

# **ВЫПУСК ДОЛГОСРОЧНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ ПО АРКТИЧЕСКОМУ РЕГИОНУ В РАМКАХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЕВЕРО-ЕВРАЗИЙСКОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА (СЕАКЦ)**

*Р.М. Вильфанд, Д.Б. Киктев, Е.Н. Круглова, И.А. Куликова,  
В.А. Тищенко, В.М. Хан*

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр  
Российской Федерации  
tischenko@mecom.ru, khan@mecom.ru*

## **Введение**

Долгосрочные мультимодельные метеорологические прогнозы занимают особое место в деятельности мировых метеорологических центров. В России экспериментальные работы по составлению таких прогнозов начали проводиться с 2008 г. в рамках деятельности Северо-Евразийского климатического центра (СЕАКЦ), стартовавшего на базе Росгидромета. В настоящее время в Региональной ассоциации РА-VI Всемирной метеорологической организации СЕАКЦ позиционируется как один из узлов региональной климатической сети со специализацией в области долгосрочных прогнозов (<http://seack.meteoinfo.ru/>). В последние годы особое место в работе центра занимают исследования и прогнозы атмосферных процессов и связанных с ними режимов температуры и осадков в Арктическом регионе. Важность реализации гидрометеорологических проектов в Северной полярной области определяется Основами государственной политики [12], в соответствии с которыми Арктика является стратегической ресурсной базой Российской Федерации, обеспечивающей решение задач социально-экономического развития страны. Особую роль при этом играют

использование Северного морского пути в качестве национальной единой транспортной коммуникации Российской Федерации, а также разработка нефтегазовых месторождений в отдельных районах шельфа арктических морей.

На протяжении более чем полувекового периода долгосрочные метеорологические прогнозы для Арктики составлялись в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте (ААНИИ) с помощью макроциркуляционного метода, основы которого были заложены еще в 40-х годах прошлого столетия Г.Я. Вангенгеймом [2, 3, 5]. Метод базировался на концепции обусловленности атмосферных процессов в Северной полярной области в системе общей циркуляции атмосферы. В развитии атмосферных процессов выделялись естественные стадии однонаправленного развития, такие как элементарный синоптический процесс продолжительностью 3–7 дней, однородный циркуляционный период 7–15 дней, однородный внутригодовой период 3–7 месяцев, стадии эпох 3–7 лет, эпохи циркуляции 10 и более лет, положенные в основу прогнозов различной заблаговременности. В оперативном режиме диагностировались и выделялись три основные формы циркуляции и их разновидности на пространстве умеренной и полярной зон Северного полушария. С использованием основных форм и типов циркуляции и их разновидностей, закономерностей преобразования циркуляционных механизмов из одной формы в другую, а также лет-гомологов, подобранных к процессам исходного периода, составлялись прогнозы на месяц и сезон. Были предложены также методики усовершенствования макроциркуляционного подхода для отдельных районов Арктики [4].

Изучение преобразований различных типов атмосферных процессов внесло важный вклад в методологию макрометеорологического анализа и долгосрочного прогнозирования и было вполне оправданным для своего времени. В современных условиях в связи с бурным развитием вычислительной техники и все возрастающими потребностями общества в качественной прогностической продукции основными инструментами долгосрочного прогнозирования все чаще и чаще становятся методы гидродинамического моделирования. Особое значение при этом имеет

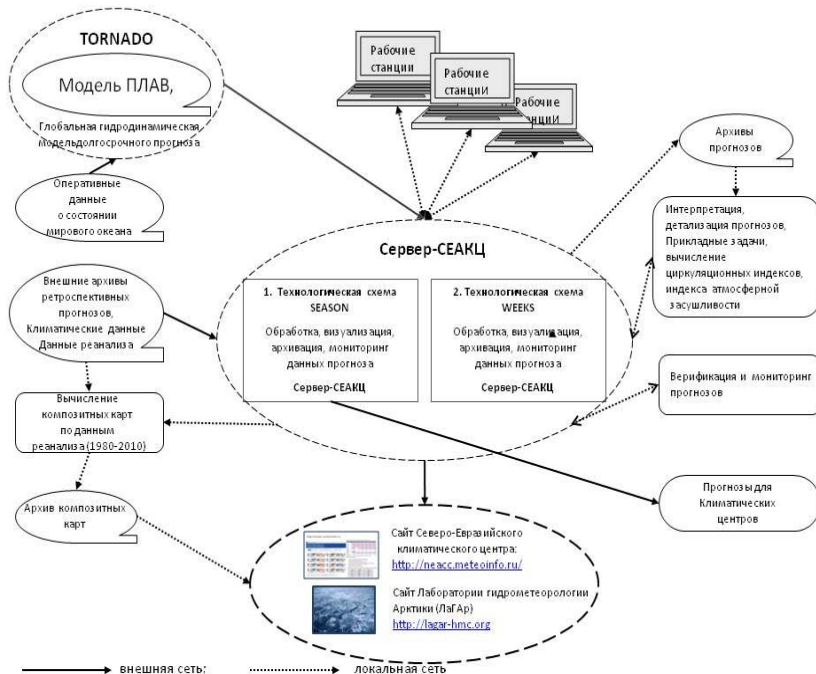
прогнозирование на основе ансамблей. Необходимость такого подхода определяется, с одной стороны, недостаточной точностью представления исходных метеорологических и океанографических полей, несовершенством гидродинамических моделей, с другой – хаотическим поведением самой атмосферы. Одним из способов устранения погрешностей, связанных с несовершенством моделей, является использование сразу нескольких моделей – мультимодельный подход, ставший стандартной практикой мировых метеорологических центров. Не отменяя дальнейшего развития и усовершенствования гидродинамических моделей, мультимодельный подход может служить весьма полезным инструментом повышения качества прогнозов [1]. В России впервые мультимодельный подход реализован в рамках деятельности СЕАКЦ с использованием модели общей циркуляции атмосферы ПЛАВ ФГБУ «Гидрометцентр России» [13]. и модели общей циркуляции атмосферы ФГБУ «ГГО» [9, 10].

