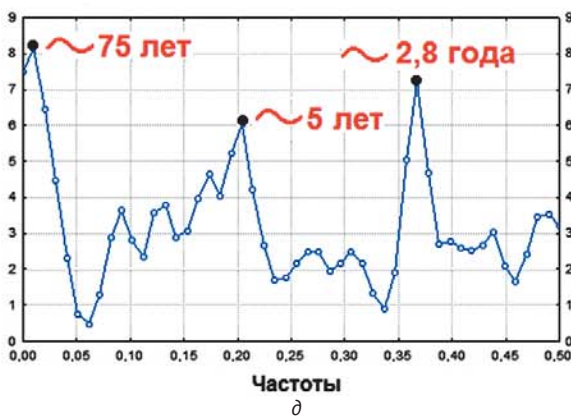
Спектральная плотность



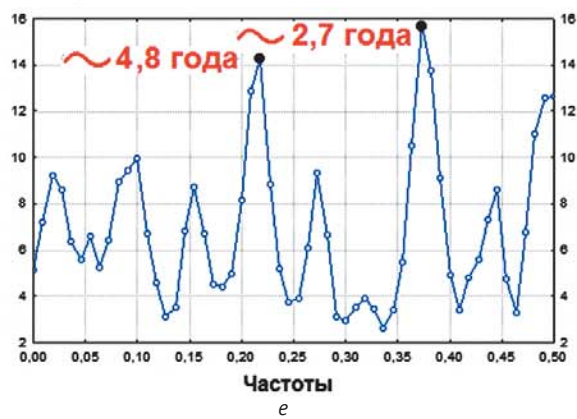
Спектральная плотность



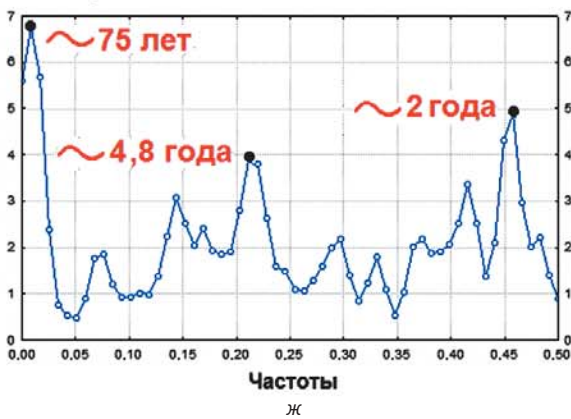
Спектральная плотность



Спектральная плотность



Спектральная плотность



Спектральная плотность

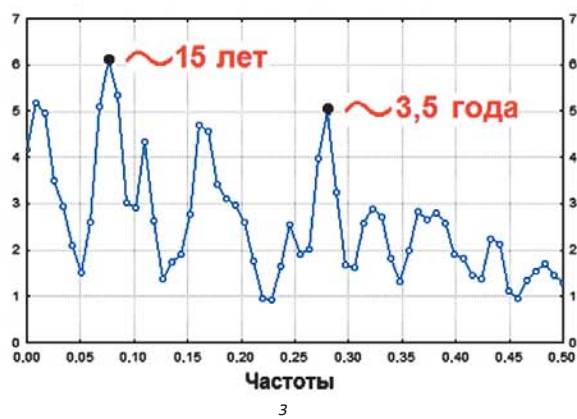


Рис. 3. Результаты анализа наличия периодов в рядах многолетних данных применительно к средним годовым значениям температуры воздуха (методом определения спектральной плотности) в различных пунктах в пределах опорных зон социально-экономического развития в Арктике: а – Мурманск, б – Архангельск, в – Нарьян-Мар, г – Салехард, д – остров Диксон, е – Туруханск, ж – Якутск, з – Анадырь
 Fig. 3. The analysis results of the periods' presence in the series of multi-year data as applied to the mean annual values of air temperature (by determining the spectral density) at various sites within the key zones of socio-economic development in the Arctic: а – Murmansk, б – Arkhangelsk, в – Naryan-Mar, г – Salekhard, д – Dickson, е – Turukhansk, ж – Yakutsk, з – Anadyr

Как видно из результатов корреляционного анализа, представленных в табл. 1, применительно к значениям средней за год температуры воздуха между всеми рассматриваемыми пунктами наблюдений за исключением Анадыря наблюдается достаточно высокая теснота связи. Наибольшая теснота связи проявляется для пунктов Салехард и Нарьян-Мар ($r = 0,91$ при уровне обеспеченности связи $P = 99\%$), Архангельск и Мурманск ($r = 0,88$ при $P = 99\%$), Архангельск и Нарьян-Мар ($r = 0,82$ при $P = 99\%$).

Динамика средней за год температуры воздуха в Анадыре, на побережье Берингова моря, облада-

