

УДК 551.509.33+551.585

О совершенствовании макроциркуляционного метода долгосрочного метеорологического прогноза в Карском море

В.В. Иванов, Г.А. Алексеенков, А.Я. Коржиков

*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
г. Санкт-Петербург, Россия
v_ivanov@aari.ru*

Результаты проведенных комплексных исследований явились основой для разработки метода учета длительных тенденций изменений атмосферных процессов в целях совершенствования долгосрочного макроциркуляционного метода прогноза в Карском море с заблаговременностью 1–3 месяца. Результаты испытания прогнозов по данному методу показали сравнительно надежную оправдываемость. Метод характеризуется эффективностью по сравнению с климатическими оценками. Решением ЦМКП от 27 октября 2017 г. метод рекомендован к внедрению в оперативную практику ФГБУ «ААНИИ» в качестве вспомогательного.

Ключевые слова: длительные тенденции, атмосферные процессы, макроциркуляционный метод, экстремальные температуры воздуха, Карское море

On improvement of the macrocirculation method for long-range weather forecasting in the Kara Sea

V.V. Ivanov, G.A. Alekseyenkov, A.Ya. Korzhikov

*Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg, Russia
v_ivanov@aari.ru*

The complex studies allowed obtaining a basis for developing the method of taking into account the long-term trends in atmospheric processes in order to improve the methodology of long-term macrocirculation forecasting for the Kara Sea with the lead time of 1-3 months. The verification of forecasts based on the presented method demonstrated a relatively reliable skill score. The method is efficient as compared with climatic estimates. In accordance with the resolution of the Roshydromet Central Methodological Committee for Hydrometeorological and Heliogeophysical Forecasts (October 27, 2017), the method is recommended for operational usage in the Arctic and Antarctic Research Institute as an auxiliary one.

Keywords: long-term trends, atmospheric processes, macrocirculation method, air temperature extremes, Kara Sea

Введение

В течение нескольких десятилетий (более 70-ти лет) в отделе долгосрочных метеорологических прогнозов ФГБУ «ААНИИ» изучаются закономерности развития атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба в целях разработки различных способов

долгосрочных и сверхдолгосрочных метеорологических прогнозов для полярных областей планеты макроциркуляционным методом. Основы метода были сформулированы в 30-х годах прошлого столетия в трудах основоположника метода Г.Я. Вангенгейма [1].

В практике гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в полярном районе Арктики особое значение приобретает знание гидрометеорологических условий в шельфовой зоне арктических морей и использование их в разработке долгосрочных метеорологических прогнозов различной заблаговременности.

В период 2011–2013 гг. в рамках ЦНТП «Развитие моделей и технологий расчетов и прогнозов характеристик ледяного покрова на акватории арктических морей и Арктического бассейна» проводились комплексные исследования атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба в связи с направленностью их длительных преобразований. *Научной задачей* данного исследования являлось установление закономерностей формирования межгодовой и внутригодовой изменчивости атмосферных процессов в периоды устойчивых потеплений и похолоданий, получение прогностических зависимостей для различных вариантов (разновидностей) перестроек атмосферных процессов, поиск путей их использования для долгосрочного прогнозирования. *Практической задачей* проводимых научных исследований являлась разработка способов учета длительных тенденций изменения атмосферных процессов при составлении и уточнении долгосрочных метеорологических прогнозов, а также создание схемы поэтапного ввода в прогноз закономерностей формирования циркуляционного и термобарического фона, на котором наблюдается развитие процесса в полярном районе, с целью внедрения в оперативную практику методики долгосрочного метеорологического прогноза на период от одного до трех месяцев для акватории Карского моря.

В итоге проведения комплексных исследований были получены результаты, имеющие научное и практическое значение для гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в районе Карского моря.

В соответствии с Планом испытания и внедрения новых и усовершенствованных методов (технологий) гидрометеорологических прогнозов Росгидромета в ААНИИ были проведены оперативные испытания разработанного метода. В качестве независимого ряда при испытании использовались данные с 2014 по 2017 год. Разработанный метод прогноза по итогам испытаний дал положительные результаты и рекомендован ЦМКП Росгидромета к внедрению.

В ФГБУ «ААНИИ» исследования по дальнейшему совершенствованию макроциркуляционного метода долгосрочных прогнозов для полярного района Арктики и его локальных районов продолжаются в направлении распространения предложенного методического подхода для других морей (Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское) трассы Северного морского пути (СМП).

Используемые данные

Информационной основой проведенных исследований и испытания метода долгосрочного прогноза метеорологических условий в Карском море являлись многолетние данные гидрометеорологической информации электронного архива, формируемого в лаборатории долгосрочных метеорологических прогнозов и отделе метеорологической информации ФГБУ «ААНИИ».

Длина рядов метеорологических данных Северного полушария на данный момент составляет более 120 лет. Данные на полярных станциях морей российской Арктики имеют ряды около 80 лет. В исследовании использованы данные метеорологических наблюдений на наиболее репрезентативных полярных станциях, имеющих длительный и непрерывный ряд наблюдений.