В данной статье приводится описание основных блоков технологии ежемесячных выпусков глобальных вероятностных и детерминистических прогнозов на месяц и сезон, реализованной в Гидрометцентре России. В рамках данной технологии отдельно составляются прогнозы для Арктики. Ежемесячная процедура составления прогнозов, рассылки результатов и расчетов оценок качества осуществляются в рамках специализированной технологической линии, развернутой на сервере СЕАКЦ. Результаты вероятностных прогнозов сопровождаются синоптической интерпретацией, или обзорной информацией, которая выводится в определенном таблично-текстовом формате, дублируется на английском языке и размещается на сайте СЕАКЦ с использованием локальных и глобальных сетей Интернет. Параллельно проводится мониторинг текущих метеорологических условий в Арктике с использованием данных о максимальной, минимальной и средней суточной температуре воздуха, а также суточных суммах осадков на основе информации 590 станций, расположенных севернее 60° с. ш. Архив регулярно (один раз в месяц) пополняется станционными данными базы МАКТ Гидрометцентра России. По аналогии со схемой сезонного прогноза реализована экспериментальная

технология выпуска глобальных вероятностных и детерминистических еженедельных и месячных прогнозов на срок до 1,5 месяцев, в рамках которой также составляются прогнозы для Арктики.

## 1. Общее описание технологической линии

Ежемесячная процедура составления прогнозов, рассылки результатов и расчетов оценок качества потребовали создания специализированной технологической линии, которая была развернута на специально выделенном сервере (сервер СЕАКЦ) в среде операционной системы UNIX (рис. 1). Перевод технологии вычислений на сервер позволил расширить оперативную память, необходимую для развития схемы долгосрочного прогноза, и обеспечил доступ к прогностическим данным широкому кругу пользователей.



**Рис. 1. Функциональная блок-схема технологической линии долгосрочного метеорологического прогноза ММЦ Москва.**

Вычислительное ядро схемы долгосрочного прогноза метеорологических условий в настоящее время составляет глобальная гидродинамическая модель общей циркуляции атмосферы ПЛАВ [13, 14]. Обмен данными и результатами интегрирования модели осуществляется посредством локальных и глобальных линий связи. В конце каждого месяца, после обновления данных о температуре поверхности океана, рассчитываются 20 членов ансамбля прогностической системы ПЛАВ на многопроцессорной ЭВМ высокого быстродействия. Расчетные данные, прошедшие предварительную обработку, по локальной сети Гидрометцентра России передаются на сервер СЕАКЦ. Комплекс программ, реализованный на языках FORTRAN и GrADS и предназначенный для решения задач постпроцессинга, управляется пакетом заданий.

Первым заданием является настройка системы на работу с результатами прогноза в текущем месяце и с определенной заблаговременностью прогноза. Следующие задания общего пакета управляют обработкой прогностических, климатических данных и ретроспективных прогнозов. В автоматическом режиме также осуществляется архивация, необходимая для работы прикладных задач, упаковка в код GRIB для передачи в климатические центры и визуализация выходных прогностических данных. Заданный набор полей по глобальной сети телесвязи пересылается в климатический центр АРСС, WMO LC LRF и ФГБУ «ГГО». Полученные по глобальной сети прогностические данные модели ГГО используются для создания долгосрочного мультимодельного прогноза. Постпроцессинг ансамблевых прогнозов, поставляемых от разных моделей (в оперативном режиме формируются двадцать прогнозов по модели ПЛАВ и десять по модели ГГО), позволяет устранить систематические ошибки моделей и получить добавочную стоимость за счет простого объединения ансамблей.

Базы фактических, ретроспективных, климатических и прогностических данных организованы в виде упорядоченных наборов файлов, распределенных в различных каталогах в соответствии с их функциональным назначением. Смысловая и временная привязка файлов с данными обеспечивается соответствующей мнемоникой их имен. Во всех наборах файлов, являющихся входными для

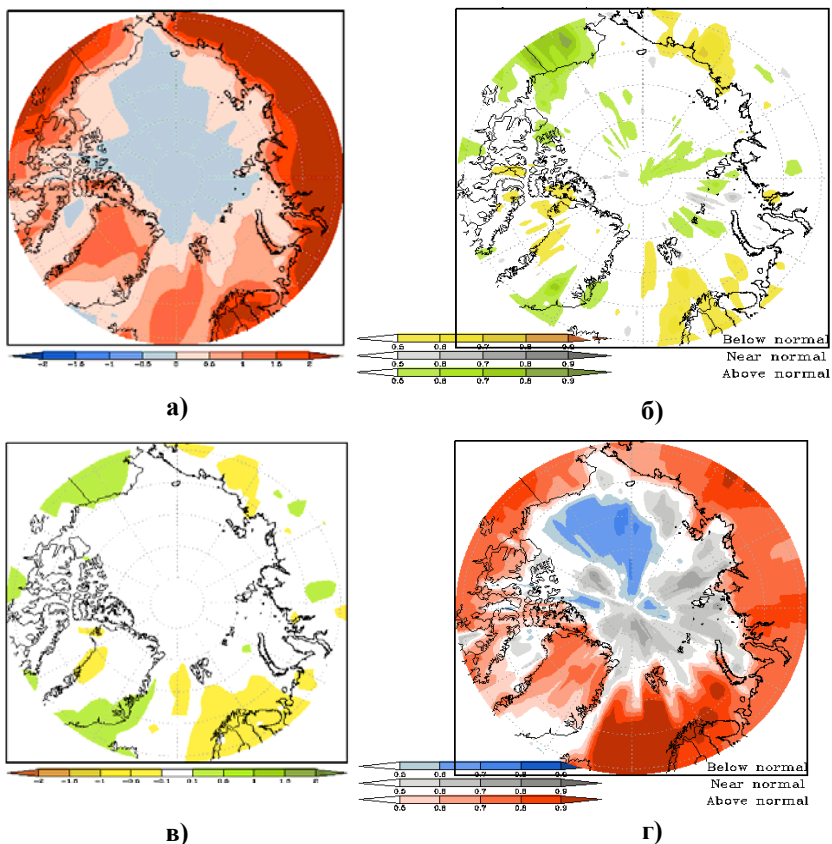
системы вероятностного долгосрочного прогноза, в качестве основного формата принят бинарный формат. Численная модель ПЛАВ работает в оперативном режиме, текущие и ретроспективные расчеты прогнозов проводятся два раза в месяц на 135 суток. В папках четырех отдельных наборов (две модели, мультимодельные ансамбли и эталон) производится переформатирование данных и унификация пространственной ориентации. Рассчитываются средние по ансамблям, средние по трем месяцам (при отсутствии в исходных архивах), а также значения терцилей 0,333 и 0,667 по всем годам и ансамблям. Квантили получены с помощью прикладного пакета программ IMSL.