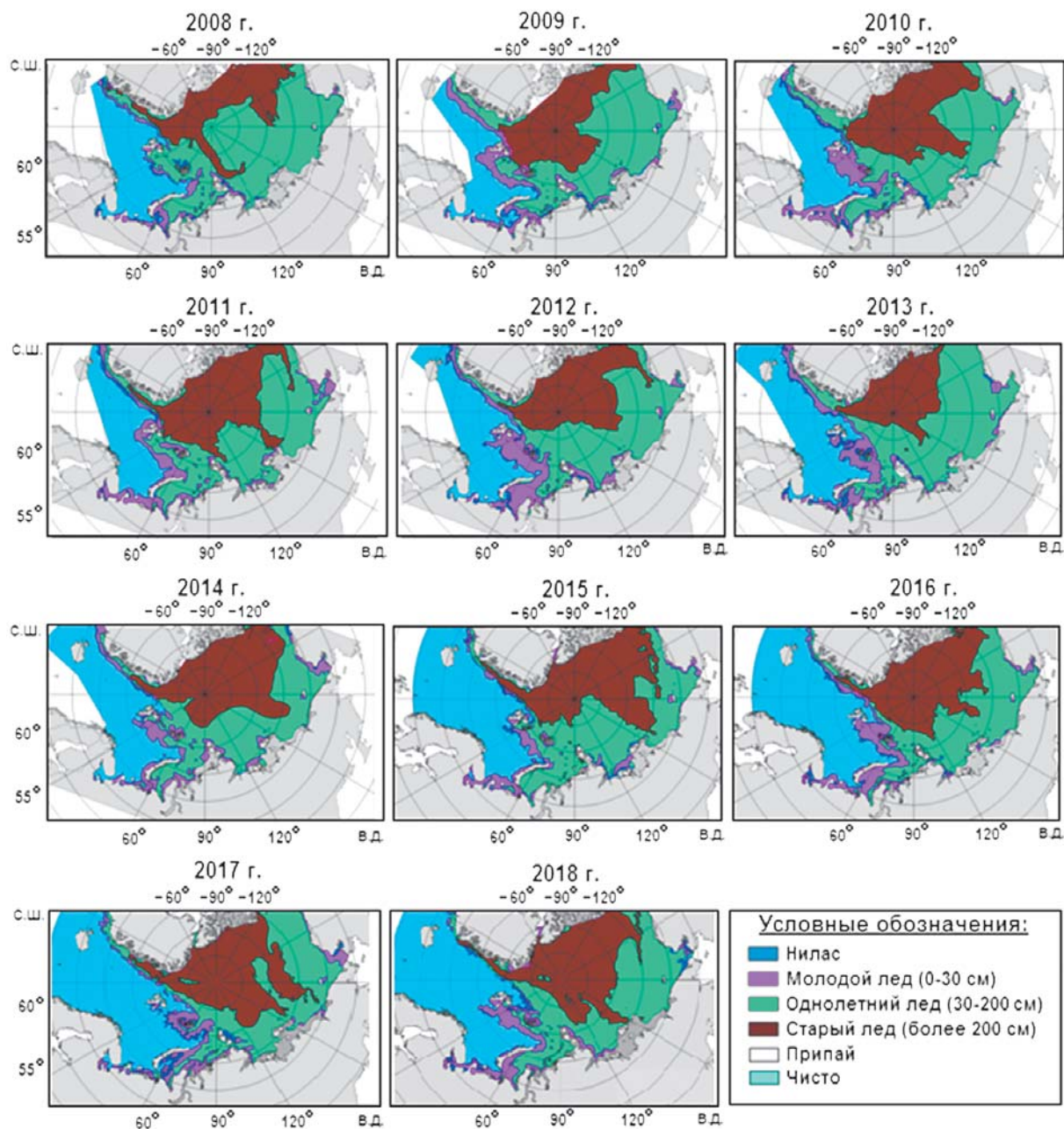


Рис. 4. Межгодовая динамика параметров ледового покрова арктических морей. Ежегодные данные за январь (по данным ААНИИ [9])
 Fig. 4. Inter-annual parameter dynamics of the ice cover of the Arctic seas. Annual data for January (according to the AARI [9])

ет наиболее выраженной спецификой, о чем свидетельствует отсутствие достоверной статистической связи с изменчивостью температуры воздуха во всех других рассматриваемых районах. При анализе данных средней за зиму температуры воздуха, как видно из табл. 2, оказывается, что статистически значимые связи имеются только между пунктами Мурманск, Архангельск и Нарьян-Мар, причем значения коэффициентов корреляции ниже, чем в случае анализа средних за год значений температуры воздуха. Это может означать, что формирование температурной изменчивости в зимний период носит более сложный характер, на который оказывают влияние не только крупномасштабные процессы, связанные с развитием и динамикой Сибирского и Арктического антициклонических центров, но и ряд локальных особенностей, в том числе неоднородность рельефа местности и степень близости к побережью.

Для установления преобладающих периодов многолетних колебаний средней годовой температуры воздуха выполнен спектральный анализ данных, результаты которого представлены на рис. 3. Установлено, что для Мурманска, Архангельска и Якутска наиболее характерна долгопериодная изменчивость с периодом около 75 лет. Для Салехарда, Тухаранска и Анадыря, напротив, характерна короткопериодная цикличность с периодами от 2,8 до 8 лет. Значительный практический интерес представляет также динамика ледовой обстановки, определяющая длительность ледокольной проводки судов на трассах Северного морского пути и ледокольного сопровождения деятельности портов.

Кроме того, параметры ледовитости морей в районе расположения буровых платформ, морских нефтяных отгрузочных терминалов «Варандей» и «Ворота Арктики», как известно, могут определять риски возникновения различных аварийных ситуаций. Наконец, от ожидаемой ледовитости зависит выбор технологий и материалов строительства различной морской техники для Арктики, включая ледоколы нового поколения, а также технико-экономическое обоснование реализации различных морских транспортных коммуникаций.

На рис. 4 представлена межгодовая динамика параметров ледового покрова арктических морей за январь с 2008 по 2018 гг. по данным ААНИИ [9]. Заметны значительные изменения площадей старого льда толщиной более 200 см, представляющего основную сложность и в ряде случаев угрозу для судоходства. В 2008 г. на фоне достаточно выраженного потепления в Арктике старые льды концентрировались главным образом в Канадском и Гренландском секторах, практически не затрагивая высокоширотные трассы Северного морского пути за исключением района Северной Земли, где старые льды можно было встретить к востоку от острова Комсомолец. Через пять лет ситуация существенно изменилась: старые льды начали от-

мечаться не только в Канадском и Гренландском секторах, но и в районе Северного полюса, распространяясь к югу примерно до широты 83—85° в российском секторе и до 80° с. ш. в канадском секторе. Еще через пять лет, в 2018 г., площади Северного Ледовитого океана, занятые старыми льдами, стали занимать уже около 50% его общей площади, распространившись в канадском секторе до широты 82°, плотно закрывая район Северного полюса с распространением в российском секторе до 81° с. ш. до островов Анжу в море Лаптевых и до 86° с. ш. в районе Северной Земли. Тяжелые старые льды стали встречаться не только на высокоширотных трассах Северного морского пути, но и на низкоширотных. По-видимому, проявляется тенденция к возрастанию ледовитости. Это требует принятия ряда организационных и технологических мер, направленных на повышение техноферной и экологической безопасности морской хозяйственной деятельности, в частности морских перевозок углеводородного топлива. Возможно увеличение длительности периодов ледокольного обеспечения на трассах Северного морского пути. Требования к прочностным характеристикам корпуса транспортных судов и судов снабжения, эксплуатирующихся в Арктике, также должны основываться на учете текущих и ожидаемых климатических изменений.

