

# ПРОГНОЗ ПОГОДЫ КАК ЗАДАЧА XXI ВЕКА



РУКОВОДИТЕЛЬ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ  
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ  
Александр Васильевич Фролов

Погода – это состояние атмосферы в данный момент времени и в определенной местности. Погода оказывает влияние на наш образ жизни, причем на ту ее составляющую, которой мы пока не можем управлять.

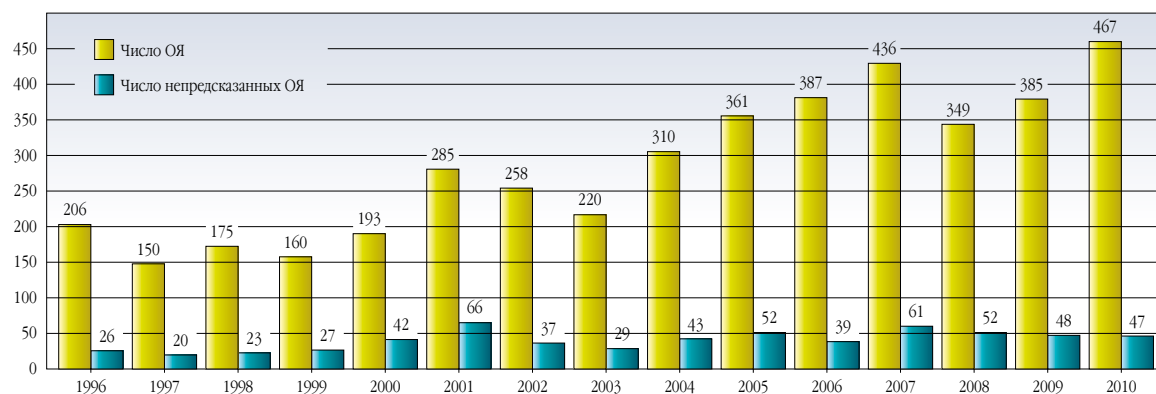
Для летчиков, моряков, хлеборобов, а также для представителей ряда других профессий непрерывно меняющиеся атмосферные явления играют большую роль при принятии важнейших решений в своей деятельности.

На первый взгляд может показаться странным, но с развитием цивилизации зависимость общества от погоды не снижается. Появление все более сложной высокотехнологичной инфраструктуры в крупных городах и мегаполисах лишь повышает риск и потенциальный масштаб негативного воздействия экстремальных погодно-климатических явлений.

По данным Мюнхенской перестраховочной компании, ведущей многолетнюю статистику опасных природных явлений и катастроф, их количество за последние 30 лет удвоилось. При этом ежегодные годовые потери мировой экономики увеличились практически в два раза и составляют 130 млрд. долларов.

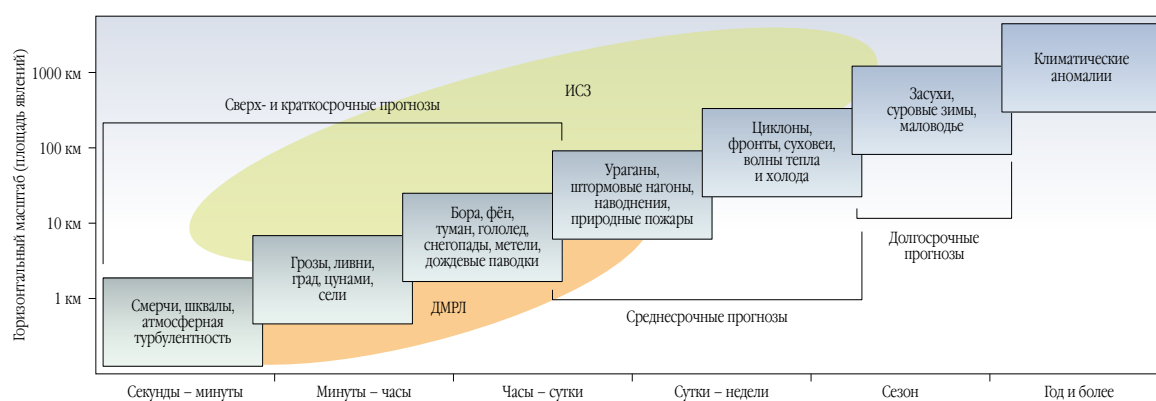
Следует отметить, что 90% всех природных катастроф связаны с резкими изменениями погоды, штормами, градом, селями, наводнениями, засухами, то есть явлениями гидрометеорологического характера, и только 10% – с природными явлениями геофизического происхождения, такими как землетрясения и извержения вулканов. Более того, именно число гидрометеорологических явлений, в том числе опасных погодных явлений, имеет заметную тенденцию к росту. В качестве одной из причин этого роста часто указывается на глобальное потепление климата, приводящее к увеличению испарения с поверхности Мирового океана и росту в атмосфере содержания водяного пара, являющегося «горючим» для атмосферной циркуляции.

