

**МЕТОД ДОЛГОСРОЧНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ
И ИХ УТОЧНЕНИЙ С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ
ОТ ОДНОГО ДО ТРЕХ МЕСЯЦЕВ ПО АКВАТОРИИ МОРЕЙ
РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ**

*Арктический и антарктический научно-исследовательский
институт, г. Санкт-Петербург*

Введение

В ФГБУ «АНИИ» разработан и в течение нескольких десятилетий совершенствуется макроциркуляционный метод анализа, диагностики и оценки атмосферных процессов и долгосрочных метеорологических прогнозов с различной заблаговременностью для полярных районов Земли [1, 3, 5, 12].

В связи с интенсивной разработкой нефтегазовых месторождений в полярном районе Арктики особое значение приобретает знание гидрометеорологических условий в локальных районах арктических морей с целью разработки долгосрочных метеорологических прогнозов различной заблаговременности, важных для практики гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности и планирования судоходства на трассе СМП.

С целью дальнейшего усовершенствования долгосрочного прогнозирования в период 2014–2016 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 исследования являлось установление закономерностей формирования межгодовой и внутригодовой изменчивости атмосферных процессов в периоды устойчивых потеплений и похолоданий в полярном районе Арктики, получение прогностических зависимостей для различных вариантов (разновидностей) перестроек атмосферных процессов, поиск путей их использования для долгосрочного прогнозирования.

Практические задачи проводимых научных исследований:

- разработка способов учета длительных тенденций изменения атмосферных процессов при составлении и уточнении долгосрочных метеорологических прогнозов;
- совершенствование схемы поэтапного ввода в прогноз закономерностей формирования циркуляционного и термобарического фона, на котором наблюдается развитие процесса в полярном районе;
- внедрение в оперативную практику методики долгосрочного метеорологического прогноза с заблаговременностью от одного до трех месяцев для трассовой части морей российской Арктики.

В итоге проведения комплексного исследования были получены результаты, которые имеют научное и практическое значение и которые явились основой для усовершенствования макроциркуляционного метода долгосрочного прогнозирования с заблаговременностью от одного до трех месяцев сезонных уточнений фонового прогноза для акватории морей российской Арктики.

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 2017 по 2018 год. Разработанный метод прогноза по итогам испытаний дал положительные результаты и рекомендован ЦМКП Росгидромета к внедрению.

- 80 -

Информационные ресурсы

В лаборатории долгосрочных метеорологических прогнозов и отделе метеорологической информации ФГБУ «ААНИИ» разработан и функционирует в оперативном режиме программно-аппаратный комплекс по сбору, обработке, систематизации и представлению метеорологической, гидрологической и ледовой информации для научно-оперативного обеспечения работ в районе Арктики.

Информационной основой проведенных исследований и испытания метода долгосрочного прогноза метеорологических условий в Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское морях являлись данные метеорологических наблюдений на наиболее репрезентативных полярных станциях, имеющих длительный и непрерывный ряд наблюдений.

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

– базы данных стандартных восьмисрочных приземных наблюдений атмосферного давления, температуры воздуха, направления и скорости ветра по сети станций ВМО Северного полушария (с 1891 г., Арктики – с 1935 г.);

– 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 различных показателей подстилающей поверхности Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана, его морей (температуры воды, ледовитости, количества старых льдов, толщин льда в периоды интенсивного осенне-зимнего охлаждения моря и разрушения льда в теплый период года).

В результате исследования были созданы и пополнены специализированные архивы:

– данные многолетних (с 1891 г.) каталогов форм циркуляции (W, E, C) и типов (З, M₁, M₂) крупномасштабных атмосферных процессов и их разновидностей на Северном полушарии по классификациям Г.Я. Вангенгейма и А.А. Гирса;

– архивы средних карт и графиков, которые фиксируют длительные тенденции изменения атмосферных процессов и фоновые характеристики термобарических полей для различных стадий развития атмосферных процессов.

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 атлантико-евразийском секторе и типами циркуляции (З – зональный, M₁ и M₂ – меридиональные) в тихоокеано-американском секторе полушария [1, 2].