Прогноз климатических изменений в Арктике и оценка их последствий для опорных зон социально-экономического развития

Ежегодный прогноз элементов ледового режима морей публикуется в бюллетене «Долгосрочный прогноз ледовых условий» ФГБУ «Гидрометцентр России» и рассылается заинтересованным организациям в начале октября. При этом прогнозируются следующие характеристики:

- даты первого появления льда в портах;
- максимальная за ледовый сезон ледовитость моря;
- максимальная за ледовый сезон толщина припайного льда в районе портов;
- даты окончательного очищения моря ото льда в районе портов;
- продолжительность ледового периода в районе портов.

Информационной основой методики прогноза являются материалы электронного архива метеорологической и ледовой информации, созданного в лабораториях научных учреждений Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Технология долгосрочного прогноза представляет собой ансамблевый метод, включающий в себя три самостоятельных компонента [10]:

- расчет ледовых параметров по уравнениям множественной корреляции на основе использования

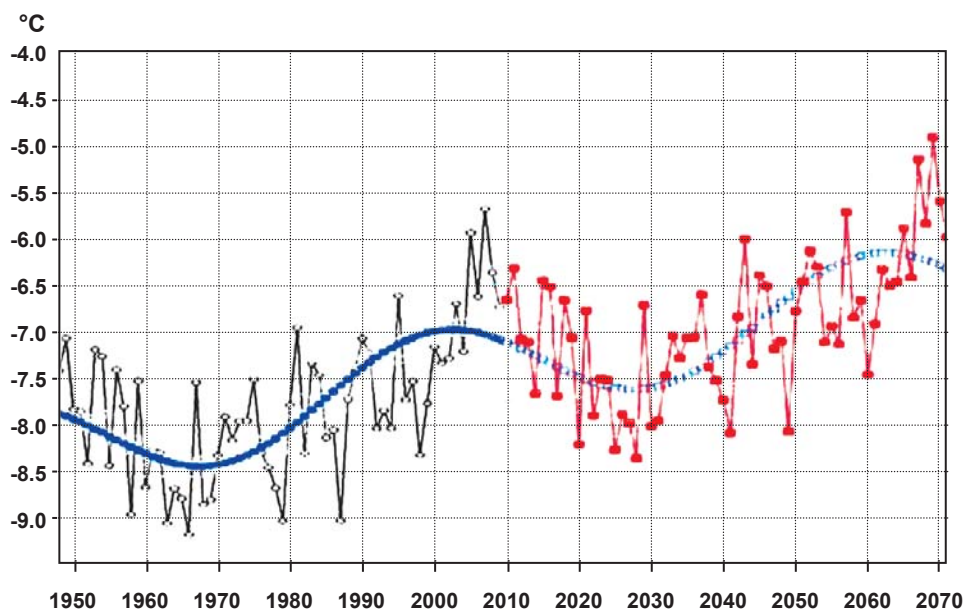


Рис. 5. Прогноз зонально-осредненной приповерхностной среднемесячной температуры воздуха для высоких широт (60–90° с. ш.). По данным [10]

Fig. 5. The forecast of the zonal-averaged near-surface mean monthly air temperature for high latitudes (60–90° NL). According to [10]

характеристик поля температуры над евро-атлантическим сектором;

- расчет ледовых параметров по уравнениям множественной корреляции на основе использования характеристик поля давления над евро-атлантическим сектором;
- разложение кривых хода межгодовой изменчивости ледовых характеристик на гармонические составляющие с последующей их экстраполяцией на предстоящий ледовый сезон.

В итоговом результате прогноза ледовых характеристик учитывается вклад всех трех компонентов. При этом величина вклада в общий результат пропорциональна обеспеченности расчета по полным рядам наблюдений в рамках каждого компонента.

Методика долгосрочного ледового прогноза основана на гипотезе о том, что циклические процессы являются основополагающими в климатической изменчивости для любого района Земного шара. Частотная структура изменений площади ледяного покрова морей Северного Ледовитого океана характеризуется более или менее заметными пиками. Эти пики наблюдаются на периодах 2—3 года, 5—7, 8—12, 20, 50—60 и 75 лет. Поэтому в рамках разработки методики долгосрочного ледового прогноза было сделано предположение, что имеется некоторый глобальный период, в который вкладываются все гармоники, описывающие изменчивость ледовых процессов. На рис. 5 представлен обобщенный прогноз зонально-осредненной приповерхностной среднемесячной температуры воздуха для высоких широт (60—90° с. ш.) по данным [10]. Согласно это-

му прогнозу выявленные региональные тенденции к похолоданию преимущественно в зимний период начиная примерно с 2010 г. продолжатся до начала 2030-х годов. Затем можно ожидать наступления нового периода потепления, который продлится до середины 2060-х годов, причем проявляясь даже более существенно, чем в период с начала 1990-х годов.

Представляют интерес также оценки возможных изменений продолжительности навигационного периода (ПНП) для Северного морского пути в XXI в., полученные на основе расчетов с ансамблем климатических моделей в рамках международного проекта CMIP3 (Climate Model Intercomparison Project). Использован сценарий умеренных антропогенных воздействий в рамках семейства моделей SRES (SRES-A1B) [20].