При разработке методики прогноза использовалась следующая стандартная и специализированная информация приземных и высотных метеорологических данных:

– данные восьмисрочных наблюдений за приземным давлением и температурой воздуха у поверхности Земли на станциях умеренной зоны Северного полушария и полярного района Арктики, по которым рассчитывались значения данных за различные периоды осреднения;

– данные значений геопотенциала высотной изобарической поверхности 500 гПа;

– данные многолетнего каталога дат устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через ноль градусов на полярных станциях морей российской Арктики;

– данные подстилающей поверхности: различные показатели ледовых условий Северного Ледовитого океана и его морей и температуры воды в районах Северной Атлантики;

– данные многолетних (с 1891 г.) каталогов форм и типов крупномасштабных атмосферных процессов и их разновидностей по классификациям Г.Я. Вангенгейма и А.А. Гирса.

Приземные и высотные метеорологические данные представлены в картированной, табличной, графической формах и на электронных носителях.

Осреднение данных проводилось как по календарным периодам (декада, месяц, сезон, год), так и по однородным периодам с однонаправленным ходом развития атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба, от элементарных синоптических процессов (ЭСП) до эпох циркуляции и их стадий.

Анализ и оценка структурных особенностей в преобразованиях атмосферных процессов в масштабе больших и малых преобразований проводились средствами комплексного аэросиноптического анализа термобарических полей в толще тропосферы с учетом естественных стадий развития и перестроек крупномасштабных процессов в соответствии

с разновидностями на Северном полушарии форм циркуляции (W – западная, E – восточная и C – меридиональная) в первом атлантико-евразийском секторе и типами циркуляции (З – зональный, M₁ и M₂ – меридиональные) во втором тихоокеано-американском секторе полушария [1, 2].

Учет крупномасштабных (фоновых) атмосферных процессов и их перестроек из одной естественной стадии развития в другую способствовал более правильной оценке природы смены режима циркуляции и метеорологических условий в локальном районе Арктики – Карском море.

Основы метода

В макроциркуляционном методе долгосрочных метеорологических прогнозов для полярного района Арктики, основы которого были разработаны в 30-х годах прошлого века Г.Я. Вангенгеймом, лежат физические закономерности развития общей циркуляции атмосферы, а частные связи статистического характера или зависимости установлены по данным ограниченного района.

При анализе и диагнозе крупномасштабных процессов учитываются основные элементы ОЦА: местоположение центра планетарного циркумполярного вихря на изобарической поверхности 500 гПа, географическая ориентация планетарной фронтальной зоны, состояние длинных термобарических волн, развитие стационарных циклонов и антициклонов (центров действия атмосферы), траектории фронтальных циклонов и антициклонов. Данные элементы ОЦА крайне важны при анализе развития и перестройки атмосферных процессов в течение года и оценке метеорологических процессов в отдельных районах Арктики.

Макроциркуляционный метод долгосрочных и сверхдолгосрочных метеорологических прогнозов с начального этапа развивался и совершенствовался на основе максимально возможного, комплексного определения аналогии исходного процесса к процессам предшествующего периода. Его авторы Г.Я. Вангенгейм и А.А. Гирс ввели в диагностику атмосферных процессов понятие гомологичности, т. е. аналогичности диагностируемого процесса с ранее существовавшими не на основе внешнего сходства, а на основе ряда схожих внутренних генетических признаков [2]. Прежде всего это обусловлено требованием изучения процессов в непрерывной цепи их развития, в необходимости учета того термобарического фона, который возникает в процессе более долгопериодных колебаний элементов ОЦА, чем диагностируемый процесс.

Необходимо отметить, что в методе долгосрочных метеорологических прогнозов для полярных районов из отобранных из исторических рядов гомологов используются средние характеристики группы гомологов. При разработке прогноза, осредняя данные группы гомологов, получаем вариант прогноза, в котором учтены различные отклонения, свойственные отдельным гомологам. То есть группа гомологов фиксирует

возможные вариации отдельных лет-гомологов. Поэтому прогноз по групповым характеристикам чаще оказывается ближе к фактическим процессам прогнозируемого периода, чем одного гомолога, даже имеющего наибольшее сходство по предшествующей истории.

Поэтому дальнейшее совершенствование макроциркуляционного метода идет как по линии улучшения критериев самого подбора гомологов при помощи современных ЭВМ, так и по линии накопления материалов синоптического архива, что увеличивает возможность подбора наилучшего гомолога, т. е. возможность решать задачу прогноза по более точным начальным данным. Таким образом, одним из главных условий развития синоптико-статистических методов прогнозов с увеличением рядов наблюдений является наличие и накопление эмпирического материала наблюдений.

Проводимые с 2011 года исследования атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба с целью усовершенствования макроциркуляционного метода прогнозирования для отдельных локальных районов Северной полярной области позволили усовершенствовать (разработать) технологию учета длительных тенденций при разработке долгосрочных метеорологических прогнозов и их уточнений для района Карского моря.

В результате выполненного исследования получены следующие основные результаты.

Пополнен специализированный многолетний архив метеорологических данных и каталоги форм и типов крупномасштабных атмосферных процессов и их разновидностей по классификациям Г.Я. Вангенгейма, А.А. Гирса и Л.А. Дыдиной.

Проведено дальнейшее совершенствование разработанных ранее алгоритмов и комплексов программ обработки исходных метеорологических данных в целях расчета метеорологических полей и выделения естественных синоптических периодов (стадий) с однонаправленными тенденциями развития атмосферных процессов различного временного масштаба, от элементарных синоптических процессов (ЭСП) до эпохи циркуляции [2, 7, 8].

Проведен структурный анализ длительных тенденций в межгодовой изменчивости атмосферных процессов в масштабе циркуляционных эпох и их стадий. Выявлен характер их проявления в смене барикоциркуляционного и температурного режима полярного района Арктики.