1



КОЛИЧЕСТВО ОПАСНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ (ОЯ), НАНЕСШИХ УЩЕРБ, И КОЛИЧЕСТВО НЕПРЕДСКАЗАННЫХ ОЯ В РОССИИ ЗА ПЕРИОД С 1996 ПО 2010 ГОД

2



ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ МАСШТАБЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

На территории России, по данным Росгидромета, число опасных гидрометеорологических явлений, нанесших ущерб, увеличивается в среднем на 6% в год. В 2010 году зарегистрировано рекордное число случаев – 467 (рис. 1).

Наиболее масштабными по области распространения, интенсивности и продолжительности, а также нанесшими огромный ущерб были такие явления, как чрезвычайная пожарная опасность, атмосферная и почвенная засухи. Вместе с тем большую угрозу представляют и быстроразвивающиеся, небольшие по объему опасные явления погоды, такие как грозы, град, смерчи, сильные ливни и вызванные ими дождевые паводки и сели. Их трудно обнаружить с помощью сети стандартных метеорологических наблюдений, но еще труднее дать прогноз их развития (рис. 2).

По оценкам экспертов Всемирного банка, ежегодный прямой ущерб от воздействия опасных гидрометеорологических явлений составляет 40–60 млрд. рублей. С учетом косвенного ущерба (опоздания на работу, задержки рейсов, повреждения, нанесенные природной среде и здоровью человека, и т.д.) эта цифра возрастает на порядок. Так убытки только в агропромышленном секторе России, вызванные засухой 2010 года, оцениваются суммой порядка 110 млрд. рублей, а ущерб от лесных и торфяных пожаров еще предстоит оценить.

Отсюда следует, что потребность населения, органов государственной власти и отраслей экономики в своевременном и точном прогнозе погоды в XXI веке возрастет. Спрос общества на гидрометеорологическую информацию должен быть обеспечен путем модернизации и развития технической, технологической и кадровой базы гидрометеорологической службы страны.

Решению этой задачи посвящена разработанная Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Стратегия развития гидрометеорологической деятельности Российской Федерации до 2030 года, одобренная распоряжением Правительства Российской



3



ТИПОВОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ  
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

4



РОССИЙСКИЙ ДОПЛЕРОВСКИЙ ПОЛЯРИЗАЦИОН-  
НЫЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ РАДИОЛОКАТОР С-  
ДИАПАЗОНА С КОМПРЕССИЕЙ СИГНАЛОВ

Федерации от 3 сентября 2010 года №1458-р. Согласно стратегии необходимо технически перевооружить и поддержать на самом современном мировом уровне все взаимосвязанные технологии прогностической системы: получение информации о состоянии окружающей природной среды, ее сбор, передачу, анализ и обработку данных, их накопление и архивацию, формирование информационных продуктов и доведение их до потребителей.

Последние разработки в области атмосферных наук и технологий создают хорошие стартовые условия для повышения точности прогнозов погоды и опасных погодных явлений, оказывающих негативное воздействие на людей и отрасли экономики. Благодаря им возможны:

- развитие систем наблюдений атмосферы Земли наземного, морского и космического базирования;
- экспоненциальный рост объемов памяти и производительности суперкомпьютеров, позволяющих создавать и применять для прогноза погоды сверхсложные математические модели атмосферной циркуляции;
- появление новых теоретических знаний о нелинейной «хаотической» природе атмосферных процессов.