## **2. Основные виды прогностической продукции**

Информация о деятельности СЕАКЦ, результаты оперативной работы, научные и учебные материалы размещаются на сайте Северо-Евроазиатского климатического центра (<http://neacc.meteoinfo.ru/>). В список основной прогностической продукции входят глобальные поля (на сетке с пространственным разрешением  $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$  широты и долготы) аномалий:

- геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа;
- температуры воздуха на уровне поверхности 850 гПа;
- атмосферного давления на уровне моря;
- приземной температуры воздуха;
- суммарных осадков.

На прогностической странице сайта представлены карты пространственного распределения средних по ансамблю аномалий (детерминированные прогнозы), а также вероятностей указанных выше метеорологических величин, стратифицированных по трем основным градациям (ниже нормы, норма и выше нормы) с месячным и сезонным разрешением. В целях кластеризации используются терцили, полученные на материалах ретроспективного интегрирования (1981–2010 гг.). Карты строятся для пяти основных регионов: Арктика, Европа, Северная Азия, Северная Евразия и Глобус. Примеры вероятностного и детерминированного прогноза сезонных аномалий приземной температуры воздуха и осадков в Арктике приводятся на рис. 2.



**Рис. 2. Карты пространственного распределения мультимодельных детерминированных (а, в) и вероятностных (б, г) прогнозов аномалий температуры, °С (а, г) и осадков, мм/сут (б, в) на апрель-июнь 2016 г.**

На сайте также размещается архив прогностических значений основных метеорологических величин в цифровом виде, что позволяет использовать данную информацию в прикладных задачах. Вслед за прогнозами на сайт помещается обзор, в котором рассматриваются особенности температурного режима и пространственного распределения осадков на территории Северной

Евразии, а также проводится сравнение полученных результатов с прогнозами других метеорологических центров.

### **3. Блок статистической интерпретации с использованием индексов циркуляции**

За последние годы в области гидродинамического моделирования и прогнозирования на месячных и сезонных интервалах времени достигнут существенный прогресс, связанный не только с развитием наблюдательных систем, но и с довольно существенными модификациями в блоках физических параметризаций моделей общей циркуляции атмосферы, а также с использованием совместных моделей океана и атмосферы. Тем не менее качество долгосрочных прогнозов не является удовлетворительным и сильно меняется в зависимости от региона, сезона и ежима атмосферной циркуляции. В этой связи по-прежнему актуальной остается проблема идентификации крупномасштабных структур и режимов циркуляции более устойчивых и более предсказуемых, чем мгновенные состояния атмосферы.

В целях повышения качества прогнозов и учета режимов циркуляции в процессе принятия решений в технологическую схему долгосрочного прогноза СЕАКЦ включен блок, предназначенный для расчетов индексов, характеризующих крупномасштабные особенности атмосферной циркуляции [6]. В оперативном режиме в конце каждого месяца наряду с прогнозами глобальных метеорологических полей составляются месячные и сезонные прогнозы восьми индексов: **EA** (Восточно-атлантическое колебание), **WA** (Западно-атлантическое колебание), **EU** (Евразийское колебание), **WP** (Западно-тихоокеанское колебание), **PNA** (Тихоокеанское-североамериканское колебание), **NAO** (Северо-атлантическое колебание), **POL** (Полярное колебание), **AOS** (Арктическая осцилляция).

Страница сайта, посвященная индексам циркуляции, помимо прогностической информации содержит статистические и климатические характеристики индексов. Исходными данными для статистического анализа временных рядов указанных выше индексов служили поля геопотенциала поверхности 500 гПа (H500)