Установлено, что каждая циркуляционная стадия процессов (эпохи и их стадии) характеризуется преобладанием той или иной формы циркуляции, что отражается в крупномасштабных перестройках барического и термического поля тропосферы полярного района Арктики.

Выявлены индивидуальные особенности воздухообмена и температурного режима в районе Карского моря в межгодовой и внутритроговой изменчивости.

С учетом полученных результатов исследования уточнены фоновые и сезонные группы однородного развития атмосферных процессов в цепи их преобразований с целью дальнейшего использования при прогнозе.

Особое внимание в исследовании было отведено выявлению в развитии атмосферной циркуляции длительных тенденций в изменении характеристик атмосферы, приводящих к формированию устойчивых периодов потеплений и похолоданий и экстремальных за весь ряд наблюдений аномалий температуры различного знака в Карском море.

Установлено, что перестройки в длительных тенденциях направленности крупномасштабных атмосферных процессов во многом определяют смену адвективно-динамических условий в периоды потеплений и похолоданий в Карском море.

За столетний ряд наблюдений выделяется два периода устойчивых потеплений в Карском море: 30-е гг. прошлого столетия и текущее потепление. В период с 50-х до начала 80-х годов отмечалось устойчивое похолодание. Текущее потепление, начавшееся циркуляционной стадией 1988–1995 гг. и с 2004 г. по настоящее время охватило все месяцы и сезоны года и по фоновым показателям превзошло потепление 30-х годов прошлого столетия. На данной стадии развития крупномасштабных атмосферных процессов в полярном районе Арктики потепление в районе Карского моря близко к максимальному.

За весь ряд наблюдений в Карском море экстремально низкое среднее годовое значение температуры было отмечено в 1958 г., а экстремально высокое – в 2016 году (рис. 1).

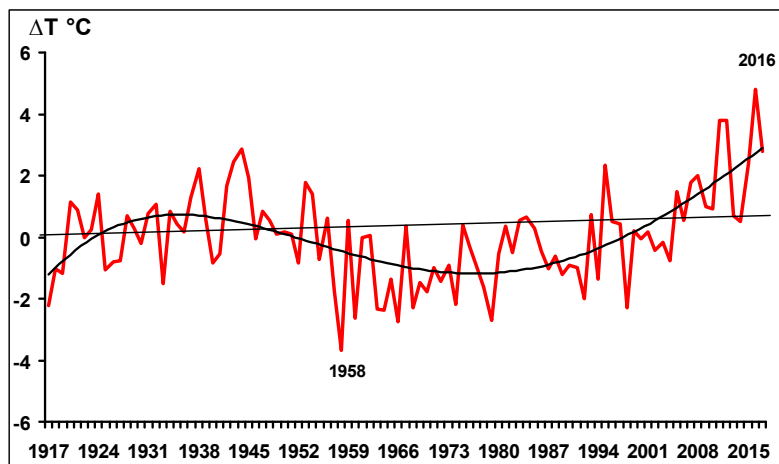


Рис. 1. Средние годовые значения аномалий температуры воздуха (°C) в Карском море за период с 1917 по 2017 г.

Fig. 1. Mean annual values of the air temperature anomalies (°C) in the Kara Sea, 1917-2017.

В результате анализа длительных тенденций преобразования атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба и проявлений их в формировании экстремальных аномалий температуры в районе Карского моря были определены особенности разновидностей в развитии процессов в год формирования экстремальных значений температуры и в периоды, предшествующие их формированию.

Для каждой разновидности рассчитаны карты полей приземного атмосферного давления, температуры воздуха, высотной циркуляции на H500, траекторий основных барических образований (циклонов и антициклонов), направлений воздушных потоков и получен комплекс ряда метеорологических показателей.

Каждая разновидность имеет принципиально значимые отличия в направленности крупномасштабных атмосферных процессов при различных формах атмосферной циркуляции по классификации Г.Я. Вангенгейма (W – западная, E – восточная и C – меридиональная). Каждая разновидность характеризуется определенной формой макропроцесса с преобладающими траекториями циклонов и вариантами адвекции воздушных масс в районе Карского моря.

Циркуляционный механизм возникновения экстремальных значений аномалий температуры в Карском море, показывающий формирование экстремально низких (1958 г.) и экстремально высоких температур (2016 г.), представлен на примере двух стадий.

Так, при формировании экстремально низких температур в 1958 г. характерными являются низкоширотные разновидности форм циркуляции по сравнению с нормой по траекториям циклонов.

Центр циркумполярного вихря на изобарической поверхности 500 гПа по сравнению с нормой смещен из приполюсного района на континентальную часть Азии. Приполюсный район находится под влиянием высотного гребня, под которым в приземном поле формируется обширный стационарный антициклон.

Под влиянием высотного блокирующего гребня над полярным районом высотная фронтальная зона в атлантико-евразийском секторе располагается южнее своего многолетнего положения. Вследствие этого циклоны Северной Атлантики смещаются преимущественно низкоширотными траекториями южнее акваторий Баренцева и Карского морей по континентальной части Евразии. Под их влиянием азиатский антициклон ослаблен, и центр его смещен к югу. Арктический антициклон усилен, и его гребень оказывает частое влияние на район Карского моря. В районе преобладает антициклональный знак поля и положительные аномалии давления (рис. 2).

