

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА

ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

**«ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»**

Р.М. Вильфанд, П.П. Васильев, В.И. Лукьянов, А.Д. Голубев

**Методические указания по прогнозу
опасного природного явления –
аномально холодной (аномально жаркой)
погоды на территории России**

Москва

2010

Вильфанд Р.М., Васильев П.П., Лукьянов В.И., Голубев А.Д.

Методические указания по прогнозу опасного природного явления – аномально холодной (аномально жаркой) погоды на территории России.

М.: Обнинск: ОАО Фабрика офсетной печати, 2010. – 13 с.

Излагается метод прогноза ОЯ – аномально холодной (аномально жаркой) погоды на территории РФ, разработанный в ГУ «Гидрометцентр России» в связи с необходимостью обеспечения этой информацией *Правительственной комиссии по обеспечению безопасности электроснабжения (федерального штаба)* и объектов электроэнергетики в субъектах Российской Федерации в отопительный период. Впервые предупреждения об ОЯ начали выпускаться с такой большой заблаговременностью, как 48–120 часов. Составление предупреждений об ОЯ реализовано в виде оперативной технологической последовательности расчета прогноза и анализа приземных полей температуры воздуха по территории РФ сначала с использованием численной статистической интерпретации ГДМА (гидродинамических моделей атмосферы) по методу РЭП (расчет элементов погоды), а затем с помощью синоптической обработки полученных материалов прогнозистами оперативного отдела и составления ими текста окончательного предупреждения в федеральный штаб.

Кратко описана общая схема прогностической технологии РЭП, а затем излагается соответствующая последовательность действий синоптика-прогнозиста. Приводятся оценки оправдываемости прогнозов.

Метод прогноза ОЯ использовался в оперативной работе в отопительные периоды 2008–2010 гг.

УДК 551.509.313

@ Коллектив авторов, 2010
@ ГУ «Гидрометцентр России»,
2010

Введение

В связи с распоряжением руководителя Росгидромета о гидрометеорологическом обеспечении *Правительственной комиссии по обеспечению безопасности электроснабжения (федерального штаба)* и объектов электроэнергетики в субъектах Российской Федерации в отопительный период, в 2008 году перед Гидрометцентром России была поставлена новая задача о прогнозировании аномально холодной (аномально-жаркой) погоды с достаточно большой заблаговременностью – порядка нескольких суток.

В Руководящем документе Росгидромета [2] аномально холодная (аномально жаркая) погода отнесена к опасным явлениям погоды (ОЯ) и определена как сохранение над данной территорией в течение 5 суток и более значений среднесуточной температуры воздуха ниже (выше) климатической нормы на 7 °С и более. Прогноз этого ОЯ должен быть дан не позднее, чем за двое суток до его возникновения.

Необходимо отметить, что впервые в прогностической практике гидрометобеспечения шла речь о такой большой заблаговременности прогноза ОЯ, как 48–144 часов.

В ГУ «Гидрометцентр России» разработана, реализована на комплексе ЭВМ и внедрена в оперативную практику новая усовершенствованная прогностическая технология расчета элементов погоды (РЭП) численной интерпретации ГДМА для среднесрочного прогноза экстремальной температуры воздуха у поверхности земли с детализацией по дням [1]. Проводились оперативные испытания метода. Результаты испытаний доложены на ЦМКП от 24 октября 2008 года. Было принято решение о внедрении этого метода в качестве основного.

В данных методических указаниях кратко описана прогностическая технология, а также методический подход к прогнозу возникновения ОЯ – аномально холодной погоды на территории России, используя значения прогнозируемых численной схемой РЭП аномалий температуры воздуха на несколько суток вперед.

Аналогично можно сформулировать подход и к прогнозу ОЯ – аномально жаркой погоды.

Основные принципы функционирования прогностической технологии РЭП

В настоящее время проблема прогноза погоды на средние сроки находится в состоянии интенсивного и успешного развития в связи с появлением мощных суперкомпьютеров и созданием совершенных гидродинамических моделей атмосферы. Такие модели обладают высоким пространственным разрешением и содержат современные схемы параметризации. Интервал их успешного интегрирования достигает порядка недели для прогнозируемых полей циркуляции в свободной атмосфере, например для северного полушария в зимний период. Несмотря на это, “модельный” прогноз – прогностические значения элементов погоды у поверхности земли, полученные в ходе численного интегрирования ГДМА, – не всегда обладает достаточной оправдываемостью с точки зрения непосредственного использования его в оперативной практике. Это связано чаще всего с несовершенством уравнений и параметризаций в пограничном слое. Однако оправдываемость повышается в случае построения уравнений для расчета на основе статистической модели для конкретного метеоэлемента с использованием статистики (постпроцессинг на основе статистической интерпретации).