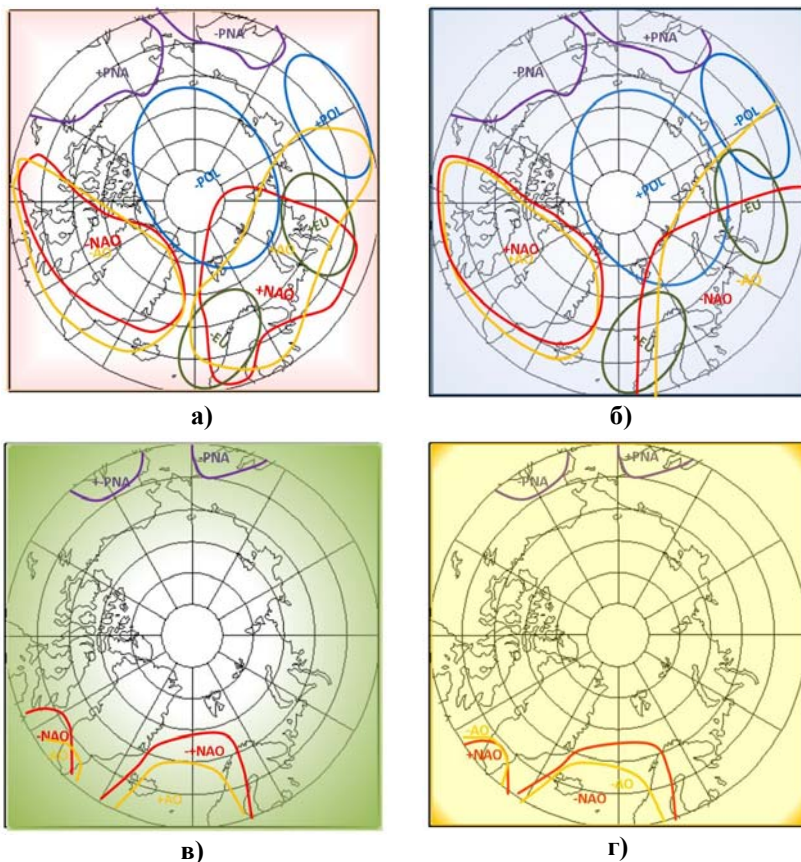


с суточным разрешением, полученные на основе архива NCEP/NCAR четырехсрочных полей реанализа на сетке  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  за период с 1981 по 2010 г. [16]. На основе календарей для положительной и отрицательной фаз, выделенных с помощью 25%-ных и 75%-ных квартилей, для каждого индекса с месячным и сезонным разрешением были построены композитные карты пространственного распределения на Северном полушарии аномалий основных метеорологических величин: высоты поверхности 500 гПа (H500), температуры воздуха на уровне поверхности 850 гПа (T850), атмосферного давления на уровне моря (MSLP), температуры воздуха на уровне моря T2м (TSRF) и осадков (PREC). Результаты анализа данных полей для разных фаз индексов с учетом их статистической значимости, которая определялась на основе процедуры «бутстрэпа», описаны в композитных картах [7].

Для более детального анализа влияния крупномасштабных атмосферных процессов на температурный режим и осадки в Арктике построены сборные композитные карты, на которых представлены очаги положительных (рис. 3 а, в) и отрицательных (рис. 3 б, г) аномалий температуры воздуха и осадков для различных фаз индексов циркуляции в зимний период. Как видно, наиболее масштабные пространственные структуры в полях температуры связаны с Арктическим колебанием (АО), которое носит глобальный характер и оказывает влияние на формирование температурного режима почти на всей территории Северной полярной области, за исключением ее тихоокеанского сектора. При этом в случае положительной (отрицательной) фазы индекса положительные (отрицательные) аномалии температуры воздуха отмечаются на севере Северной Евразии и отрицательные (положительные) на северо-востоке Северной Америки и в Гренландии. Сигнал в полях осадков прослеживается только над океанами. Для положительной (отрицательной) фазы индекса АО дефицит (избыток) осадков прослеживается на юге Гренландии, а избыток (дефицит) – на севере Северной Атлантики.

Полученные результаты являются статистически значимыми и позволяют сформулировать некоторые климатологические приемы уточнения месячных и сезонных прогнозов с учетом результатов композитного анализа. Так, например, если на прогностической

карте поверхности 500 гПа прослеживаются структуры, связанные с положительными или отрицательными фазами того или иного индекса, следует с большей вероятностью ожидать в данном географическом районе представленные на композитных картах градиации (выше или ниже нормы) температуры и осадков.



**Рис. 3. Основные очаги положительных (слева) и отрицательных (справа) аномалий температуры воздуха (вверху) и осадков (внизу) при различных фазах крупномасштабных колебаний для зимнего сезона: выделены области, где проявляется влияние NAO – красным цветом, AO – желтым, POL – синим, PNA – сиреневым, EU – зеленым.**

Совместное использование динамических прогнозов и синоптико-статистических методов имеет своей целью повышение качества долгосрочных прогнозов и увеличение «предела предсказуемости».

#### 4. Верификация и мониторинг качества прогнозов

В Северо-Евразийском климатическом центре существуют две основные ветви оценки качества прогнозов. В первом случае (верификация) даются оценки ретроспективных прогнозов, полученных на историческом материале, во втором (мониторинг) оцениваются прогнозы в реальном режиме времени. Верификация дает интегральную оценку прогностической системы за некоторый период времени, который можно считать равным периоду обновления технологии. Мониторинг качества прогнозов производится по мере поступления фактических данных с отставанием примерно в один месяц. Оценки качества прогнозов строятся с учетом рекомендаций ВМО [8, 11], а также накопленного опыта по составлению долгосрочных прогнозов в Гидрометцентре России.

Основными критериями качества детерминированных прогнозов служат:

- коэффициент корреляции знаков  $\rho$  ;
- коэффициент корреляции аномалий  $AC$ ;
- относительная ошибка прогноза  $Q$ ;
- средний квадрат ошибки прогноза (mean squared error)  $MSE$ ;
- критерий качества по среднему квадрату ошибки – мера мастерства по отношению к климатическому прогнозу (mean squared error skill score)  $MSSS$ .