Осреднение данных проводилось как по календарным периодам – декада, месяц, сезон, год, так и по естественным стадиям развития процессов – элементарные синоптические процессы (ЭСП), однородные циркуляционные периоды (ОЦП), однородные внутригодовые периоды (ОВП), стадии эпох и эпох циркуляции.

Стандартные и специализированные приземные и высотные метеорологические данные за различные периоды осреднения представлены в картированной, табличной, графической формах и, в том числе, на электронных носителях.

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 локальных районах Арктики.

Основы метода

В основу совершенствования метода долгосрочного метеорологического прогноза для трассы СМП легли следующие результаты исследования изменчивости циркуляции атмосферы различного пространственно-временного масштаба и связи этих процессов со сменой температурного режима полярного района и морей российской Арктики:

- усовершенствован алгоритм и комплекс программ обработки исходных метеорологических данных и расчета метеорологических полей, создан специализированный многолетний архив метеорологических данных;

- усовершенствованы критерии выделения естественных стадий развития и перестроек атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба. Рассчитаны диагностические карты приземного давления, температуры, H500 и их аномалий для различных типов синоптических процессов и их разновидностей;

- по полученному комплексу гидрометеорологических и геофизических показателей были установлены границы естественных стадий развития и перестроек атмосферных процессов и оформлен многолетний каталог;

- проведен анализ межгодовой и сезонной изменчивости атмосферных процессов и выявлен характер их проявления в смене барико-циркуляционного и температурного режима в полярном районе;

- выявлены длительные тенденции в колебании давления и температуры в полярном районе Арктики и установлена их связь с перестройкой крупномасштабных атмосферных процессов – эпох циркуляции и их стадий;

- установлены периоды потепления и похолодания полярного района Арктики с 1891 по 2018 г. и особенности атмосферных процессов в этих периодах;

- выявлен характер проявления периодов потепления и похолодания полярного района в отдельных морях российской Арктики: Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского;

- установлены экстремальные стадии с устойчивым однонаправленным развитием процессов, приводящих к формированию экстремально высоких и экстремально низких аномалий температуры воздуха;

- выявлены барико-циркуляционные и адвективно-динамические особенности формирования температурного режима в прибрежных районах морей Арктики и связанные с ними сроки устойчивого перехода температуры через ноль градусов;

- определены особенности развития крупномасштабных атмосферных процессов за периоды, предшествующие формированию определенных типов атмосферной циркуляции в Арктике, которые приводят к аномалии температуры определенного знака;

– выявлены индивидуальные особенности воздухообмена и температурного режима в различных сезонах года на трассе СМП российской Арктики;

– определены особенности развития процессов за периоды, предшествующие формированию определенных типов атмосферной циркуляции в Арктике, приводящих к различным температурным условиям;

– усовершенствованы фоновые и сезонные группы однородного развития атмосферных процессов, их сезонные преобразования для прогноза с заблаговременностью от одного до трех месяцев для трассы СМП.

Результаты проведенного комплексного исследования имеют большое значение для практики гидрометеорологического обеспечения долгосрочными прогнозами для трассы СМП российской Арктики.

Полученные на данном этапе исследования результаты позволили более точно диагностировать текущие атмосферные процессы, для определения тенденций развития атмосферных процессов отбирать гомологи из исторических рядов и использовать их в основной технологической схеме поэтапного составления фонового прогноза и его сезонных уточнений с заблаговременностью от 1 до 3 месяцев для трассовой части морей российской Арктики.

Технология разработки долгосрочного прогноза для трассовой части морей российской Арктики

Следует отметить, макроциркуляционный метод 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, то есть аналогичности диагностируемого процесса с ранее существовавшими не на основе внешнего сходства, а исходя из ряда схожих внутренних генетических признаков [3, 12]. Прежде всего, это обуславливалось 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.