При этом подходе можно осуществить расчет синхронных (статистических) связей между прогностическими полями, полученными по гидродинамической схеме (основными предикторами – левые части переопределенной системы уравнений множественной регрессии), и элементами погоды (предиктантами – правые части уравнений). Именно использование синхронных связей (применимых благодаря хорошей оправдываемости современных ГДМА) и может обусловить успех численного прогноза элементов погоды.

Естественно, что для успешной работы системы статистической интерпретации (статистического постпроцессинга) необходимо создание соответствующей базы данных – архива фактических значений прогнозируемых метеорологических элементов в пунктах прогноза, а также архивов полей объективного анализа и прогноза ГДМА за период порядка 10–15 лет.

Прогностическая технология РЭП программно реализует полностью адаптивный алгоритм – самообучающийся по исходной дате на текущий сезон, на дату прогноза по

заблаговременности, на географический район (пункт прогноза) и на синоптический макропроцесс, спрогнозированный ГДМА. Для каждого из этих параметров статистическая модель ежедневно строится и решается заново (в автоматизированном оперативном режиме).

При создании технологии РЭП реализованы:

- методология построения адаптивных моделей для прогноза;
- метод центрального типирования синоптических макропроцессов;
- алгоритмы автоматического формирования выборок с использованием метода аналогов и с динамическим отбором предикторов на каждом этапе;
- алгоритм по усвоению, контролю и восстановлению данных метеонаблюдений (уровня II) и данных уровня III, получаемых в коде GRIB, для их сбора и архивации в среднесрочной проблемно-ориентированной базе данных (СПОБД). Эта база данных разработана и реализована специально для постпроцессинга статистической интерпретации. СПОБД круглосуточно пополняется оперативными данными, поступающими по каналам связи через ГРМЦ. Разработана и реализована справочно-информационная база (SNOB) для комплектации прогностической продукции и распространения ее пользователям;
- сформированы климатические архивы метеоданных на дисках (с использованием климатических данных ВМО и ВНИИГМИ-МЦД).

Прогностическая технология РЭП предусматривает возможность формирования выпускаемой продукции для потребителей по различным номенклатурам – по административным и экономическим районам страны, по энергосистемам, по бассейнам рек, по побережьям морей и т.д.

Общая схема численного прогностического алгоритма

1. Центральное типирование атмосферных макропроцессов. Статистическая модель строится (автоматически на ЭВМ) каждый раз заново (выборки формируются динамически) для каждой даты и для каждого пункта прогноза; при этом всегда рассматривается ограниченный географический район, ориентированный таким образом, чтобы пункт прогноза был расположен в его центре. Центрирование осуществляется с точностью до долей градуса географических координат. Статистические выборки

формируются с упорядочением по степени аналогичности к текущему макропроцессу, предсказанному гидродинамической схемой.

2. Непрерывность по территории прогностических полей. Для расчета прогноза созданы программные средства доступа к архиву метеорологических полей – предикторов и предиктантов, позволяющие строить и решать прогностические уравнения регрессии, удовлетворяя принципу пространственной непрерывности.

3. Сезонная классификация. Для формирования статистических обучающих выборок к рассмотрению привлекаются даты, относящиеся к тому же скользящему сезонному периоду, к которому принадлежит день прогноза. Величина интервала дат, к которым относятся динамически формируемые статистические выборки, составляет около трех недель.