Оценка качества вероятностных прогнозов выполняется на основе:

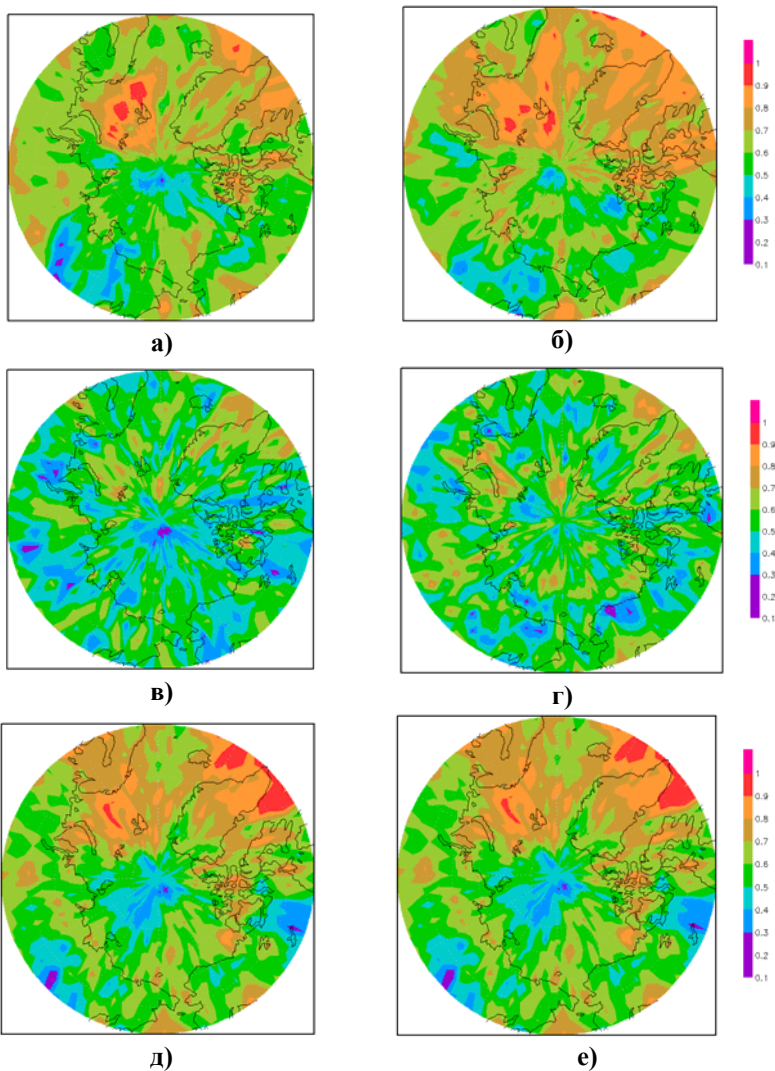
- сравнительной оперативной характеристики (relative operating characteristics)  $ROC$  для трех равновероятных градаций («ниже нормы» –  $ROC_B$ , «норма» –  $ROC_N$ , «выше нормы» –  $ROC_A$ ). Каждая такая характеристика определяет соотношение между долей ложных тревог и долей попаданий при прогнозе отдельной градации. Кривая  $ROC$  дает наглядное представление

о способности прогностической схемы воспроизводить заданные градации, а площадь под кривой служит обобщенной характеристикой качества прогнозов. В том случае, если значение площади близко к единице, способность разделения близка к идеальной. Если же площадь стремится к 0,5, то прогноз оказывается на уровне случайного – кривая плотности распределения тех наблюдений, которые были спрогнозированы, но не произошли, приближается к кривой плотности распределения тех наблюдений, которые были спрогнозированы и произошли.

В качестве эталонного архива с учетом соотношения оперативности и качества информации для оценки оправданности прогнозов используется реанализ NOAA NCEP-DOE Reanalysis-2 [16]. Расчет климатических характеристик проводится по данным этого архива на основе базового периода с 1981 по 2010 г. Как для отдельных моделей, так и для мультимодельного ансамбля прогнозов строятся глобальные карты показателей качества, а также рассчитываются агрегированные показатели для различных регионов земного шара. Предусмотрена возможность дополнительной стратификация показателей отдельно по точкам суши и по точкам моря во всех выделенных регионах, что может быть полезно для анализа физических блоков моделей.

*Верификация ретроспективных прогнозов модели ПЛАВ* выполнена на материале 30 лет (1981–2010 гг.). Рассчитаны средние многолетние поля отдельно для каждого ряда четырехмесячных прогнозов, проведено сравнение фактического и модельного климата. Показано, что качество прогнозов сильно варьирует в зависимости от сезона и региона.

На рис. 4 приведены карты пространственного распределения оценок *ROC*, полученных на основе прогнозов ПЛАВ приземной температуры воздуха для Арктики. Как видно, модель наилучшим образом воспроизводит две основные градации температуры воздуха: «выше нормы» и «ниже нормы». При этом в канадском секторе Арктики, в Гренландии, на севере Атлантики, а также на акваториях арктических морей, примыкающих к Западной Европе, качество прогнозов вполне удовлетворительное (оценки *ROC* колеблются от 0,7 до 1).



**Рис. 4.** Пространственное распределение оценок *ROC* вероятностных прогнозов приземной температуры воздуха (модель ПЛАВ) в Арктике в январе (слева) и январе-марте (справа) для градаций «выше нормы» (а, б), «норма» (в, г) и «ниже нормы» (д, е).

На Дальнем Востоке, Аляске, а также в районе Северного полюса прогнозы указанных выше градаций не отличаются от уровня случайного. Данное обстоятельство, возможно, связано с отсутствием необходимого объема данных наблюдений в этих районах Арктики и вытекающим отсюда неудовлетворительным качеством исходных реанализов.