На рис. 6 представлены межгодовые вариации продолжительности навигационного периода T (сут) при доле морских льдов не более 15% в 1980—2100 гг. по моделям CNRM-CM5, MPI-ESM-LR и MPI-ESM-MR при сценарии умеренных антропогенных воздействий RCP 4.5 в сопоставлении со спутниковыми данными SMMR [21]. Как видно из рисунка, на фоне общей тенденции увеличения навигационного периода в связи с существенной междесятилетней изменчивостью для отдельных десятилетий отмечаются отрицательные тренды ПНП, в том числе значимые, например по расчетам для середины XXI в. с моделью MPI-ESM-LR. Также следует отметить, что в 2019—2020 гг. согласно моделям CNRM-CM5 и MPI-ESM-MR должно произойти существенное

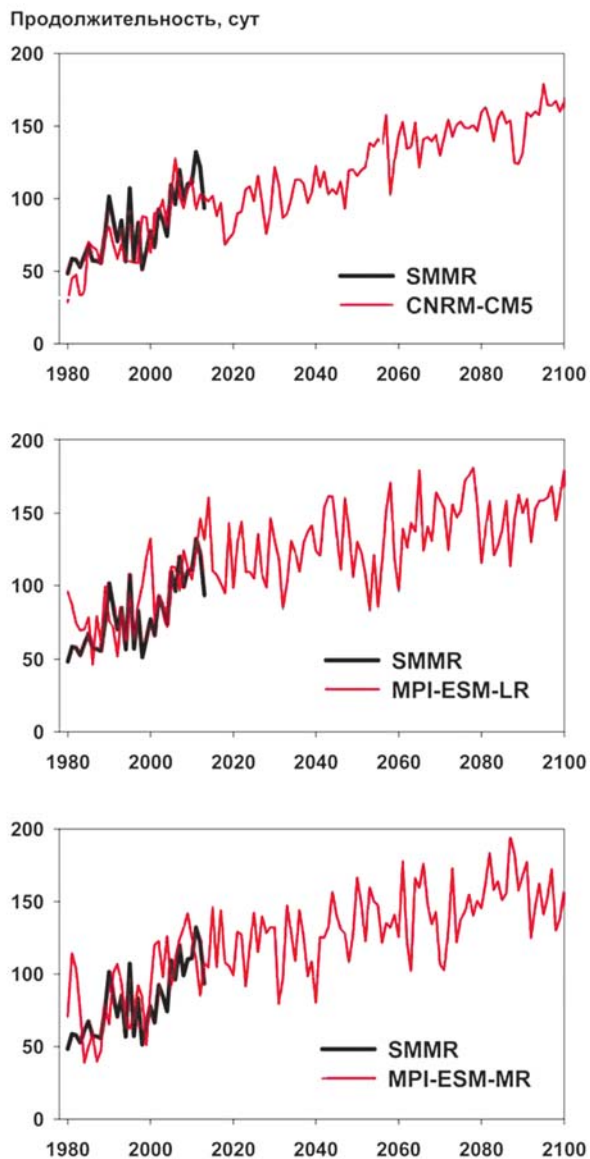


Рис. 6. Межгодовые вариации продолжительности навигационного периода T (сут) при доле морских льдов не более 15% в 1980–2100 гг. по модельным расчетам при сценарии умеренных антропогенных воздействий RCP 4.5 в сопоставлении со спутниковыми данными (SMMR): CNRM-CM5 (а), MPI-ESM-LR (б), MPI-ESM-MR (в) [21]

Fig. 6. Inter-annual variations in the navigation season T (day) with the sea ice share of no more than 15% in 1980–2100 according to model calculations under the scenario of moderate anthropogenic impacts of RCP 4.5 in comparison with satellite data (SMMR): CNRM-CM5 (a), MPI-ESM-LR (б), MPI-ESM-MR (в) [21]

снижение продолжительности навигационного периода, что в целом вполне согласуется с прогнозом зонально-осредненной приповерхностной среднемесячной температуры воздуха для высоких широт, представленным на рис. 5.

Согласно полученным в [21–23] модельным оценкам транзит из Западной Европы в Юго-Восточную Азию Северным морским путем может стать

более перспективным, чем через Суэцкий канал, даже в зимние месяцы при продолжении тенденции потепления в XXI в. Однако результаты спектрального анализа натурных данных по температуре воздуха за значительные периоды продолжительностью более 80 лет, представленные на рис. 3, свидетельствуют о наличии природных периодических колебаний различной амплитуды. В целом главной задачей дальнейших исследований должно быть установление реальной величины антропогенного воздействия на региональный климат, в том числе высокоширотной Арктики. Без должного понимания и физического обоснования степени и характера влияния человека на климат разработка объективных и практически ценных прогностических модельных сценариев весьма затруднительна.

Очевидна необходимость составления региональных детализированных прогнозов изменчивости температуры воздуха и ледового покрова в пределах морей и опорных зон социально-экономического развития российской Арктики на среднесрочную (до 20–25 лет) и долгосрочную перспективу. При этом следует учитывать, что в западной Арктике будут наблюдаться более продолжительные периоды потеплений и похолоданий, чем в восточных областях.

В табл. 3 представлены возможные последствия похолодания и потепления климата в пределах опорных зон социально-экономического развития Российской Федерации.

Следует отметить, что наибольшей уязвимостью по отношению к влиянию климатических изменений на рост риска аварийности объектов морской техники обладают районы расположения морских терминалов по отгрузке нефти, а также районы, примыкающие к мелководьям в Обской губе и устью Лены и соответствующим портам. В случае существенного увеличения толщин льдов для обеспечения ледовой навигации здесь не смогут работать ледоколы с глубокой осадкой. Возможное похолодание, которое, вероятно, будет наиболее заметным с начала до середины 2020-х годов, способно привести к увеличению на 15–20% стоимости капитальных и эксплуатационных затрат в процессе добычи и транспортировки минерального сырья. Тем не менее для развития процесса изучения и освоения Арктики, демонстрации российского присутствия в данном регионе целесообразно развивать отечественный ледокольный флот, способный работать как на высокоширотных трассах Северного морского пути, так и в мелководных районах устьев сибирских рек.