4. Оптимизация заблаговременности архивов (ОЗА), используемых для формирования обучающих выборок. Как известно, для построения обучающих выборок регрессионных моделей используются концепции MOS или PP. Для малой заблаговременности (24–36 ч) концепция MOS имеет несомненные преимущества, так как обучение статистической модели на выборках, состоящих из гидродинамических прогнозов, позволяет учитывать систематические ошибки (тренд) гидродинамической схемы. Однако анализ полей гидродинамических прогнозов показывает, что у ГДМА присутствуют наряду с систематическими ошибками ошибки случайного характера, обусловленные неточностью исходных данных или несовершенством параметризации. “Уход” схемы несистематическим образом от развивающегося в действительности атмосферного процесса с заблаговременностью прогноза увеличивается. Таким образом, накапливая архивы гидродинамических прогнозов (например, на пятые-седьмые сутки), мы заведомо предопределяем обучение статистической модели на зависимостях с несистематической неадекватностью. В этом случае концепция MOS становится неэффективной. Выходом в какой то мере может являться использование архивов прогнозов ГДМА с меньшей заблаговременностью (MOS-1, MOS-2). При этом, с одной стороны, можно частично исключить систематический тренд, присутствующий в прогнозах большой заблаговременности, с другой стороны, используя архивы, содержащие прогностические поля меньшей заблаговременности, уменьшается вклад несистематических ошибок.

5. Метод прогноза минимальной и максимальной температуры воздуха по дням до семи суток. Строится адаптивная численная статистическая модель, основанная на использовании синхронных прогностических связей. Имея в последние годы информацию в кодах GRIB от нескольких ведущих метеорологических центров мира, включая ММЦ (Москва), в новой технологии осуществляется расчет статистик по данным нескольких метеорологических центров: ECMWF (Reding), UKMO (Exeter) и NCEP (Washington), ММЦ (Москва). Далее осуществляется комплексация результатов с весами, пропорциональными скользящей оправдываемости прогнозов соответствующих ГДМА. Прогноз осуществляется отдельно для минимальной и максимальной температур воздуха.

6. Метод прогноза средней за декаду температуры воздуха. Для расчета прогностического значения средних за 10 дней аномалий температуры воздуха в нашем случае необходимо спрогнозировать средние температуры за 8, 9 и 10-й день. Для этого строится самостоятельная (также полностью адаптивная) статистическая модель, в потенциальные предикторы которой в силу физического содержания предиктанта (осредненные по времени и пространству очаги холода и тепла) входят величины, связанные с перестройкой (тенденциями изменения) высотного поля геопотенциала (характеризующего условия формирования и перемещения воздушных масс), осредненные по площади, окружающей точку прогноза. Эти предикторы (которые в дальнейшем дополнялись некоторыми предикторами из модели прогноза температуры воздуха по дням) вычисляются по прогностическим полям ГДМА. Прогноз аномалии температуры воздуха на декаду получается (после просеивания предикторов, решения уравнений множественной регрессии и расчета прогностического значения предиктанта δT_{8-10}) следующим образом:

$$\delta T_{dek} = \frac{1}{10} \left(\sum_{i=1}^7 \delta T_i + 3 \cdot \delta T_{8-10} \right),$$

где первое слагаемое в правой части рассчитывалось из спрогнозированных ранее аномалий температуры воздуха по дням.

Оправдываемость прогнозов экстремальной температуры воздуха и оценка декадных прогнозов температуры воздуха

Данные об оправдываемости прогнозов экстремальной температуры воздуха за 2009 год в среднем для административных центров всех субъектов Российской Федерации (в сравнении с прогнозами составляемыми в ЦГМС и передаваемыми в ГУ «Гидрометцентр России» в коде КП-68, и с инерционными прогнозами) представлены в табл. 1.

На первые сутки для каждой строки оценено около 27000 прогнозов, на вторые сутки – около 16000 прогнозов, на третьи сутки – также около 16000 прогнозов; разница в количестве прогнозов от первых ко вторым и третьим суткам связана с тем, что не все УГМС составляют и присылают прогнозы на вторые и третьи сутки.

Таблица 1

**Показатели успешности прогнозов минимальной и максимальной температуры воздуха
до трех суток по административным центрам субъектов РФ, средние за 2009 год**

Заблаговременность	Метод прогноза	Температура	Абсолютная ошибка	Относительная ошибка	Оправдываемость по Наставлению, [3], %
Первые сутки	УГМС	min	1,9	0,66	87
		max	1,9	0,69	87
	РЭП	min	1,7	0,56	91
		max	1,5	0,54	92
	Инерция	min	3,0	1,00	68
		max	2,9	1,00	71
Вторые сутки	УГМС	min	2,2	0,58	81
		max	2,1	0,56	83
	РЭП	min	1,9	0,48	87
		max	1,7	0,46	89
	Инерция	min	4,2	1,00	55
		max	4,0	1,00	56
Третьи сутки	УГМС	min	2,4	0,56	77
		max	2,3	0,61	79
	РЭП	min	2,2	0,50	82
		max	2,2	0,49	83
	Инерция	min	4,7	1,00	50
		max	4,6	1,00	49