Алгоритм подготовки долгосрочного прогноза включает:

– анализ и диагноз текущих крупномасштабных атмосферных процессов, определение форм и типов циркуляции;

– экспертную оценку расчленения непрерывных процессов по естественным стадиям различного пространственно-временного масштаба;

- выбор из исторического архива лет-гомологов для прогноза;
- прогноз синоптического положения в виде карт расчетных метеорологических полей;
- расчетные данные метеорологических параметров в текстовой, табличной, графической, картированной формах и в виде электронных карт.

Основные этапы разработки долгосрочного прогноза:

- выявление особенностей макропреобразований в диагностируемых циркуляционных стадиях (эпохе, межгодовой и внутригодовой стадии этой эпохи) с целью определения места этих преобразований в непрерывной цепи развития основных состояний ОЦА и нахождения признаков последующего их состояния;
- анализ циркуляционного и метеорологического фона текущего макропреобразования;
- определение естественных границ смены межгодовых и внутригодовых стадий циркуляционных эпох;
- выбор «действующих» фоновой и сезонной групп;
- выбор по интегральному ходу различных гидрометеорологических элементов группы гомологов из исторического ряда к текущему периоду макропроцессов;
- выбор гомологов с учетом состояния ледовых условий в морях российской Арктики (ледовитости на отдельных участках трассы СМП и тенденций изменений толщин льда);
- выбор основного варианта лет-гомологов;
- определение характера структурных связей в макропроцессах наиболее вероятной группы гомологов и использование их в целях прогноза на предстоящие прогнозируемые месяцы.

Известно, что в своем развитии каждый процесс проходит три качественно различных состояния ОЦА – прогресса, регенерации и регресса. Четкое определение характера одного из этих состояний, в котором находится текущий макропроцесс, имеет существенное прогностическое значение для более определенного подбора гомологов из исторических рядов.

Каждая из стадий однонаправленного развития процессов формирует определенный термобарический фон. Так, циркуляционный и метеорологический фон эпохи и ее стадий во многом определяет соответствующий среднегодовой и внутригодовой фон всех лет, входящих в эти эпохи и стадии [3, 13].

Каждая циркуляционная стадия характеризуется комплексом гидрометеорологических элементов определенной величины и знака. Учет смены знака или определенных пороговых значений в величине этих элементов в ходе длительных тенденций их формирования может указывать на смену этих циркуляционных стадий.

Поэтому одним из основных этапов учета длительных тенденций в прогнозе является их учет через фоновые и сезонные группы однородного развития макропроцессов. Предпосылкой к этому служит то, что большинство лет каждой такой группы, как правило, относится либо к определенной циркуляционной эпохе, либо к определенной ее стадии. В каждой группе однородных цепей развития атмосферных процессов любая стадия или несколько из них могут быть приняты как исходные к текущему процессу, а остальные последующие стадии могут рассматриваться как прогностические тенденции. Учет этих тенденций при составлении долгосрочных прогнозов является определяющим для выбора основного варианта лет-гомологов для составления прогноза.

Метод позволяет предсказывать знак аномалии температуры воздуха с заблаговременностью до 3 месяцев, с заблаговременностью до 30 суток прогнозировать с определенной достоверностью преобладающие значения температур для локальных участков трассы СМП.

При разработке оперативных ДМП различной заблаговременности для потребителей в ААНИИ используются результаты глобальных и мезомасштабных численных моделей.

В зависимости от состояния синоптических процессов, объекта обеспечения, предсказываемого метеорологического элемента, сезона и своего личного опыта специалист (эксперт) склоняется к выбору и учету той или иной прогностической модели.

- 85 -

Метеорологические и ледовые особенности на трассе СМП морей российской Арктики в период испытания метода

Результаты постоянного мониторинга [2, 7] крупномасштабных атмосферных процессов и гидрометеорологических условий в Северной полярной области показали, что кардинальная перестройка в направленности крупномасштабных атмосферных процессов началась с 70-х годов прошлого столетия. Отрицательный тренд западной формы сменился на положительный, а восточной формы – на отрицательный. Меридиональные процессы в среднем за период с 70-х гг. по 2018 год не превышали норму (рис. 1).