Заключение

На основе анализа современной и планируемой хозяйственной деятельности в опорных зонах социально-экономического развития российской Арктики, а также анализа многолетних данных по динамике температуры воды и ледовой обстановки

Таблица 3. Возможные последствия похолодания и потепления климата в пределах опорных зон социально-экономического развития Российской Федерации

Опорная зона	Похолодание климата в среднесрочной перспективе	Потепление климата в среднесрочной перспективе
Кольская	Замерзание Кольского залива, позднее вскрытие Кандалакшского залива, ухудшение условий судоходства. Рост аварийности оборудования, повышение энерго- и теплопотребления, рост стоимости продукции	Улучшение условий судоходства и объемов грузооборота по Баренцевому морю и транзитным перевозкам, снижение энерго- и теплопотребления, снижение аварийности оборудования, развитие прибрежной аквакультуры и экологического туризма. Снижение эксплуатационных затрат и затрат на капитальное строительство
Архангельская	Позднее вскрытие Двинского и Онежского заливов, ухудшение условий судоходства. Рост аварийности оборудования, повышение энерго- и теплопотребления, рост стоимости продукции	Улучшение условий судоходства и объемов грузооборота по Белому морю и транзитным перевозкам, снижение энерго- и теплопотребления, снижение аварийности оборудования, развитие прибрежной аквакультуры и экологического туризма. Снижение эксплуатационных затрат и затрат на капитальное строительство
Ненецкая	Ухудшение ледовой обстановки в Печорском море, в районах порта Индига и платформы «Приразломная», терминала «Варандей». Рост аварийности оборудования, повышение энерго- и теплопотребления, рост стоимости продукции	Улучшение ледовой обстановки в Печорском море. Снижение рисков при отгрузке нефти с платформы Приразломная и терминала «Варандей». Снижение эксплуатационных затрат и затрат на капитальное строительство
Ямало-Ненецкая и Воркутинская	Ухудшение ледовой обстановки в Обской губе, в районах порта Сабетта, терминала «Ворота Арктики». Рост аварийности оборудования. Увеличение периода ледокольного сопровождения. Рост стоимости эксплуатационных затрат на добычу минерального сырья	Улучшение ледовой обстановки в Обской губе и портах. Снижение рисков при отгрузке нефти с терминала «Ворота Арктики». Снижение энерго- и теплопотребления, снижение аварийности оборудования. Снижение эксплуатационных затрат и затрат на капитальное строительство. Уменьшение периода ледокольного сопровождения деятельности портов
Таймыро-Туруханская	Ухудшение ледовой обстановки в районе порта Диксон. Рост аварийности оборудования. Увеличение периода ледокольного сопровождения. Рост стоимости эксплуатационных затрат на добычу минерального сырья	Улучшение ледовой обстановки в районе порта Диксон. Снижение энерго- и теплопотребления, снижение аварийности оборудования. Снижение эксплуатационных затрат и затрат на капитальное строительство. Уменьшение периода ледокольного сопровождения деятельности портов
Северо-Якутская	Ухудшение ледовой обстановки в районе порта Тикси. Рост аварийности оборудования. Увеличение периода ледокольного сопровождения. Рост стоимости эксплуатационных затрат на добычу минерального сырья	Улучшение ледовой обстановки в районе порта Тикси. Снижение энерго- и теплопотребления, снижение аварийности оборудования. Снижение эксплуатационных затрат и затрат на капитальное строительство. Уменьшение периода ледокольного сопровождения деятельности портов
Чукотская	Ухудшение ледовой обстановки в районе портов Певек и Анадырь. Рост аварийности оборудования. Увеличение периода ледокольного сопровождения. Рост стоимости эксплуатационных затрат на добычу минерального сырья	Улучшение ледовой обстановки в районе портов Певек и Анадырь. Снижение энерго- и теплопотребления, снижение аварийности оборудования. Снижение эксплуатационных затрат и затрат на капитальное строительство. Уменьшение периода ледокольного сопровождения деятельности портов

в районах расположения опорных зон можно прийти к следующим выводам.

- Планируемая модернизация портов Мурманск, Архангельск, Тикси и Певек способна привести к существенному увеличению их грузооборота и общему росту социально-экономического потенциала Кольской, Архангельской, Северо-Якутской и Чукотской опорных зон. Строительство нового глубоководного порта Индига на Баренцевом море и соответствующей береговой транспортной инфраструктуры также позволит наращивать мероприятия по освоению западной Арктики. Однако для столь масштабного строительства в весьма сложных ландшафтных условиях (скалистый рельеф, обилие рек и озер) требуется комплексное технико-экономическое обоснование с анализом наличия реальных объемов сырьевой базы для привлечения транспортного флота в среднесрочной перспективе.
- Реконструкция аэропортов Певек, Беринговский, Бухта Провидения, Марково, Лаврентий, аэропортовых комплексов Нарьян-Мара и Амдермы весьма целесообразна, но должна осуществляться с учетом местных погодных-климатических условий параллельно с развитием средств космической высокоширотной навигации и связи.
- Наибольшие ресурсы углеводородного сырья сконцентрированы в пределах Ненецкой, Ямало-Ненецкой и Воркутинской опорных зон, тогда как минеральное рудное сырье в большей степени свойственно Кольской, Таймыро-Туруханской, Северо-Якутской и Чукотской опорным зонам.
- В западной Арктике в пределах Кольской и Архангельской опорных зон наблюдаются преимущественно долгопериодные циклы изменчивости температуры воздуха и ледовитости (60—75 лет), тогда как в восточных областях в пределах Ямало-Ненецкой и Таймыро-Труханской опорных зон — преимущественно короткопериодные (3—8 лет). Эти особенности целесообразно учитывать при разработке прогнозов и прогностических сценариев климатических изменений в Арктике, а также при составлении технико-экономического обоснования реализации новых промышленных объектов, наземной и морской транспортной инфраструктуры.
- С начала 1990-х годов во всех рассматриваемых районах опорных зон наблюдалось достаточно выраженное потепление, которое привело к росту средних годовых значений температур воздуха за период с 1990 по 2015 гг. на 1,0—1,5°C по сравнению с периодом 1900—1989 гг. Однако средние за зимний период значения температуры воздуха не демонстрируют столь устойчивого роста за последние три десятилетия. В наименьшей степени рост средних за зиму температур характерен для Салехарда и Нарьян-Мара. Есть основания полагать, что начиная с 2010-х годов суровость зим стала возрастать.