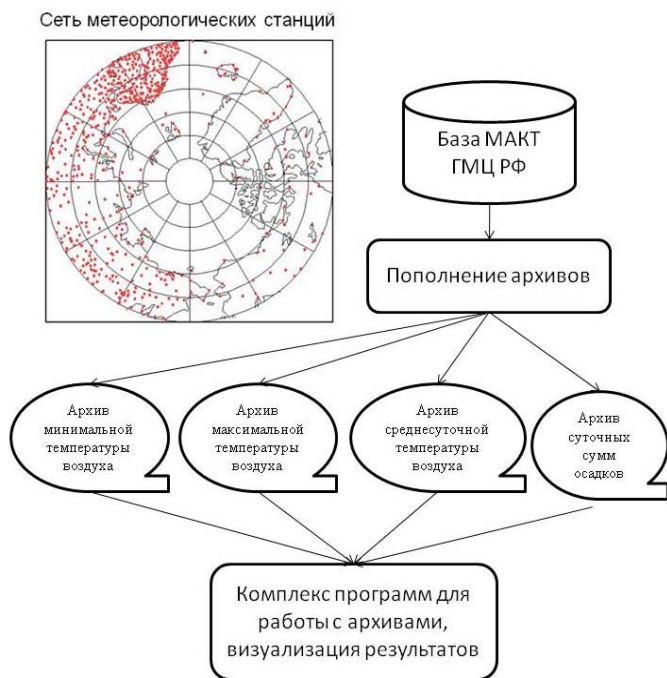
Как показали исследования [15], данные пяти различных реанализов: NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CFSR), Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications (MERRA), Japanese 25-year Reanalysis Project (JRA-25), Interim ECMWF Reanalysis (ERA-Interim), Arctic System Reanalysis (ASR) демонстрируют существенные расхождения, особенно для потоков нисходящей коротковолновой радиации. Прогнозы градации «норма» на большей части территории региона находятся на уровне случайного.

*Мониторинг качества прогнозов* проводится в оперативном режиме по мере поступления данных реанализа. На отдельной странице сайта СЕАКЦ размещаются карты пространственного распределения прогностических и фактических аномалий, а также вероятностные прогнозы градаций «выше нормы», «норма» и «ниже нормы» указанных выше основных метеорологических величин. Для отдельных регионов земного шара, а именно Глобуса, северных и южных тропиков, Северной Евразии, Европейской территории России, Северо-Восточной Азии и Европы, в табличном виде приводятся агрегированные показатели качества, рассчитанные как для отдельных моделей, так и для мультимодельных прогнозов.

Блок верификации и мониторинга качества прогнозов является важнейшей составляющей технологической линии. Развитие и создание новых версий гидродинамических моделей требуют знания характеристик качества, способных выявить не только систематические ошибки, оценить систематическое поведение прогностических систем, но и проводить исследования предсказуемости геофизических процессов, в том числе в Северной полярной области. Оценки качества прогнозов необходимо учитывать на практике и ориентироваться на зоны с наиболее высокой их надежностью.

#### 4. Мониторинг текущих метеорологических условий

Мониторинг текущих метеорологических условий в Северной полярной области проводится с использованием данных о максимальной, минимальной и среднесуточной температуре воздуха, а также суточных суммах осадков 590 станций, расположенных севернее 60° с. ш. С использованием информации, полученной в отделе среднесрочных прогнозов погоды Гидрометцентра России за период с 1999 по 2015 г., сформированы массивы данных, предназначенные для научных исследований, анализа текущих метеорологических условий и решения различных прикладных задач. Архивы регулярно (один раз в месяц) пополняется станционными данными базы МАКТ Гидрометцентра России. Структура архивов представлена на рис. 5.



**Рис. 5. Блок мониторинга текущих метеорологических условий в Арктике с использованием сети 590 метеорологических станций.**

Существенным недостатком является неравномерное распределение в пределах Арктического региона метеорологических станций и слабое освещение наблюдениями обширных районов, прежде всего Северного полюса и акваторий арктических морей в тихоокеанском секторе. В тоже время в Скандинавии и на севере Европейской территории России сеть станций довольно плотная.

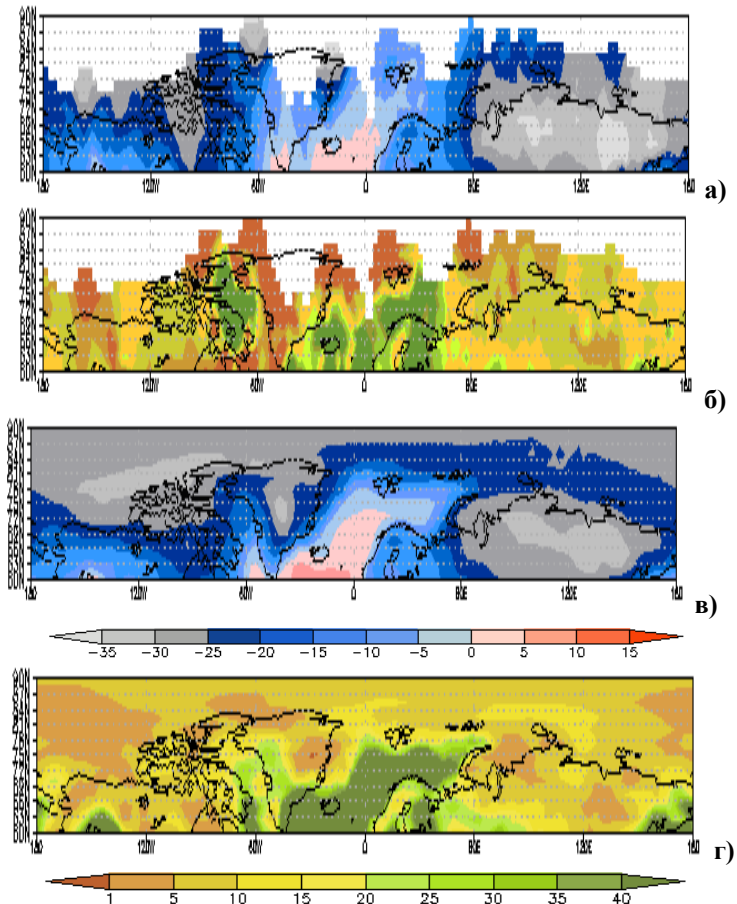
Технология мониторинга текущих метеорологических условий в Арктике включает комплекс программных средств, обеспечивающих поддержание архивов станционных данных, диагноз текущих метеорологических условий с использованием различных периодов осреднения, а также визуализацию результатов с помощью пакета прикладных программ GrADS. Ввиду наличия белых пятен в полях температуры и осадков в Арктике предусмотрена возможность сравнения полей, полученных на основе станционных данных с данными реанализа. Результаты такого сравнения на примере февраля 2010 г. для средней месячной температуры воздуха и месячной суммы осадков представлены на рис. 6. Как видно, поля среднемесячной температуры воздуха довольно хорошо согласуются друг с другом на большей части территории Арктического региона. Наиболее заметные различия прослеживаются на акваториях дальневосточных морей, где в полях реанализа температура воздуха оказывается завышенной. Сходство в полях осадков не столь значительное. В отдельных районах в полях реанализа суммы осадков оказываются заниженными или завышенными на 10–15 мм по сравнению со станционными данными. Вышеизложенное позволяет сделать вывод об определенных преимуществах станционных архивов по сравнению с данными реанализа.