В ряде работ [2, 4, 6, 8] показано, что перестройка процессов в 70-х годах согласуется со сменой знака в длительных тенденциях многих показателей атмосферы и гидросферы (колебаний уровня озер Каспийского, Байкала, осадков, стока рек, продолжительности безморозного периода, ледовых условий Арктики и др.). Длительные тенденции в перестройке крупномасштабных атмосферных процессов отразились и в смене метеорологического и гидрологического режима морей российской Арктики.

В период 70-х годов отмечалась смена на противоположные тенденции трендов в изменении температуры и площади ледяного покрова морей (рис. 2).

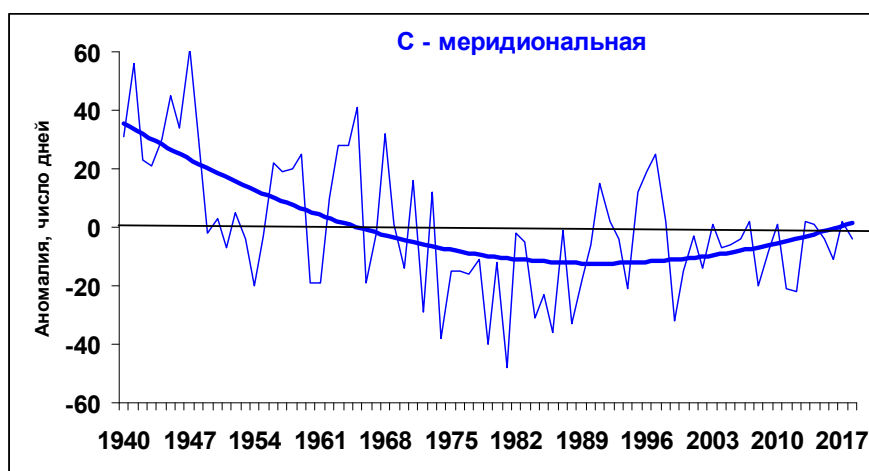
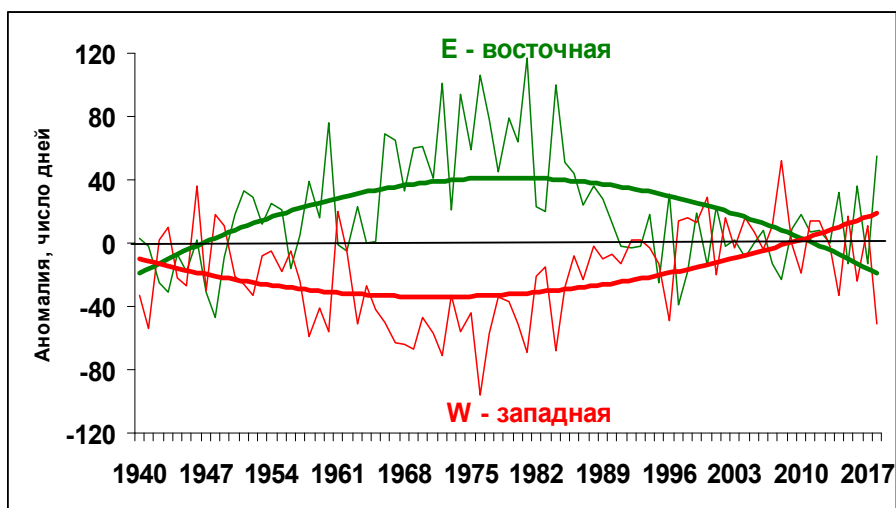


Рис. 1. Многолетние изменения среднегодовых значений аномалий числа дней с западной, восточной и меридиональной формами циркуляции по классификации Г.Я. Вангенгейма с 1940 по 2018 г.