При такой направленности крупномасштабных процессов в районе Карского моря наибольшую повторяемость имеют воздушные потоки юго-восточных, восточных и северо-восточных направлений, которые формируют устойчивую адвекцию холодных воздушных масс из Арктики

и с континента (зимой) и частое формирование в течение 1958 г. крупных отрицательных аномалий температуры (рис. 1 и 3).

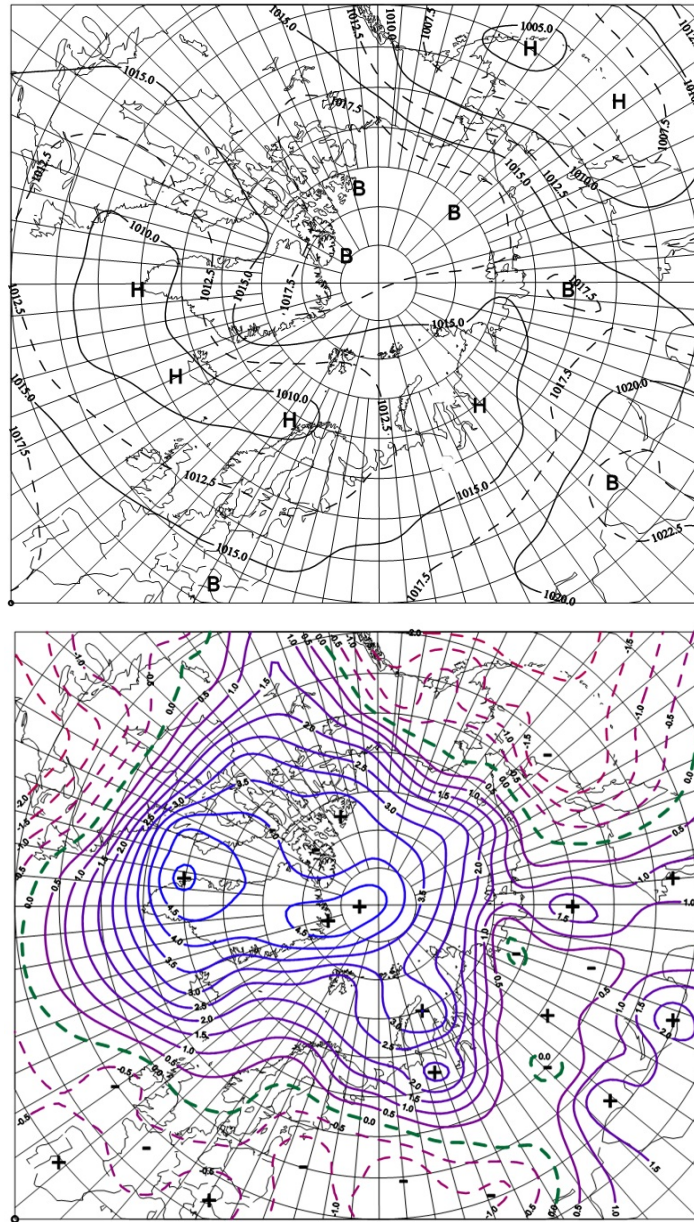


Рис. 2. Поля среднего приземного давления (сверху) и аномалии давления (снизу) (гПа) за период январь – декабрь 1958 г.

Fig. 2. Patterns of the mean sea level pressure (top) and sea level pressure anomalies (below) (hPa), January-December, 1958.

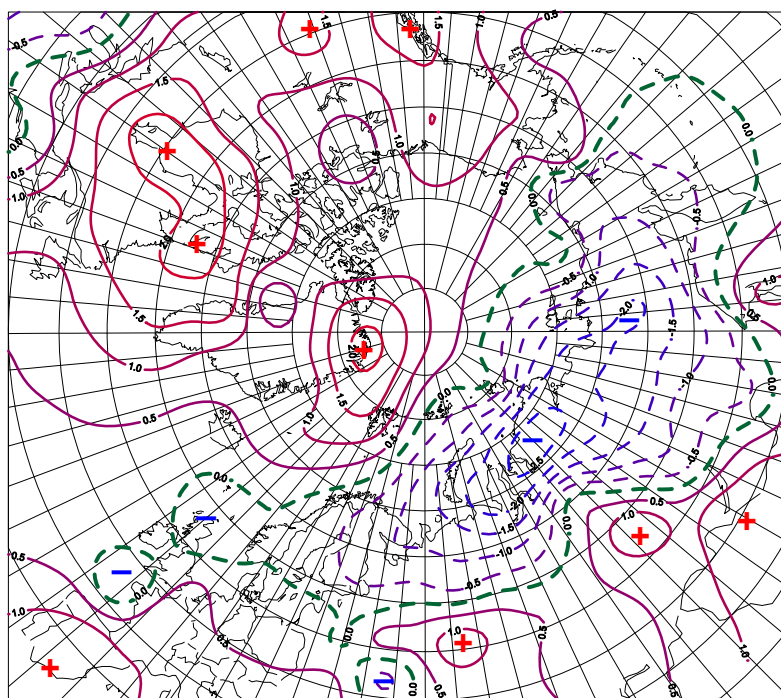


Рис. 3. Поле средней аномалии приземной температуры воздуха (°C) за период январь – декабрь 1958 г.

Fig. 3. Pattern of the air temperature mean anomaly (°C), January-December, 1958.