## **5. Экспериментальные прогнозы с недельной детализацией**

В Гидрометцентре России и СЕАКЦ по аналогии с технологией месячных и сезонных прогнозов развернута и отлажена в экспериментальном порядке технологическая линия еженедельных выпусков глобальных долгосрочных метеорологических прогнозов. Сходство технологий определяется единой вычислительной основой, которой является модель ПЛАВ со среднесуточной дискретностью записи прогностической информации. Долгосрочные



прогнозы с недельной дискретизацией составляются один раз в неделю (в середине каждой недели) с осреднением 1–7 (1-я неделя), 8–14 (2-я неделя), 15–21 (3-я неделя), 22–28 (4-я неделя), 1–30 (1-месяц) и 16–45 (2-й месяц) суток.



**Рис. 6. Пространственное распределение средней месячной температуры воздуха (слева) и месячной суммы осадков (справа) в феврале 2010 г. по стационарным данным (а, б) и данным реанализа (в, г).**

Формирование прогностических ансамблей моделей ПЛАВ и ГГО, а также мультимодельного ансамбля, расчеты вероятностных прогнозов, стандартизованная верификация результатов прогнозирования осуществляется в формате единой технологической линии на специализированном сервере СЕАКЦ. В список прогностической продукции также, как и для сезонных прогнозов, входят глобальные поля геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа, температуры воздуха на уровне поверхности 850 гПа, атмосферного давления на уровне моря, приземной температуры воздуха и суммарных осадков. В режиме постпроцессинга результатов гидродинамического моделирования проводится детализация прогнозов температуры воздуха и осадков для 70 станций СНГ. Результаты прогнозов регулярно публикуются на сайте СЕАКЦ. На рис. 7 приводится пример прогностической продукции для Арктического региона.

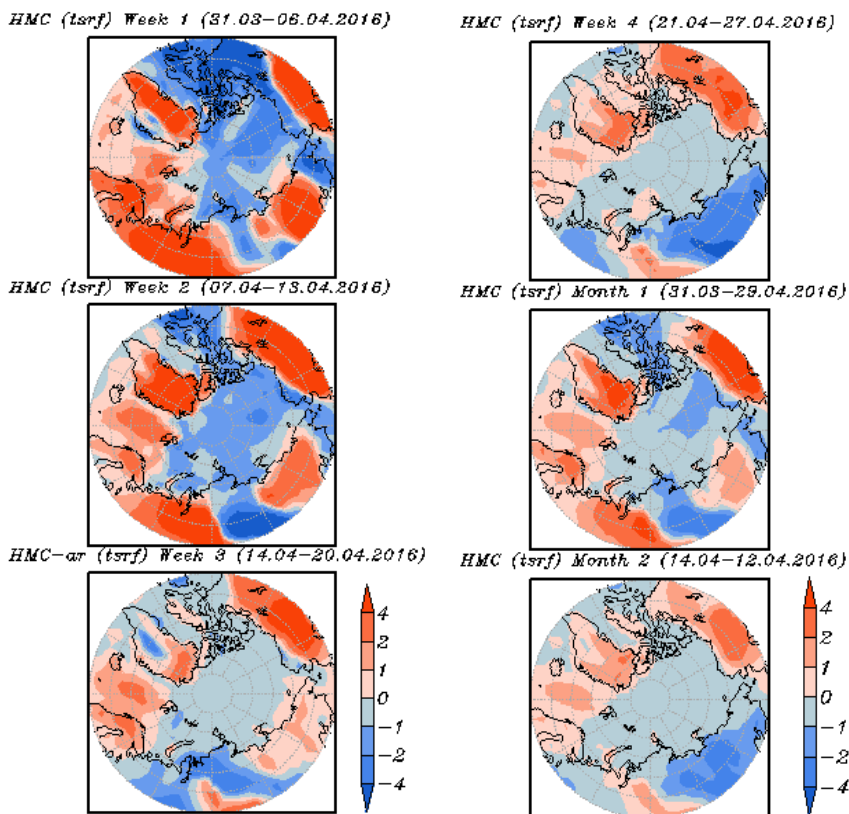
Проведена предварительная проверка качества продукции, получаемой с помощью данной технологии путем сопоставления со станционными данными и данными реанализа. Показано, что недельные и месячные прогнозы с нулевой заблаговременностью являются более информативными, нежели сведения из климатических источников.

## **Заключение**

Рассмотрены основные особенности технологической линии долгосрочных метеорологических прогнозов, реализованной в Гидрометцентре России и СЕАКЦ, в рамках которой составляются прогнозы основных метеорологических величин для Арктики. Вычислительное ядро схемы, развернутой на специально выделенном сервере (сервер СЕАКЦ) в среде операционной системы UNIX, составляет глобальная гидродинамическая модель общей циркуляции атмосферы ПЛАВ Гидрометцентра России.

В целях повышения качества прогнозов используется мультимодельный подход, основанный на использовании моделей общей циркуляции атмосферы ПЛАВ и ГГО. Постпроцессинг ансамблевых прогнозов, поставляемых от разных моделей (в оперативном режиме формируются двадцать прогнозов по модели ПЛАВ

и десять – по модели ГТО), позволяет устранить систематические ошибки моделей и улучшить качество прогнозов за счет простого объединения ансамблей.