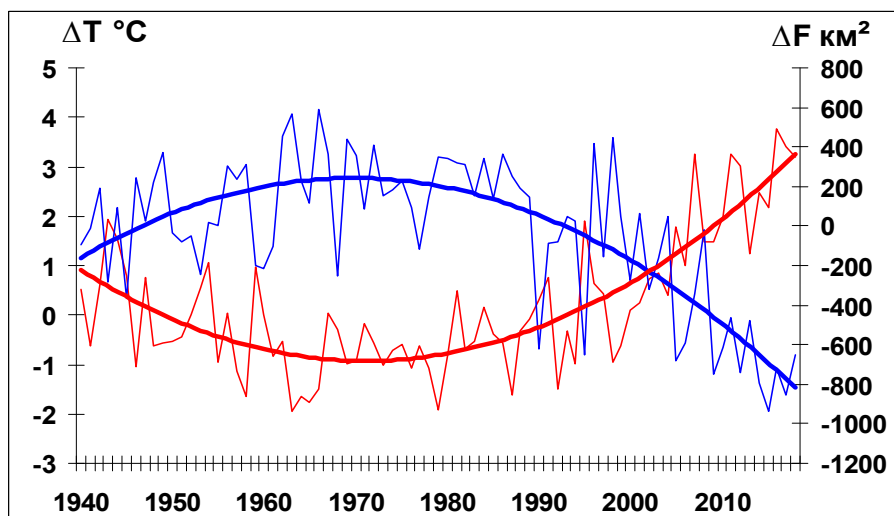


Рис. 2. Средние годовые значения аномалий температуры ($^{\circ}\text{C}$) и аномалий площади ледяного покрова морей российской Арктики в августе за период 1940–2018 гг.

Среднее годовое значение аномалии температуры для полярного района Арктики и для акватории морей российской Арктики в 2016 г. оказались экстремально высокими. В 2017 и 2018 гг. аномально высокий температурный фон с положительными аномалиями температуры в Северной полярной области, характерный для текущей циркуляционной эпохи (1996–2018 гг.) с преобладанием разновидностей западной формы циркуляции с высокоширотными траекториями, смещением циклонов в полярный район Арктики, сохранился. При этом в 2017 и 2018 гг. произошло понижение температурного фона.

Температурный режим играет важную роль в формировании ледовых условий, так как является интегрирующим фактором природно-климатических особенностей, в полярном районе как в целом, так и в локальных его регионах.

Тенденции изменений среднего температурного фона морей нашли свое отражение в показателях средней ледовитости морей российской Арктики.

До 70-х годов фон ледовитости повышался. В дальнейшем с начала текущей циркуляционной эпохи (1996–2018 гг.) фон ледовитости на трассе СМП имел устойчивую тенденцию к понижению до исторического минимума. В период 2017–2018 гг. вслед за понижением температурного фона наблюдается незначительное повышение средней ледовитости морей (рис. 3).

Следует отметить, что для отдельных локальных районов морей отмеченная тенденция к понижению температурного фона в 2017 и 2018 гг. на трассовой части морей Арктики наиболее четко проявилась в западном секторе полярного района Арктики, и в частности над акваторией Карского моря.

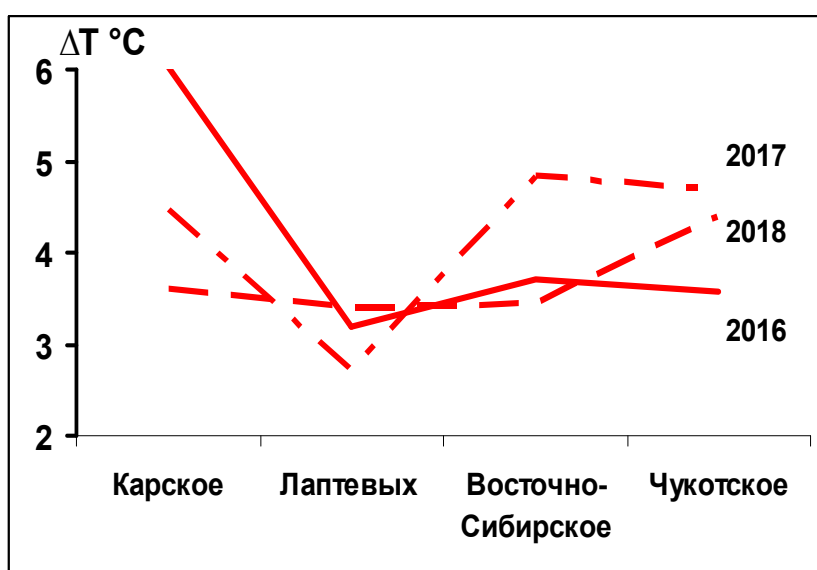


Рис. 3. Средние годовые значений аномалии температуры воздуха (°C) для трассовой части морей российской Арктики в 2016, 2017 и 2018 гг.