Данные об оправдываемости прогнозов декадной температуры воздуха (средней за скользящие декады и для 36 календарных декад 2009 года (в сравнении с инерционными прогнозами) приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Оценка декадных прогнозов температуры воздуха, составленных
в Гидрометцентре России (в сравнении с инерционными прогнозами)
по территории России в среднем за 2009 год**

	Метод прогноза	Абсолютная ошибка	RO	Оправдываемость по Наставлению, [3], %
Средняя за скользящие декады	РЭП	1,4	0,8	93,7
	Инерция	3,4	0,3	59,0
Средняя для 36 календарных декад	РЭП	1,4	0,7	93,0
	Инерция	3,4	0,3	57,6

Примечание. RO – оценка по совпадению знаков аномалии.

**Методика составления прогнозов ОЯ – аномально холодной погоды
на территории России в осенне-зимний (отопительный) период**

Как известно, в любой момент времени и в любой точке пространства значение температуры воздуха можно представить в виде суммы климатической нормы и аномалии температуры воздуха. Исходя из многолетнего опыта обеспечения прогнозами температуры воздуха различных отраслей экономики, в том числе связанных с энергопотреблением, мы видим большую эффективность в использовании прогнозов аномалий температур воздуха наряду с использованием прогнозов абсолютных значений температуры воздуха. Организованная в ГУ «Гидрометцентр России» технология составления предупреждения об ОЯ – аномально холодной погоде в отопительные периоды выглядит следующим образом.

В период с октября по апрель в Отделе краткосрочных прогнозов и опасных явлений ГУ «Гидрометцентр России» составляется прогноз аномалий средней суточной температуры и минимальной температуры ночью по субъектам Российской Федерации. При наличии в прогнозе аномалии средней суточной температуры (ниже минус 7 °С в

течение пяти суток и более) составляется предупреждение для *Правительственной комиссии по обеспечению безопасности энергоснабжения*.

Основой для данного прогноза, как уже отмечалось выше, являются прогностические материалы, подготовленные по схеме РЭП. Прогнозист анализирует синоптическую обстановку на территории тех субъектов России, которые по рассчитанным значениям аномалии температуры воздуха входят в критерии потенциально опасных для обеспечения безопасности энергоснабжения. При этом анализируется весь комплекс аэросиноптических материалов, доступных на данный момент времени и с максимальной заблаговременностью. Проводится анализ прошедшей погоды, где основное внимание уделяется значениям минимальной температуры воздуха. При необходимости прогнозист вносит изменения в выходные данные расчетов по схеме РЭП и формирует список субъектов Российской Федерации, на территории которых ожидается аномально-холодная погода.

Работу синоптика по выявлению и прогнозу зон с аномалиями температуры воздуха рассмотрим на примере прогноза экстремально низких температур.

Используются следующие данные наблюдений и прогнозов:

1. Карта синоптического анализа за 00 ВСВ текущих суток.
2. Прогностические карты H-500 и P₀ по модели ЕЦСПП на 24–168 ч.
3. Карты максимальных значений температуры по территории России за предшествующий день и минимальных температур за прошедшую ночь.
3. Прогностические материалы, полученные по схеме РЭП:
 - 4.1. Прогностические карты по территории России ежедневной аномалии температуры воздуха на 48–144 часов (5 карт).
 - 4.2. Прогностическая карта по территории России аномалий температуры на пентаду с заблаговременностью 5 суток.
 - 4.3. Прогностическая карта по территории России аномалий температуры на декаду с нулевой заблаговременностью.
 - 4.4. Таблицы прогноза средней пентадной температуры воздуха и ее аномалии по 83 субъектам Российской Федерации.
 - 4.5. Таблицы прогноза экстремально низкой температуры воздуха (по пунктам) по 83 субъектам Российской Федерации.

Последовательность работы синоптика. Проводя анализ фактической синоптической обстановки с использованием карт синоптического анализа, карт фактических значений максимальной и минимальной температуры за ближайшие день и ночь, прогностических карт ЕЦСПП на 24–168 ч (материалы 1, 2, 3); выявляются синоптические процессы и территории, где существует угроза вторжения холодных воздушных масс и дальнейшего понижения температуры за счет радиационного выхолаживания. Далее синоптический анализ подкрепляется анализом расчетных данных по схемам РЭП (материалы 4.1–4.5).