Основным источником информации о погоде являются пункты наблюдений Росгидромета, составляющие государственную наблюдательную гидрометеорологическую сеть, а данные наблюдений являются наиболее ценной и дорогостоящей частью гидрометеорологической информации.

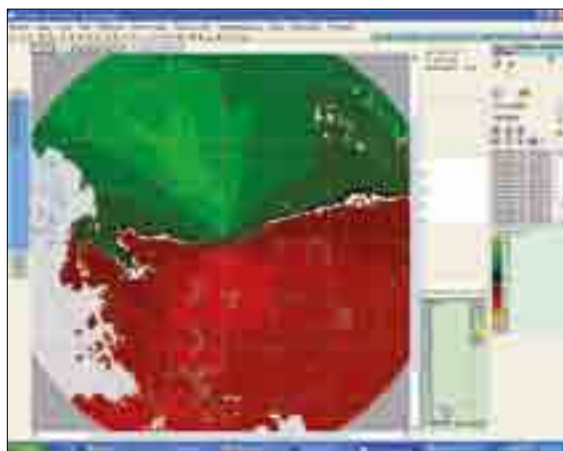
Наблюдательная сеть Росгидромета является комплексным техническим средством, состоящим из наземной и спутниковой подсистем. Наземная подсистема обеспечивает проведение более 20 программ наблюдений – метеорологических, аэрологических (высотного зондирования), климатических, гидрологических, морских, геофизических и др. По состоянию на 1 января 2011 года подсистема наземных наблюдений Росгидромета насчитывала 1877 стационарных станций и 3110 постов.

На 1047 метеорологических станциях производятся агрометеорологические наблюдения, необходимые для обеспечения сельскохозяйственных товаропроизводителей информацией о складывающихся и ожидаемых погодных условиях, их возможном воздействии на объекты сельскохозяйственного производства и ожидаемую продуктивность сельскохозяйственных культур.

Метеорологическая сеть распределена по территории России крайне неравномерно, с максимальной плотностью в густонаселенных районах. За годы перестройки и экономического

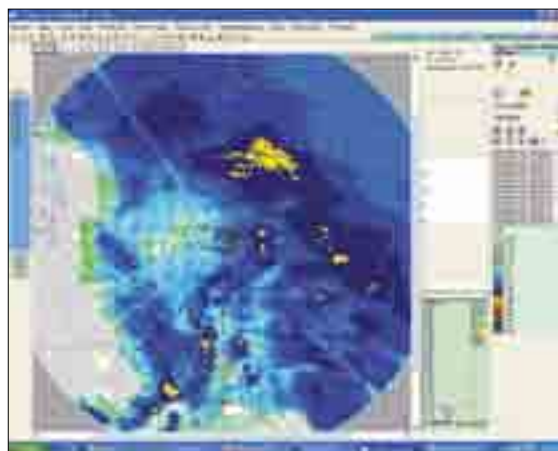


5А



ДОПЛЕРОВСКАЯ СКОРОСТЬ

5Б



ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ВЕТЕР

5В



ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ ВЕТРА

5Г



ВРЕМЕННОЙ ХОД ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ВЕТРА

кризиса 1990-х годов количество пунктов наблюдений сократилось примерно на одну треть. Помимо количества станций важен также уровень их технической оснащённости. На рубеже XX–XXI веков 85% средств наблюдений метеорологической сети многократно выработали свои сроки эксплуатации, а многие сетевые здания и сооружения пришли в ветхое состояние.

В этих условиях Правительство Российской Федерации 8 февраля 2002 года приняло постановление №94 «О мерах по обеспечению выполнения обязательств Российской Федерации по международному обмену данными гидрометеорологических наблюдений и осуществлению функций Мирового метеорологического центра в г. Москве», которое открыло возможность привлечения заемных средств Мирового банка (МБРР) для модернизации инфраструктуры Росгидромета, в том числе государственной наблюдательной сети.

В настоящее время за счет привлеченных средств МБРР ведется полномасштабная модернизация метеорологической сети. Уже поставлено 1842 автоматизированных метеорологических комплекса (АМК) и автоматических метеорологических станции (АМС). Из этого количества на конец 2010 года было установлено около половины. Остальные станции будут установлены в течение 2011 года (рис. 3).