В тоже время в восточном секторе Арктики и на восточном участке трассы СМП в Чукотском и Восточно-Сибирском морях отмечалась противоположная тенденция к повышению температурного фона по сравнению с 2016 годом (рис. 3).

В Чукотском море часто отмечались наиболее крупные положительные аномалии температуры воздуха, что было связано с

- увеличением в тихоокеано-американском секторе Северного полушария повторяемости меридиональных процессов типа M_1 по классификации А.А. Гирса;
- активизацией циклонической деятельности в системе алеутского минимума и смещением циклонов по высокоширотным траекториям в полярный район;
- усилением адвекции теплых воздушных масс с Тихого океана в восточный сектор полярного района [7].

Противоположные тенденции изменений температуры на различных участках трассы СМП указывают на характер различных проявлений перестроек в направленности крупномасштабных атмосферных процессов в отдельных локальных районах Арктики. Учет таких особенностей имеет большое значение для совершенствования долгосрочных метеорологических прогнозов на трассе СМП и требует дальнейших комплексных метеорологических и гидрологических исследований.

Результаты испытаний метода

Испытания метода проводились в лаборатории долгосрочных метеорологических прогнозов отдела ледового режима и прогнозов ФГБУ «ААНИИ» в оперативном режиме в период с января 2017 г. по декабрь 2018 г. Прогнозы составлялись и оценивались по данным станций на трассе СМП.

Прогнозы и их сезонные уточнения докладывались на прогностических совещаниях и 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 участков трассы СМП морей российской Арктики было составлено 96 прогнозов с заблаговременностью от 1 до 3 месяцев.

Содержание и форма прогнозов определены требованиями практики в процессе гидрометеорологического обеспечения мореплавания по Северному морскому пути и работ на шельфе морей российской Арктики [11]. Прогноз с заблаговременностью до 3 месяцев на каждый месяц состоял из карт распределения среднего месячного давления, аномалий

давления и температуры воздуха, карты направления основных воздушных потоков и их отклонений от нормы.

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

Основные требования составления долгосрочных прогнозов различной заблаговременности и оценка их оправдываемости соответствуют опубликованным и утвержденным руководствам Росгидромета [9, 10] и Наставлению [11].

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 морей.

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

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.

Оценка оправдываемости прогнозов производилась путем непосредственного сопоставления предсказанных и фактических значений элементов (рис. 4).

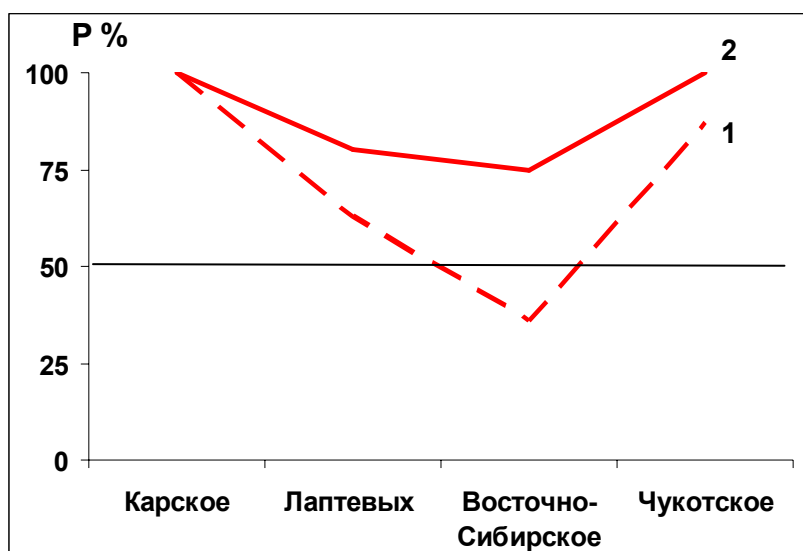


Рис. 4. Прогнозируемый (1) и фактический (2) фон значений повторяемости (%) положительного знака аномалии температуры воздуха для трассовой части морей российской Арктики за период 2017–2018 гг.