- Результаты анализа натуральных данных позволяют прийти к предварительному выводу о наличии тенденции к возрастанию ледовитости морей российской Арктики с начала 2010-х годов. Если тенденция сохранится, это потребует принятия ряда организационных и технологических мер, направленных на повышение техносферной и экологической безопасности морской хозяйственной деятельности, в частности перевозок углеводородного топлива. Возможно увеличение времени ледокольного обеспечения на трассах Северного морского пути, а также в прибрежных портовых зонах. Требования к прочностным характеристикам корпусов транспортных судов и судов снабжения, эксплуатирующихся в Арктике, также должны основываться на учете текущих и ожидаемых климатических изменений. То же можно сказать и о методиках и условиях модельных испытаний ледовой техники в опытовых бассейнах.
- В отношении возможных перспектив Северного морского пути в XXI в. по расчетам с использованием климатических моделей семейства SRES при сценарии умеренных антропогенных воздействий к середине XXI в. ожидается увеличение навигационного периода до 4—5 мес, а к концу века — от 5 до 5,5 мес. При этом на фоне долгопериодных тенденций проявляются существенные межгодовые и десятилетние вариации температурного и ледового режимов.
- Сложные погодные и климатические условия морей российского арктического шельфа и низкая устойчивость природных экосистем к техногенному воздействию определяют необходимость создания комплексной системы экологического мониторинга и соответствующих информационно-аналитических систем, позволяющих оперативно реагировать на возникающие угрозы.

Литература

1. Воробьев В. Н., Смирнов Н. П. Арктический антициклон и динамика климата Северной Полярной области. — СПб.: Изд-во РГГМУ, 2003. — 82 с.
2. Воробьев В. Н., Дроздов В. В., Митько В. Б. и др. Экологические и гидрометеорологические проблемы развития промышленного освоения ресурсов нефти и газа на шельфе морей российской Арктики и пути их решения // Экология и промышленность России. — 2015. — Т. 19, № 2. — С. 50—55.
3. Дмитриев А. А., Беязов В. А., Гудошников Ю. П. Ритмические колебания земных природных процессов и их гравитационная обусловленность. — СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2011. — 232 с.
4. Воробьев В. Н., Смирнов Н. П. Влияние крупномасштабных циркуляционных процессов в атмосфере на температурный режим Беломорского региона // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2011. — № 3 (89). — С. 78—88.

5. Дроздов В. В. Влияние колебаний климата на динамику экосистем Балтийского и Белого морей: Монография. — СПб.: Изд-во РГГМУ, 2015. — 230 с.
6. Дроздов В. В., Косенко А. В. Многолетние тенденции изменения температуры воздуха в промышленно-хозяйственных центрах Северо-Западного и Центрального федеральных округов России и их причины // Экология и пром-сть России. — 2017. — Т. 21, № 3. — С. 56—63. — DOI: 10.18412/1816-0395-2017-3-56-63.
7. Думанская И. О. Метод долгосрочного прогноза ледовых условий на Белом и Азовском морях // Тр. гос. учреждения «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации». — 2011. — Вып. 345. — С. 74—93.
8. Думанская И. О. Ледовые условия морей Европейской части России. — Москва; Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2014. — 608 с.
9. Официальный сайт ААНИИ. — URL: <http://www.aagi.nw.ru>.
10. Панин Г. Н., Дианский Н. А., Соломонова И. В. и др. Оценка климатических изменений в Арктике в XXI столетии на основе комбинированного прогностического сценария // Арктика: экология и экономика. — 2017. — № 2 (26). — С. 35—52. — DOI: 10.25283/2223-4594-2017-2-35-52.
11. Кудряшова Е. В. Всероссийская научно-практическая конференция «Арктика — национальный мегапроект: кадровое обеспечение и научное сопровождение»: предпосылки, содержание, основные результаты // Арктика — национальный мегапроект: кадровое обеспечение и научное сопровождение / Отв. ред. Е. В. Кудряшова. — Архангельск: САФУ, 2016. — С. 14—41.
12. Филатов Н. Н., Тержевик А. Ю. Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов / Карел. науч. центр РАН. — Петрозаводск, 2007. — 349 с.
13. Хорошев В. Г., Поляков Ю. Н., Дроздов В. В. Техногенные риски освоения российского арктического шельфа // V Международный форум «Арктика: настоящее и будущее»: Сб. докл. / Конгрессно-выставоч. центр «Экспофорум». — СПб., 2015. — С. 160—162.
14. Смирнова О. О. Опорные зоны Арктики: проекты и перспективы / Форум «Арктические проекты — сегодня и завтра». 19 октября 2016 г., г. Архангельск. — URL: http://www.sozvezdye-forum.ru/assets/files/Presentation_2016/Plenarnaya%20chast/SmirnovOOv2.pdf.
15. Смирнова О. О., Липина С. А., Кудряшова Е. В. и др. Формирование опорных зон в Арктике: методология и практика // Арктика и Север. — 2016. — № 25. — С. 148—157.
16. Official site. National Aeronautics and Space Administration. Goddard Institute for Space Studies (GISS). — URL: <http://www.giss.nasa.gov>.
17. Рожнов В. А. Теория вероятностей случайных событий, величин и функций с гидрометеорологическими примерами. — Кн. 1. — СПб.: Прогресс-погода, 1996. — 153 с.
18. Джекинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. — Вып. 1. — М.: Мысль, 1971. — 318 с.
19. Порт Индига планируется включить в проект Белкомур. — URL: <http://tass.ru/ekonomika/5076000>.
20. Understanding and adapting to climate change impacts in New South Wales. — URL: <https://climatechange.environment.nsw.gov.au/Climate-projections-for-NSW/About-NARClIM/CMIP3-vs-CMIP5>.
21. Мохов И. И., Хон В. Ч. Продолжительность навигационного периода и ее изменения для Северного морского пути: модельные оценки // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 2 (18). — С. 88—95.
22. Мохов И. И., Хон В. Ч. Оценки перспектив Северного морского пути при изменениях климата на основе расчетов с ансамблем климатических моделей // Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы. — Т. 3. — Ч. 2: Природные процессы в полярных областях Земли / ИГ РАН. — М., 2008. — С. 20—27.
23. Хон В. Ч., Мохов И. И. Климатические изменения в Арктике и возможные условия арктической морской навигации в XXI веке // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. — 2010. — Т. 46, № 1. — С. 19—25.