Базовая комплектация АМК/АМС содержит измеритель температуры и влажности воздуха, измеритель параметров ветра, измеритель давления, а также измеритель жидких осадков. Существует возможность установки дополнительных датчиков – температуры почвы, продолжительности солнечного сияния, твердых осадков, высоты снежного покрова, горизонтальной дальности видимости.

Для оперативного сбора данных внедрена комплексная телекоммуникационная система низовой метеорологической связи и системы бесперебойного электроснабжения. Установлены современные средства связи: телефонные модемы, GPRS-модемы, устройства широкополосного доступа в Интернет, низкоорбитальные спутниковые модемы, VSAT-терминалы, радиомодемы и другое оборудование. Использование всех перечисленных систем позволило значительно повысить качество собираемой информации.





6



КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ «МЕТЕОР-3М» №1

7



ПЕРСПЕКТИВНАЯ ГРУППИРОВКА РОССИЙСКОЙ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ЗЕМЛЕЙ

Основой существенного улучшения прогнозирования быстроразвивающихся гидрометеорологических процессов должно стать создаваемое в настоящее время единое метеорологическое радиолокационное поле от Калининграда до Владивостока на базе отечественных доплеровских радиолокаторов ДМРЛ-С, разработанных по техническому заданию Росгидромета ООО «Концерн ПВО «Алмаз-Антей» (рис. 4). В ходе испытаний радиолокатора ДМРЛ-С выявлены его высокие эксплуатационные характеристики, по ряду параметров превосходящие аналогичные зарубежные образцы. Успешное завершение испытаний уже с 2011 года позволило начать серийное производство этого замечательного оборудования.

Доплеровский радиолокатор позволяет, в частности, определять трехмерное поле ветра с высокой детализацией по пространству с шагом в 2 км (рис. 5).

Другим серьезным укреплением наблюдательной сети должно стать развитие гелиогеофизической службы по специальной федеральной целевой программе, где предусмотрено и уже реализуется создание самолетных средств наблюдения, системы грозопеленгации и прогнозирования молний, высотное баллонное зондирование на базе системы «ГЛОНАСС», лидарное зондирование атмосферы и многое другое.

Важным звеном системы прогноза погоды является космическая группировка гидрометеорологических спутников. В сентябре 2009 года запущен российский полярно-орбитальный метеоспутник нового поколения «Метеор-3М» №1, информация с которого имеет большое значение для повышения точности оценки текущего состояния глобальной циркуляции атмосферы (рис. 6).

Вместе с тем одного спутника для нашей страны с самой большой территорией в мире явно недостаточно. России, чтобы не зависеть от зарубежной спутниковой информации, являющейся, по сути, стратегической, нужно иметь национальную группировку в составе трех полярно-орбитальных и трех геостационарных метеоспутников (рис. 7).

20 января 2011 года с космодрома Байконур осуществлен запуск ракеты космического назначения «Зенит-2СБ» с разгонным блоком «Фрегат-СБ» и российским метеорологическим космическим аппаратом «Электро-Л» №1. Этот геостационарный гидрометеорологический космический аппарат предназначен для оперативного наблюдения за состоянием атмосферы и поверхности Земли с периодичностью 30 и 15 минут для прогноза погоды (рис. 8).

Создание прогноза погоды – один из наиболее трудоемких вычислительных процессов, так как за короткое время требуется обработать огромный массив данных. Справиться с такой операцией могут только суперкомпьютеры. В 2009 году Главный вычислительный центр Росгидромета ввел в эксплуатацию высокопроизводительный вычислительный комплекс с пиковой производительностью 27 Тфлопс (27 трлн. операций с плавающей запятой в секунду), который объединяет 2 кластера. Первый – кластер SGI Altix Ice 4700 с пиковой производительностью 11 Тфлопс (1664 процессорных ядра Intel Itanium2, оперативная память 6,6 Тбайт) с узлом в 128 процессор-





ПОДГОТОВКА К ЗАПУСКУ РОССИЙСКОГО  
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «ЭЛЕКТРО-Л» №1

ных ядер (4 Гбайт на процессорное ядро). Второй – кластер из стандартных серверов SGI Altix Ice 8200 с пиковой производительностью 16 Тфлопс (1408 процессорных ядер Intel Xeon e5440, оперативная память 2,8 Тбайт) с узлом из 8 процессорных ядер (2 Гбайт на процессорное ядро).