В период испытаний 2017 и 2018 гг. по гомологам фонового прогноза его уточнений ожидалась наиболее высокая повторяемость положительных аномалий температуры в Чукотском и Карском морях, а наиболее низкая – в Восточно-Сибирском и Лаптевых морях. Фактические данные показывают, что годовой фон температуры с наиболее крупными и устойчивыми положительными аномалиями температуры преобладал в Чукотском и Карском морях, а наиболее низкий – на центральном участке трассы СМП. На участке трассы Восточно-Сибирского и Лаптевых морей в ряде месяцев отмечались значения близкие к норме или ниже нормы.

Средние оценки оправдываемости долгосрочных метеорологических прогнозов с различной заблаговременностью для морей российской Арктики в 2017 и 2018 гг. приводятся в табл. 1–3.

Таблица 1

Средняя оправдываемость (%) долгосрочных фоновых метеорологических прогнозов по знаку аномалий температуры с заблаговременностью до 12 месяцев

Море	2017	2018	Средние
Карское	83	100	92
Лаптевых	70	75	73
Восточно-Сибирское	58	67	62
Чукотское	92	83	88
Среднее	76	81	79

- 90 -

Таблица 2

Средняя оправдываемость (%) долгосрочных метеорологических прогнозов по знаку аномалий температуры с заблаговременностью до трех месяцев

Море	2017	2018	Средние
Карское	83	95	89
Лаптевых	80	76	78
Восточно-Сибирское	78	71	74
Чукотское	92	83	87
Среднее	83	81	82

Таблица 3

Средняя оправдываемость (%) за 2017 и 2018 гг. долгосрочных метеорологических прогнозов давления, направлений воздушных потоков и температуры с заблаговременностью до одного месяца

Море	Знак аномалии давления	Направление воздушных потоков	Температура		
			знак аномалии	величина	эффективность по отношению к климату
Карское	88	87	91	69	13
Лаптевых	83	85	83	73	17
Восточно-Сибирское	80	89	82	67	11
Чукотское	87	94	87	64	8
Среднее	84	89	86	68	12

Данные табл. 3 показывают, что оправдываемость прогнозов по знаку аномалий давления составила от 80 до 88 %, по знаку аномалий температуры – от 82 до 91 %. Оправдываемость прогнозов по величине аномалий температуры при допустимой погрешности $0,67\sigma$ составила от 64 до 73 %. Эффективность прогнозов по величине аномалий температуры по отношению к климатическим прогнозам с допустимой погрешностью по отдельным месяцам колебалась в пределах от 8 до 17 % и в среднем составила 12 %.

Наиболее низкая оправдываемость прогноза аномалий температуры, как фонового прогноза, так и его сезонных уточнений, отмечалась в Восточно-Сибирском море, а по величине в Чукотском море.

Наиболее высокая оправдываемость прогнозов аномалий температуры отмечалась в Чукотском и Карском морях, а по величине – в западных морях трассы СМП.

Следует отметить, что в период испытаний были отмечены периоды возникновения крупных положительных значений аномалии температуры до 10–15 °С (наиболее часто в Чукотском море), которые не позволяют надежно их предсказывать на данном этапе развития долгосрочных методов прогноза различной заблаговременности.

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

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 отметить, что оправдываемость зависит от качества исходной информации. В связи с закрытием в 90-х годах ряда наиболее репрезентативных, особенно на островах, метеорологических станций в Арктике и станций аэрологического зондирования, понизилась надежность анализа и диагноза начальных условий циркуляции атмосферы и погоды в локальных районах Арктики, что приводит к снижению оправдываемости прогнозов, особенно при увеличении их заблаговременности. При дефиците исходной метеорологической информации в полярном районе особенно ценно применение макроциркуляционного метода исследований и долгосрочного прогнозирования погоды в Арктике. Метод позволяет рассматривать процессы в локальном районе в связи с крупномасштабными изменениями циркуляции на территории Северной полярной области. Определенный вклад в оправдываемость прогнозов вносит использование результатов, которые были получены в проведенном исследовании.