В предшествующий период перед 1958 г. квазиоднородная стадия с преобладанием процессов с низкоширотными траекториями циклонов в системе исландского минимума началась с 1955 г. В этот период отмечалось преобладание отрицательных аномалий температуры в Карском море и накопленная (интегральная) кривая аномалий температуры имела тенденцию на понижение (рис. 4).

Принципиально другая направленность крупномасштабных атмосферных процессов наблюдалась при формировании экстремально высоких температур в 2016 г. [3]. Для них характерны разновидности процессов с повышенной повторяемостью западной и восточной форм циркуляции с высокоширотными траекториями циклонов в полярном районе.

Центр циркумполярного вихря на изобарической поверхности 500 гПа по сравнению с нормой смещен из приполюсного района в канадско-гренландский сектор Арктики, и под влиянием блокирующих гребней континентального антициклона с центром над Западной Сибирью высотная фронтальная зона в атлантико-евразийском секторе располагается севернее своего многолетнего положения. Вследствие этого в приземном

поле циклоны Северной Атлантики смещаются преимущественно высокоширотными траекториями севернее акваторий Баренцева и Карского морей в полярный район Арктики. Под их влиянием арктический антициклон ослаблен и в центральном полярном районе преобладают отрицательные аномалии давления (рис. 5).

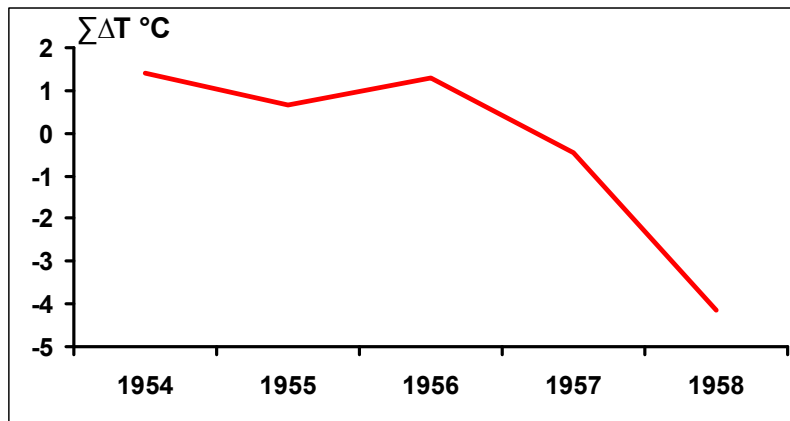


Рис. 4. Интегральная кривая средних годовых значений аномалий температуры в стадии формирования экстремально низких температур в 1958 г. в Карском море.

Fig. 4. Integral curve of the mean annual air temperature anomalies at the stages of forming the extreme low temperatures in the Kara Sea in 1958.

При такой направленности крупномасштабных процессов в районе Карского моря наибольшую повторяемость имеют воздушные потоки западных, юго-западных и южных направлений, в которых отмечается устойчивая адвекция теплых воздушных масс и формирование в течение 2016 г. крупных положительных аномалий температуры (рис. 1 и 6).

В предшествующий период перед экстремально теплым 2016 г. квазиоднородная стадия с преобладанием процессов с высокоширотными траекториями циклонов в системе Исландского минимума началась с 2011 г. В этот период отмечалось преобладание устойчивых положительных аномалий температуры в Карском море, и интегральная кривая аномалий температуры имела тенденцию на повышение (рис. 7).

Таким образом, можно предположить, что возникновение экстремальной аномалии температуры воздуха не происходит вдруг, а подготавливается в течение определенного времени при однонаправленном развитии атмосферных процессов определенной формы циркуляции. Длительные тенденции в направленности крупномасштабных атмосферных процессов способствуют формированию устойчивого во времени температурного фона определенного знака, на котором и возможно возникновение экстремальных температур.