По общей производительности – 27 Тфлопс – комплекс превосходит предыдущий суперкомпьютер Росгидромета Cray Y-MP в 10 тыс. раз. Для проведения вариационного усвоения данных наблюдений и выпуска детализированных прогнозов погоды требуются вычислительные мощности в 1 тыс. раз более мощные. Эти перспективные супервычислительные машины позволят обработать весь объем данных ДМРЛ и спутников, что позволит увеличить заблаговременность прогнозов погоды до 8–10 суток.

Однако, несмотря на все технические возможности, все-таки невозможно описать точно текущее состояние атмосферы. Данные наблюдений неоднородно распределены в пространстве и во времени и содержат инструментальные ошибки. В результате всегда будет существовать неточность начальных данных, вводимая в прогностическую модель. Из-за нелинейности атмосферных процессов любые даже небольшие просчеты в определении начального состояния атмосферы могут привести к существенным ошибкам в описании ее эволюции на интервале прогноза. К этому следует добавить погрешности самой прогностической модели. В итоге результаты численных прогнозов всегда содержат некоторую неопределенность.

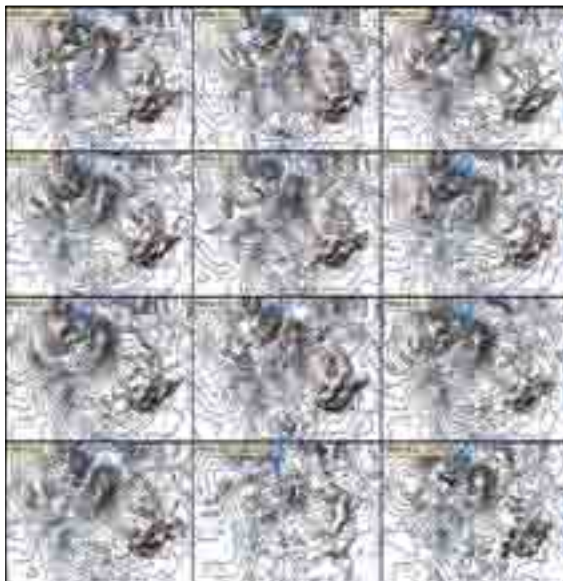
Задача состоит в том, чтобы выразить присущую неопределенность количественным образом. В этом случае ценность прогнозов для лиц, принимающих решения, значительно возрастает. Решение этой проблемы состоит в использовании группы прогнозов (ансамбля) по ряду отличающихся начальных условий для одной модели или группы моделей численного прогноза с различными, но равновероятными приближениями. Ансамбль прогнозов охватывает ряд возможных результатов, обеспечивая диапазон данных, где могут возрасти неопределенности. В результате по ансамблю прогнозов можно автоматически получить информацию о вероятностях применительно к требованиям потребителей.

Ансамблевые системы прогноза, используемые в Гидрометеорологическом центре Российской Федерации, могут давать широкий набор выходной продукции, которая помогает пользователю оценить меру доверия к прогнозу и использовать этот прогноз наилучшим образом.

Существуют различные формы представления результатов ансамблевых прогнозов для пользователя. Например, все прогнозы ансамбля могут быть представлены на одной карте (так на-

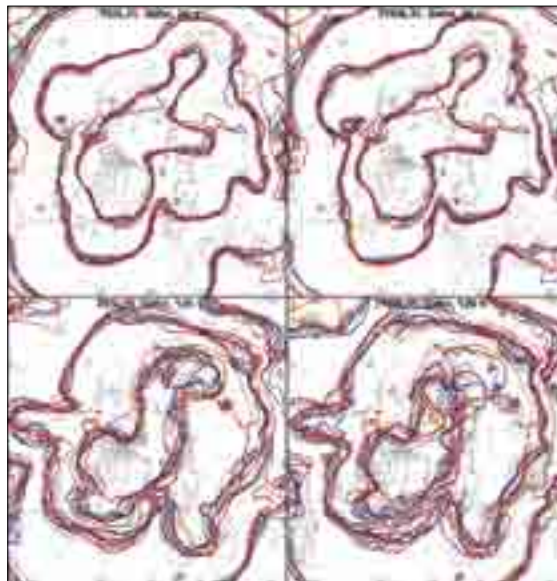


9



РЕЗУЛЬТАТ АНСАМБЛЕВОГО ПРОГНОЗА ПРИЗЕМНОГО ДАВЛЕНИЯ ОТ 27.11.2010 С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ 120 Ч., ПРЕДСТАВЛЕННЫЙ В ВИДЕ «ПОЧТОВЫХ МАРОК»