Заключение

Проведенные исследования атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба с целью развития макроциркуляционного метода прогнозирования для Северной полярной области позволили усовершенствовать составление прогнозов для отдельных морей трассы СМП.

Технология позволяет предсказывать знак аномалии температуры воздуха с заблаговременностью до 3 месяцев, с заблаговременностью до 30 суток – прогнозировать с определенной достоверностью значения ожидаемых температур на трассе СМП.

Результаты прогнозов с учетом длительных тенденций в изменении направленности крупномасштабных атмосферных процессов и формирования на соответствующей стадии их развития термобарического фона в полярном районе Арктики показали сравнительно высокую оправдываемость для морей российской Арктики. Методика характеризуется определенной эффективностью по сравнению с климатическими оценками.

Для дальнейшего совершенствования макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для трассы СМП в целях улучшения гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности и планирования судоходства на трассе СМП необходимы комплексные исследования метеорологических, гидрологических и ледовых

процессов. Направление исследований – выявление закономерностей проявления крупномасштабных перестроек атмосферных процессов в отдельных локальных районах морей Арктики, в частности в зонах формирования ледяных массивов, лимитирующих судоходство на трассе СМП.

На основе выше приведенных результатов испытаний Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета на заседании от 27 июня 2019 г. приняла решение рекомендовать внедрить метод долгосрочных метеорологических прогнозов и их уточнений с заблаговременностью от одного до трех месяцев по акватории морей российской Арктики в оперативную практику ФГБУ «ААНИИ» в качестве вспомогательного к основному макроциркуляционному методу долгосрочного метеорологического прогноза.

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.* Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 280 с.
3. *Гирс А.А.* Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 485 с.
4. *Гудкович З.М., Карклин В.П., Миронов Е.У., Иванов В.В., Юлин А.В.* Развитие ледовых и метеорологических условий в Арктике в период 2007–2013 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2013. – № 2 (96). – С. 90–102.
5. *Иванов В.В., Виноградов Н.Д.* Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов для полярных областей // Проблемы Арктики и Антарктики. – 1995. – Вып. 70. – С. 246–254.
6. *Иванов В.В., Алексеенков Г.А., Коржиков А.Я.* О совершенствовании макроциркуляционного метода долгосрочного метеорологического прогноза в Карском море // Гидрометеорологические исследования и прогнозы (Труды Гидрометцентра России). – 2018. – № 4 (370). – С. 105–121.
7. *Иванов В.В., Алексеенков Г.А.* Мониторинг крупномасштабных атмосферных процессов в полярном районе Северного полушария за период январь–декабрь 2018 г. // Обзор гидрометеорологических процессов в Северной полярной области. 2018. – СПб.: ААНИИ, 2019. – С. 4–15.

8. *Мещерская А.В., Иванов В.В., Кононова Н.К., Голод Н.К.* Сравнение двух типизаций циркуляционных процессов // Труды ГГО. – 2013. – Вып. 568. – С. 137–155.
9. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Часть III. – М.: Гидрометеиздат, 1982. – 143 с.
10. Руководство по месячным прогнозам погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 365 с.
11. Руководство по формулировке и оценке оправдываемости долгосрочных прогнозов погоды малой и большой заблаговременности для Арктики. – Л.: Морской транспорт, 1981. – 56 с.
12. *Ivanov V.V., Vinogradov N.D.* Meteorological forecasts. INSROP Working Paper No. 10-1995. 1.6.1: Operational Tools. Norway. P. 7–23.
13. *Ivanov V.V., Vinogradov N.D.* Meteorological forecasts. INSROP Working Paper No. 36-1996. 1.6.1: Operational Tools. Norway. P. 7–20.