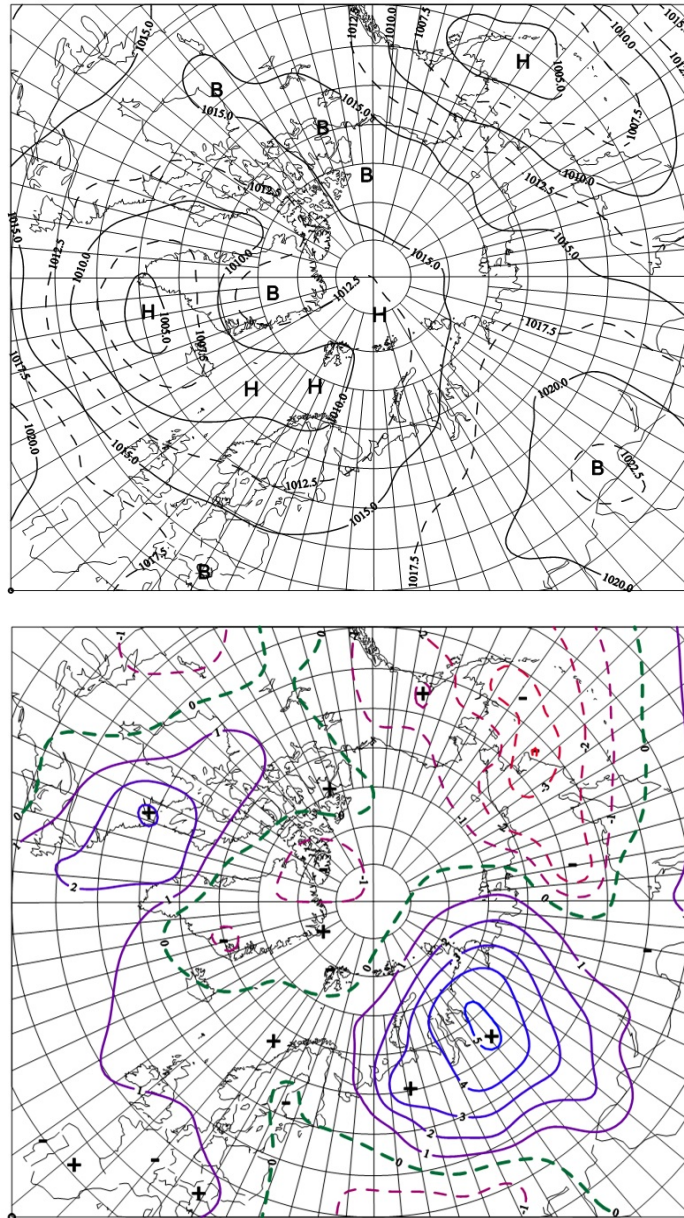


Рис. 5. Поля среднего приземного давления (сверху) и аномалии давления (снизу) (гПа) за период январь – декабрь 2016 г.
Fig. 5. Patterns of the mean sea level pressure (top) and sea level pressure anomalies (below) (hPa), January-December, 2016.

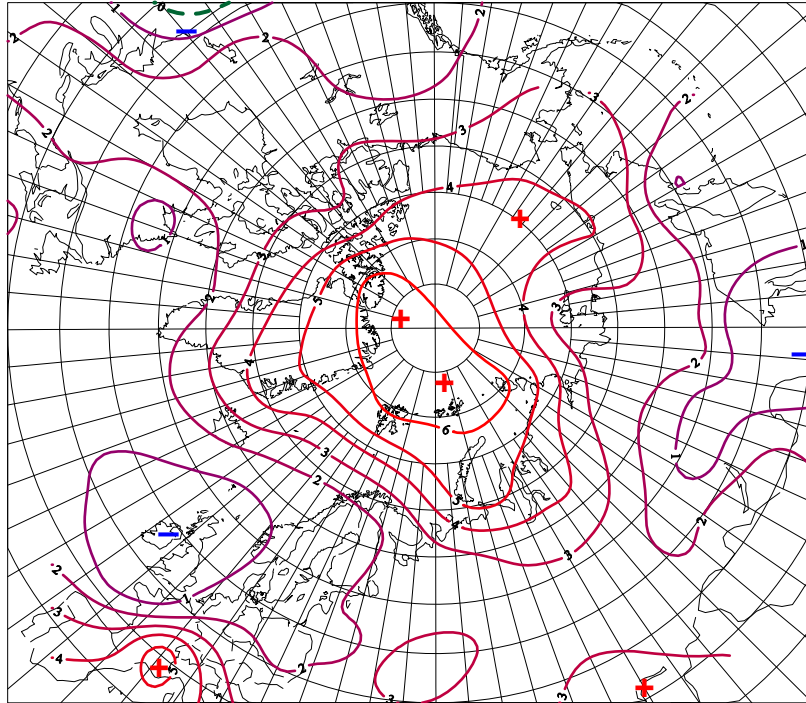


Рис. 6. Поле средней аномалии приземной температуры воздуха (°C) за период январь – декабрь 2016 г.

Fig. 6. Pattern of the air temperature mean anomaly (°C), January-December, 2016.

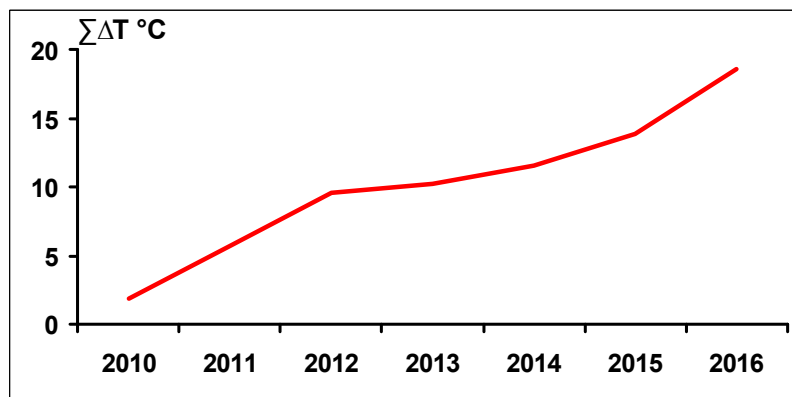


Рис. 7. Интегральная кривая средних годовых значений аномалий температуры в стадии формирования экстремально высоких температур в 2016 г. в Карском море.

Fig. 7. Integral curve of the mean annual air temperature anomalies at the stages of forming the extreme high temperatures in the Kara Sea in 2016.

Полученные в рамках выполнения темы НИОКР результаты исследований использовались в научной и оперативной деятельности для анализа, диагноза и оценки исходных текущих атмосферных процессов, определения границ естественных стадий различного временного масштаба, для выяснения природы образования различных аномалий погоды как глобального, так и регионального масштаба.

Результаты исследований были включены в основную технологическую схему разработки фонового долгосрочного прогноза и его сезонных уточнений для полярного района Арктики с детализацией прогнозов для района Карского моря с заблаговременностью 1–3 месяца.

Технология поэтапного составления прогнозов с различной заблаговременностью имеет системный подход и включает сбор и анализ исходных данных; оценку и диагноз текущих и предшествующих атмосферных процессов; прогноз тенденции развития атмосферных процессов; прогноз синоптического положения; расчет ряда метеорологических параметров для Карского моря.