**Рис. 7. Прогнозы приземной температуры воздуха для Арктики с недельной детализацией.**

Оценки качества прогнозов строятся с учетом рекомендаций ВМО, а также накопленного опыта по составлению долгосрочных прогнозов в Гидрометцентре России. В рамках основной технологической линии производится верификация ретроспективных прогнозов, полученных на историческом материале, а также

мониторинг качества, позволяющий оценивать оправдываемость прогнозов в реальном режиме времени. При практическом использовании прогнозов необходимо учитывать оценки их качества.

Качество долгосрочных прогнозов сильно меняется в зависимости от региона, сезона и режима атмосферной циркуляции. В связи с этим в оперативном порядке с использованием различных индексов решается задача прогноза режимов циркуляции, более устойчивых и более предсказуемых, чем мгновенные состояния атмосферы. Построены сборные композитные карты с учетом различных фаз индексов для Арктики, которые могут использоваться для уточнения месячных и сезонных прогнозов.

Представлен блок мониторинга текущих метеорологических условий в Арктике, который включает комплекс программных средств, обеспечивающих поддержание архивов станционных данных о максимальной, минимальной и средней суточной температуре воздуха, суточных суммах осадков (590 станций), а также графическое представление результатов. В виду неравномерного распределения метеорологических станций и слабого освещения наблюдениями обширных районов Арктики предусмотрена возможность сравнения полей, полученных на основе станционных данных, с данными реанализа.

Планируется дальнейшее развитие и усовершенствование технологии за счет введения новых блоков и программных средств. Основной акцент при этом делается на усовершенствование гидродинамической модели ПЛАВ, а также проведение исследований источников потенциальной предсказуемости эволюции атмосферы на временных масштабах до сезона, таких как явление Эль-Ниньо, Арктическое и Северо-атлантическое колебания и др. Для сезонного прогноза планируется переход от атмосферной модели к совместной модели атмосферы и океана Гидрометцентра России и ИВМ РАН.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект №14-37-00053) в Гидрометцентре России.

## Список использованных источников

1. Бундель А.Ю., Вильфанд Р.М., Крыжов В.Н., Тищенко В.А., Хан В.М. Оценка мультимодульного вероятностного прогноза на сезон на основе данных моделей АРСС // Метеорология и гидрология. – 2011. – № 3. – С. 5–19.
2. Вангенгейм Г.Я. Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики // Труды ААНИИ. – 1952. – Т. 34. – 314 с.
3. Гирс А.А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 485 с.
4. Иванов В.В. Результаты испытаний усовершенствованного макроциркуляционного метода фонового прогноза для шельфовых районов Западной Арктики // Информационный сборник № 30. – 2003. – С. 68–74.
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. Киктев Д.Б., Круглова Е.Н., Куликова И.А. Крупномасштабные моды атмосферной изменчивости. Часть I. Статистический анализ и гидродинамическое моделирование // Метеорология и гидрология. – 2015. – № 3. – С. 5–22.
7. Куликова И.А., Круглова Е.Н., Киктев Д.Б. Крупномасштабные моды атмосферной изменчивости. Часть II. Их влияние на пространственное распределение температуры и осадков на территории Северной Евразии // Метеорология и гидрология. – 2015. – № 4. – С. 5–14.
8. Материалы семинара рабочей группы ВМО (29 января – 2 февраля 2007 г.). – [http://www.bom.gov.au/bmrc/wefor/staff/eee/verif/verif\\_web\\_page.html](http://www.bom.gov.au/bmrc/wefor/staff/eee/verif/verif_web_page.html).
9. Мирвис В.М., Мелешко В.П., Гаврилина В.М., Матюгин В.А., Львова Т.Ю. Прогноз метеорологических величин на предстоящий месяц гидродинамико-статистическим методом ГГО. I. Категорические прогнозы – результаты 26-летних серий испытаний // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 1. – С. 5–18.
10. Мирвис В.М., Мелешко В.П., Гаврилина В.М., Матюгин В.А., Львова Т.Ю. Прогноз метеорологических величин на предстоящий месяц гидродинамико-статистическим методом ГГО. II. Вероятностный прогноз: анализ и интерпретация распределения ансамбля, методика и качество прогнозов // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 2. – С. 5–16.
11. Муравьев А.В. Стандартизированная система верификации долгосрочных метеорологических прогнозов. (SVS LRF) // 80 лет Гидрометцентру России. – М.: Триада, лтд, 2010. – С. 264–288. – [http://method.hydromet.ru/publ/books/80\\_years/murav.pdf](http://method.hydromet.ru/publ/books/80_years/murav.pdf)

12. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу. – <http://www.scrf.gov.ru/documents/15/98.html>

13. Толстых М.А. Глобальная полулагранжева модель численного прогноза погоды. – М.; Обнинск: ФАО ФОР, 2010. – 111 с.

14. Толстых М.А., Киктев Д.Б., Зарипов Р.Б., Зайченко М.Ю., Шапкин В.В. Воспроизведение атмосферной циркуляции на сезонных масштабах новой версией полулагранжевой модели атмосферы // Изв. РАН. ФАО. – 2010. – Т. 46, № 2. – С. 149–160.

15. Ayan H.C., Ponte R.M. An Evaluation of Surface Atmospheric Changes over the Arctic Ocean for 2000–09 Using Recent Reanalyses // Earth Interact. – 2015. – Vol. 19. – P. 1–18.

16. Kanamitsu M., Ebisuzaki W.I., Woollen J., Yang Shi-Keng, Hnilo J.J., Fiorino M., Potter G.L. NCEP–DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) // Bull. Amer. Meteorol. Soc. – 2002. – Vol. 83. – P. 1631–1643.

*Поступила в редакцию 27.06.2016 г.*