Информация об авторе

Дроздов Владимир Владимирович, кандидат географических наук, доцент, начальник отдела, ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44), e-mail: vladidrozдов@yandex.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Дроздов В. В. К вопросу учета долговременных климатических изменений в опорных зонах социально-экономического развития российской Арктики для совершенствования судоходства и промышленного потенциала // Арктика: экология и экономика. — 2019. — № 2 (34). — С. 64—79. — DOI: 10.25283/2223-4594-2019-2-64-79.

CONSIDERING LONG-TERM CLIMATIC CHANGES IN THE KEY ZONES OF SOCIAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE RUSSIAN ARCTIC FOR THE NAVIGATION AND INDUSTRIAL CAPACITY EXTENSION

Drozdov V. V.

Federal State Unitary Enterprise "Krylov State Research Centre" (St. Petersburg, Russian Federation)

The article was received on July 2, 2018

Abstract

The industrial and resource capacity in the key zones of the socio-economic development of the Russian Federation — the Kola, Arkhangelsk, Nenets, Yamalo-Nenets and Vorkuta, Taimyro-Turukhansk, North-Yakutsk and Chukotka are considered. The analysis of long-term data indicating climate change — mean air temperature per year, mean winter temperature, as well as ice conditions in the marine areas adjacent to the key areas.

It has been established that since the beginning of the 1990s, a general warming trend is observed in all the studied areas, but the values of mean air temperatures during the winter in all key zones do not show steady growth. Since 2010, the winter seasons have become increasingly harsh. Using the spectral analysis of multi-year data, it has been established that the Kola and Arkhangelsk key zones are characterized by prevailing long-term fluctuations in air temperature and ice cover (about 75 years), while in the eastern regions — within the Yamalo-Nenets and Taimyro-Turukhansk key zones, the corresponding short-term fluctuations dominate (3-8 years), and in the Anadyr key zone — medium-term ones (about 15 years).

The paper substantiates possible consequences of the expected climate change as applied to the implementation of projects for the mineral resource development, the infrastructure formation and the navigation extension along the Northern Sea Route and in the coastal zone.

Keywords: *key zones of social and economic development, industrial and resource capacity, climatic changes and their consequences.*

References

1. Vorob'ev V. N., Smirnov N. P. Arkticheskii antitsiklon i dinamika klimata Severnoi Polyarnoi oblasti. [Arctic anticyclone and climate dynamics of the Northern Polar Region]. St. Petersburg, RGGMU, 2003, 82 p. (In Russian).
2. Vorob'ev V. N., Drozdov V. V., Mit'ko V. B., Kuprina E. E., Kosenko A. V. Ekologicheskie i gidrometeorologicheskie problemy razvitiya promyshlennogo osvoeniya resursov nefti i gaza na shel'fe morei rossiiskoi Arktiki i puti ikh resheniya. [Ecological and hydrometeorological problems of development of industrial development of oil and gas resources on the shelf of the seas of the Russian Arctic and ways to solve them]. *Ekologiya i prom-st' Rossii*, 2015, vol. 19, no. 2, pp. 50—55. (In Russian).
3. Dmitriev A. A., Belyazo V. A., Gudoshnikov Yu. P. Ritmicheskie kolebaniya zemnykh prirodnykh protsessov i ikh gravitatsionnaya obuslovlennost'. [Rhythmic oscillations of terrestrial natural processes and their gravitational conditionality]. St. Petersburg, Izd-vo SPbGPU, 2011, 232 p. (In Russian).
4. Vorob'ev V. N., Smirnov N. P. Vliyanie krupnomasshtabnykh tsirkulyatsionnykh protsessov v atmosfere na temperaturnyi rezhim Belomorskogo regiona. [Influence of large-scale circulation processes in the atmosphere on the temperature regime of the Belomorian region] *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2011, no. 3 (89), pp. 78—88. (In Russian).
5. Drozdov V. V. Vliyanie kolebaniy klimata na dinamiku ekosistem Baltiiskogo i Belogo morei: Monografiya. [The influence of climate fluctuations on the dynamics of the ecosystems of the Baltic and White Seas. Monograph]. St. Petersburg, Izd-vo RGGMU, 2015, 230 p. (In Russian).
6. Drozdov V. V., Kosenko A. V. Mnogoletnie tendentsii izmeneniya temperatury vozdukha v promyshlennokhozyaistvennykh tsentrakh Severo-zapadnogo i Tsentral'nogo federal'nykh okrugov Rossii i ikh prichiny. [Long-term trends in air temperature in the industrial and economic centers of the North-West and Central Federal Districts of Russia and their causes]. *Ekologiya i prom-st' Rossii*, 2017, vol. 21, no. 3, pp. 56—63. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-3-56-63. (In Russian).
7. Dumanskaya I. O. Metod dolgosrochnogo prognoza ledovykh uslovii na Belom i Azovskom moryakh. [Method of long-term forecast of ice conditions on the White and Azov Seas]. *Tr. gos. uchrezhdeniya "Gidrometeorologicheskii nauchno-issledovatel'skii tsentr Rossiiskoi Federatsii"*, 2011, iss. 345, pp. 74—93. (In Russian).
8. Dumanskaya I. O. Ledovye usloviya morei Evropeiskoi chasti Rossii. [Ice conditions of the seas of the European part of Russia]. Moscow, Obninsk, IG-SOTsIN, 2014, 608 p. (In Russian). (In Russian).
9. Official site AARI. Available at: <http://www.aari.nw.ru>.
10. Panin G. N., Dianskii N. A., Solomonova I. V., Gusev A. V., Vyuchalkina T. Yu. Otsenka klimaticheskikh izmenenii v Arktike v XXI stoletii na osnove kombinirovannogo prognosticheskogo stsenariya. [Assessment of climatic changes in the Arctic in the 21st century based on the combined forecast]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2019, no. 2 (34), pp. 11—18. (In Russian).