Многолетний архив специализированных данных в виде средних карт и графиков, фиксирующих длительные тенденции изменения атмосферных процессов, фоновые характеристики термобарических полей для различных стадий развития атмосферных процессов, используется для более качественного подбора из исторических рядов лет-гомологов, для выбора действующих фоновой и сезонной групп, для выбора наиболее вероятного варианта объединения гомологов в прогнозируемых месяцах при разработке метеорологических прогнозов с различной заблаговременностью макроциркуляционным методом, апробированным в ААНИИ в многолетней практике научно-оперативного обеспечения на трассе СМП.

Результаты опытных и производственных испытаний метода

Испытания метода проводились в лаборатории долгосрочных метеорологических прогнозов отдела ледового режима и прогнозов ААНИИ в оперативном режиме в период с сентября 2013 по август 2017 г. Опытные прогнозы составлялись и оценивались по станциям Карского моря.

Прогнозы использовались при составлении ледовых и гидрологических прогнозов в отделах ледового режима и прогнозов, гидрологии устьев рек и водных ресурсов и Центре ледовой гидрометеорологической информации ААНИИ.

Всего за период испытаний для Карского моря было составлено 87 прогнозов с заблаговременностью от 1 до 3 месяцев.

Содержание и форма прогнозов определены требованиями практики, сформированными в процессе гидрометеорологического обеспечения мореплавания по Северному морскому пути и работ на шельфе морей российской Арктики. Прогнозы с заблаговременностью до 3 месяцев включали карты распределения среднего месячного давления, аномалий

давления и температуры воздуха, а также карты направления основных воздушных потоков и их отклонений от нормы на каждый месяц.

В рамках уточнения прогнозов каждый месяц проводился анализ текущих атмосферных процессов и составлялись прогнозы значений аномалий температуры с заблаговременностью до 1 месяца.

Оценка оправдываемости прогнозов производилась путем непосредственного сопоставления предсказанных и фактических значений элементов.

Основные требования составления долгосрочных прогнозов различной заблаговременности и оценка их оправдываемости соответствуют Руководствам и Наставлениям, опубликованным и утвержденным руководством Росгидромета [4–7].

Прогноз аномалии по знаку получал положительную оценку, если аномалии прогностических и фактических значений температуры совпали.

Прогноз по величине получал положительную оценку, если ошибка была равна или менее допустимой погрешности. За допустимую погрешность прогноза принималась величина $0,67\sigma_n$, где σ_n – среднеквадратическое (природное) отклонение температуры воздуха, рассчитанное для всего ряда наблюдений.

Средние оценки оправдываемости прогнозов *давления и направления воздушных потоков* с различной заблаговременностью для Карского моря приводятся в табл. 1.

Таблица 1. Оправдываемость (%) долгосрочных метеорологических прогнозов давления и направления воздушных потоков с различной заблаговременностью

Table 1. Skill score of the long-term meteorological forecasts of the atmospheric pressure and atmospheric circulation direction with various advance periods (%)

Заблаговременность прогноза	Оправдываемость, %		
	Поле давления	Знак аномалии давления	Направление воздушных потоков
До трех месяцев	78	72	74
До одного месяца	84	79	81

Для Арктики прогнозы температуры различной заблаговременности имеют наибольшее значение, так как в значительной мере определяют интенсивность нарастания или разрушения ледяного покрова, влияющего на эксплуатацию технических средств на акватории моря.

Средние оценки оправдываемости прогнозов температуры с различной заблаговременностью для Карского моря приводятся в табл. 2 и 3.

Данные таблиц показывают, что оправдываемость прогнозов давления и температуры с различной заблаговременностью успешны.

Оправдываемость прогнозов по знаку аномалии для давления составила от 71 до 83 %, а для температуры – от 72 до 89 %. Оправдываемость прогнозов по величине для температуры при допустимой погрешности $0,67\sigma$ составила от 67 до 77 %. Эффективность прогнозов по величине аномалий температуры по отношению к климатическим прогнозам с допустимой погрешностью по отдельным месяцам колебалась в пределах от 9 до 20 %.

Таблица 2. Средние оценки качества прогнозов температуры воздуха для районов Карского моря (%)
Table 2. Average estimates of the air temperature forecasts quality in the regions of the Kara Sea (%)

Оценка качества прогнозов	Заблаговременность	
	до трех месяцев	до одного месяца
Оправдываемость по знаку	78	83
Оправдываемость по величине	68	72
Природная обеспеченность	56	56
Эффективность	12	16

Таблица 3. Средние оценки качества прогнозов температуры воздуха по внутригодовым периодам (%)
Table 3. Average estimates of the air temperature forecasts quality for the intra-annual periods (%)

Заблаговременность прогноза	Внутригодовые периоды		
	сентябрь – февраль	март – май	июнь – август
Оправдываемость по знаку	76	82	88
Оправдываемость по величине	67	70	76
Природная обеспеченность	52	54	62
Эффективность	15	16	14

К погрешностям прогнозов необходимо отнести те случаи, когда происходила резкая перестройка атмосферных процессов. При этом в ряде случаев ожидаемые границы смены процессов от одной формы циркуляции к другой, по сравнению с фактическими данными, были несколько смещены во времени, что во многом сказалось на конечной оценке оправдываемости прогнозов.