Синоптику необходимо решить две задачи:

1. Выявить наличие зон экстремально низких температур, где прогностические значения (материалы 4.5) минимальных температур ниже порога, определенного для данных территорий как критерий ОЯ (сильный мороз). При выявлении таких зон разрабатывается штормовое предупреждение не зависимо от продолжительности периода.

2. Определить территории (субъекты России), где фактические и ожидаемые значения среднесуточной температуры воздуха ниже климатической нормы на 7 °С и более.

Анализ производится в следующей последовательности:

– по прогностической карте (материалы 4.2) выявляются регионы, где аномалия температуры составляет -4 °С и ниже;

– по ежедневным прогностическим картам аномалии температуры воздуха на 48–144 ч (материалы 4.1) по территории России уточняются регионы, где ежесуточные аномалии температуры составляют $-6...-8$ °С и ниже. Определяется направление перемещения таких зон и продолжительность периода низких значений аномалий температуры. Выписываются регионы (желательно географическое разграничение для больших субъектов РФ, если прогностические температурные характеристики существенно варьируют по территории), где продолжительность таких ежесуточных аномалий температуры составляет более трех дней (табл. 3).

**Прогноз значительных отрицательных температурных аномалий
в субъектах Российской Федерации**

№ п/п	Субъект Федерации	Период действия прогноза	Аномалия температуры за прогностический период, °С	Минимальная температура, °С
1	Ямало-Ненецкий автономный округ	12–15 марта	–12...–7	–41...–36
2	Таймырский муниципальный район Красноярского края	12–17 марта	–12...–7	–45...–40
3	Эвенкийский муниципальный район Красноярского края	13–17 марта	–13...–8	–45...–40
4	Туруханский муниципальный район Красноярского края	12–16 марта	–12...–7	–41...–36
5	Северные районы Иркутской области	14–17 марта	–12...–7	–41...–36
6	Западные районы Республики Саха (Якутия)	12–17 марта	–12...–7	–48...–43

– по прогностической карте аномалий температуры по территории России за декаду с нулевой заблаговременностью (материалы 4.5) и анализу синоптической ситуации по гидродинамическим схемам (до 168 часов) оценивается продолжительность периода с аномалией ниже -7 °С. В силу объективных оценок прогностических схем, не стоит периодом действия прогноза охватывать более 5 суток. При необходимости можно через 2–3 дня сделать уточнение к данному прогнозу;

– используя таблицу прогноза средней пентадной температуры воздуха и ее аномалии по 83 субъектам Российской Федерации (материалы 4.4) и таблицу прогноза экстремально низкой температуры воздуха (по пунктам) по 83 субъектам Российской Федерации (материалы 4.5) с учетом возможной прогностической корректировки заполняются два правых столбца табл. 3;

– после проверки полученных данных оформляется установленный бланк предупреждения, на основании табл. 3. Отправляется информация в адреса членов Правительственного штаба и территориальные Управления Росгидромета, на территории которых располагаются регионы, отмеченные в табл. 3.

Учитывая опыт составления данных прогнозов ОЯ в течение двух прошедших зимних (отопительных) периодов 2008/2009 гг. и 2009/2010 гг., следует отметить высокое качество автоматизированных прогнозов по схеме РЭП. Прогнозист в большинстве

случаев вносит лишь незначительные изменения в результаты расчетов по данной схеме. По авторским оценкам, итоговая оправдываемость предупреждений составляет около 87 %.

Литература

1. *Р.М. Вильфанд, П.П. Васильев, Е.Л. Васильева, Г.К. Веселова, И.А. Горлач.* Среднесрочный прогноз температуры воздуха и возникновения некоторых ОЯ по технологии Гидрометцентра России // Метеорология и гидрология. – 2009. – №10.
2. РД 52.88.699–2008. Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений.
3. РД 52.27.724–2009. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения.

Формат 60x84/16. Печать офсетная.
Печ. л. 0,8. Тираж 300 экз. Заказ № 705.
Отпечатано на ОАО Фабрика офсетной печати
249039, г. Обнинск, ул. Королева, 6