- 2017, no. 2 (26), pp. 35—52. DOI: 10.25283/2223-4594-2017-2-35-52. (In Russian).
11. Kudryashova E. V. Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya “Arktika — natsional’nyi megaproekt: kadrovoe obespechenie i nauchnoe soprovozhdenie”: predposylki, sodержanie, osnovnye rezul’taty. [All-Russian Scientific and Practical Conference “Arctic — National Megaproject: Staffing and Scientific Support: Prerequisites, Content, Main Results”]. Arktika — natsional’nyi megaproekt: kadrovoe obespechenie i nauchnoe soprovozhdenie. Otv. red. E. V. Kudryashova. Arkhangel’sk, SAFU, 2016, pp. 14—41. (In Russian).
12. Filatov N. N., Terzhevik A. Yu. Beloe more i ego vodobor pod vliyaniem klimaticheskikh i antropogennykh faktorov. [White Sea and its watershed under the influence of climatic and anthropogenic factors]. Karel. nauch. tsentr RAN. Petrozavodsk, 2007, 349 p. (In Russian).
13. Khoroshev V. G., Polyakov Yu. N., Drozdov V. V. Tekhnogennye riski osvoeniya rossiiskogo arkticheskogo shel’fa. [Technogenic risks of development of the Russian Arctic shelf]. V Mezhdunarodnyi forum “Arktika: nastoyashchee i budushchee”. Sb. dokl. Kongressno-vystavoch. tsentr “Ekspoforum”. St. Petersburg, 2015, pp. 160—162. (In Russian).
14. Smirnova O. O. Opornye zony Arktiki: proekty i perspektivy. [Support zones of the Arctic: projects and prospects]. Forum “Arkticheskie proekty — segodnya i zavtra”. 19 oktyabrya 2016 g., g. Arkhangel’sk. Available at: http://www.sozvezdye-forum.ru/assets/files/Presentation_2016/Plenarnaya%20chast/SmirnovOOv2.pdf. (In Russian).
15. Smirnova O. O., Lipina S. A., Kudryashova E. V., Kreidenko T. F., Bogdanova Yu. N. Formirovanie opornykh zon v Arktike: metodologiya i praktika. [Formation of support zones in the Arctic: methodology and practice]. Arktika i Sever, 2016, no. 25, pp. 148—157. (In Russian).
16. Official site. National Aeronautics and Space Administration. Goddard Institute for Space Studies (GISS). Available at: <http://www.giss.nasa.gov>.
17. Rozhkov V. A. Teoriya veroyatnostei sluchainykh sobytii, velichin i funktsii s gidrometeorologicheskimi primerami. Kn. 1. [Theory of probabilities of random events, quantities and functions with hydrometeorological examples. Book I]. St. Petersburg, Progress-pogoda, 1996, 153 p. (In Russian).
18. Dzhekins G., Vatts D. Spektral’nyi analiz i ego prilozheniya. Vyp. 1. [Spectral analysis and its applications. Iss. 1]. Moscow, Mysl’, 1971, 318 p. (In Russian).
19. Port Indiga planiruetsya vklyuchit’ v proekt Belkomur. [The Indiga port is going to be included in the Belkomur project]. Available at: <http://tass.ru/ekonomika/5076000>. (In Russian).
20. Understanding and adapting to climate change impacts in New South Wales. Available at: <https://climatechange.environment.nsw.gov.au/Climate-projections-for-NSW/About-NARClIM/CMIP3-vs-CMIP5>.
21. Mokhov I. I., Khon V. Ch. Prodolzhitel’nost’ navigatsionnogo perioda i ee izmeneniya dlya Severnogo morskogo puti: model’nye otsenki. [Prodolzhitel’nost’ the navigation period and her change for the Northern Sea Route: model estimates]. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2015, no. 2 (18), pp. 88—95. (In Russian).
22. Mokhov I. I., Khon V. Ch. Otsenki perspektiv Severnogo morskogo puti pri izmeneniyakh klimata na osnove raschetov s ansamblem klimaticheskikh modelei. [Estimates of prospects of the Northern Sea Route at climate changes on the basis of settlements with ensemble of climatic models]. Izmenenie okruzhayushchei sredy i klimata: prirodnye i svyazannye s nimi tekhnogennye katastrofy. Vol. 3. Ch. 2: Prirodnye protsessy v polyarnykh oblastyakh Zemli. IG RAN. Moscow, 2008, pp. 20—27. (In Russian).
23. Khon V. Ch., Mokhov I. I. Klimaticheskie izmeneniya v Arktike i vozmozhnye usloviya arkticheskoi morskoi navigatsii v KhKhI veke. [Climatic changes in the Arctic and possible conditions of the Arctic sea navigation in the XXI century]. Izv. RAN. Fizika atmosfery i okeana, 2010, vol. 46, no. 1, pp. 19—25. (In Russian).

Information about the author

Drozdov Vladimir Vladimirovich, PhD of Geography, Associate Professor, Federal State Unitary Enterprise “Krylov State Research Centre” (44, Moskovskoye Highway, St. Petersburg, Russia, 196158), e-mail: vladidrozdov@yandex.ru.

Bibliographic description of the article

Drozdov V. V. Considering long-term climatic changes in the key zones of social and economic development of the Russian Arctic for the navigation and industrial capacity extension. Arctic: Ecology and Economy, 2019, no. 2(34), pp. 64—79. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-2-64-79.