Следует также отметить, что оправдываемость прогнозов зависит от качества исходной информации. В связи с резким ухудшением в 90-х гг. прошлого столетия надежности данных метеорологической сети полярных станций на трассе СМП, закрытием ряда наиболее репрезентативных

станций (особенно на островах), станций аэрологического зондирования понизилась надежность анализа и диагноза начальных условий циркуляции атмосферы и погоды в локальных районах Арктики. Это приводит к уменьшению оправдываемости прогнозов, особенно при увеличении их заблаговременности. В складывающейся ситуации особенно ценно применение макроциркуляционного метода долгосрочного прогнозирования погоды в Арктике. Метод позволяет рассматривать процессы в локальном районе в связи с крупномасштабными изменениями циркуляции на территории Северной полярной области. В частности, определенный вклад в оправдываемость прогнозов фона давления и температуры вносит использование результатов, которые были получены в данном исследовании.

Следует отметить, что в период испытания в 2016 г. были отмечены периоды возникновения крупных и экстремальных за весь ряд наблюдений положительных значений аномалии температуры, которые на данном этапе развития долгосрочных методов прогнозов различной заблаговременности не позволяют надежно их предсказывать.

Более надежные прогнозы знака аномалий во многом обусловлены учетом устойчивой длительной тенденции повышения температурного фона полярной области Арктики и ее локальных районов. В последние десятилетия отмечалось преобладание во всех сезонах высоких значений положительных аномалий температуры воздуха в Арктике.

Результаты прогнозов с учетом тенденций изменения в направленности процессов и формировании фона на соответствующей стадии развития атмосферных процессов показали сравнительно высокую оправдываемость для районов Карского моря. Методика характеризуется эффективностью по сравнению с климатическими оценками.

На основе вышеприведенных результатов испытаний Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета на заседании от 27 октября 2017 г. приняла решение внедрить метод в оперативную практику ФГБУ «ААНИИ» в качестве вспомогательного к основному макроциркуляционному методу долгосрочного метеорологического прогноза для полярной области Арктики

Список литературы

1. Вангенгейм Г.Я. Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики // Труды ААНИИ. 1952. Т. 34. 314 с.
2. Гирс А.А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 485 с.
3. Иванов В.В., Алексеенков Г.А. Мониторинг крупномасштабных атмосферных процессов в полярном районе Северного полушария за период январь-декабрь 2016 // Обзор гидрометеорологических процессов в Северной полярной области – 2016 год. СПб.: ААНИИ, 2017. С. 4-21.
4. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Часть III М.: Гидрометеиздат, 1982. 143 с.

5. Руководство по месячным прогнозам погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 365 с.
6. Руководство по формулировке и оценке оправдываемости долгосрочных прогнозов погоды малой и большой заблаговременности для Арктики. Л.: Морской транспорт, 1981. 56 с.
7. *Ivanov V.V., Vinogradov N.D.* Meteorological forecasts. *INSROP Working Paper* No. 10-1995. 1.6.1: Operational Tools. Norway. P. 7-23 (Принципы макроциркуляционного метода, исходная информация, основные этапы разработки ДМП различной заблаговременности, расчет оправдываемости прогнозов, форма представления).
8. *Ivanov V.V., Vinogradov N.D.* Meteorological forecasts. *INSROP Working Paper* No. 36-1996. 1.6.1: Operational Tools. Norway. P. 7-20 (Естественные стадии развития процессов – ЭСП, ОЦП, ОБП, стадии эпох, эпохи циркуляции; длительные тенденции, фоновые характеристики и их учет при разработке ДМП).

References

1. *Vangengeym G.Ya.* Osnovy makrotsirkulyatsionnogo metoda dolgosrochnykh meteorologicheskikh prognozov dlya Arktiki. *Trudy AANII*, 1952, vol. 34, 314 p. [in Russ.].
2. *Girs A.A.* Makrotsirkulyatsionnyy metod dolgosrochnykh meteorologicheskikh prognozov. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1974, 485 p. [in Russ.].
3. *Ivanov V.V., Alexeenkov G.A.* Monitoring krupnomasshtabnykh atmosferynykh protsessov v polyarnom rayone Severnogo polushariya za period yanvar'-dekabr' 2016. *Obzor gidrometeorologicheskikh protsessov v Severnoy polyarnoy oblasti – 2016 god.* Saint-Petersburg, AANII, 2017, pp. 4-21. [in Russ.].
4. *Nastavlenie po sluzhbe prognozov. Razdel 3. Chast' III.* Moscow: Gidrometeoizdat publ., 1982, 143 p. [in Russ.].
5. *Rukovodstvo po mesyachnym prognozam pogody.* Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1972, 365 p. [in Russ.].
6. *Rukovodstvo po formulirovke i otsenke opravdyvaemosti dolgosrochnykh prognozov pogody maloy i bol'shoy zablagovremennosti dlya Arktiki.* Leningrad, Morskoy transport publ., 1981, 56 p. [in Russ.].
7. *Ivanov V.V., Vinogradov N.D.* Meteorological forecasts. *INSROP Working Paper*, 1995, no. 10, Project 1.6.1: Operational Tools, Norway, pp. 7-23
8. *Ivanov V.V., Vinogradov N.D.* Meteorological forecasts. *INSROP Working Paper*, 1996, no. 36, Project 1.6.1: Operational Tools. Norway, pp. 7-20.

Поступила в редакцию 09.07.2018 г.

Received by the editor 09.07.2018.