10



РЕЗУЛЬТАТ АНСАМБЛЕВОГО ПРОГНОЗА ТЕМПЕРАТУРЫ АТМОСФЕРЫ НА УРОВНЕ 850 гПА ОТ 15.03.2011 С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЯМИ 24 И 120 Ч., ПРЕДСТАВЛЕННЫЙ В ВИДЕ КАРТ «СПАГЕТТИ»

зываемые карты «Почтовые марки»), которые дают возможность сразу увидеть различные вероятные сценарии развития синоптической ситуации (рис. 9).

Другим эффективным способом представления прогностической информации ансамблевой системы являются карты типа «спагетти». На них наносятся всего несколько изолиний, но для всех прогнозов ансамбля (рис. 10). Интерпретация таких карт требует известных навыков, так как их вид зависит от градиентов рассматриваемого поля. В области слабых градиентов разброс изолиний может оказаться большим, несмотря на то что ситуация здесь на самом деле хорошо предсказуема. И наоборот, в области сильных градиентов разброс изолиний может оказаться малым, несмотря на то что различные прогнозы по ансамблю здесь сильно различаются, указывая тем самым на малую его надежность.

Анализ разброса прогнозов в ансамбле позволяет оценить предсказуемость ситуации. Малый разброс указывает на малую ошибку прогноза, большой разброс – на большую. Карты, показывающие среднее по ансамблю поле и разброс прогнозов ансамбля, могут быть практически очень полезны. На таких картах обычно изображают среднее по ансамблю прогностическое поле с помощью изолиний, а разброс представляют с помощью цвета. В качестве меры разброса в ансамбле наиболее часто используют среднееквадратическое отклонение различных прогнозов ансамбля от среднего по ансамблю. Такие карты помогают идентифицировать области, где неопределенность прогноза велика.

С помощью ансамблевого прогноза прогнозируется плотность вероятности различных состояний атмосферы в будущем. По ансамблю прогнозов можно оценить вероятности различных событий. Например, если 5 из 10 прогнозов ансамбля дают осадки выше 10 мм в сутки, можно сказать, что вероятность осадков выше 10 мм составляет 50%. На основе таких данных можно построить карты, показывающие вероятность какого-либо события, например выпадения осадков более какого-либо порогового значения, или аномалий температуры, или порывов ветра.

В заключение необходимо отметить, что не вызывает сомнения тот факт, что мы наблюдаем рост погодозависимости общества. Это связано с ростом населения стран, развитием экономической деятельности человечества, происходящими климатическими изменениями. Ценность достоверного прогноза погоды высока уже сейчас, и, несомненно, она будет расти в будущем. Так, например, для США «стоимость» одного часа достоверного прогноза погоды оценивается экспертами примерно в 200 млн. долларов.

Но для современного общества недостаточно только иметь достоверный прогноз погоды – необходимо уметь им правильно пользоваться. Эффективное использование прогнозов



погоды позволяет обеспечивать не только безопасность населения, отраслей экономики и материальных ценностей, но и во многих случаях высокий экономический эффект. Наземный транспорт, энергетика, авиация, сельское хозяйство, оборона, страхование – далеко не полный перечень областей применения информации о погоде. Уже сегодня появляются новые сферы ее эффективного применения – складское хранение продуктов, рыночный маркетинг, производство и поставка удобрений.

Прогнозирование погоды – серьезнейшая организационная и высокотехнологичная задача, эффективное решение которой возможно только при совместных усилиях многих стран. По мнению ряда исследователей, международный проект по созданию совершенных методов и технологий расчетов прогнозов погоды и климата является глобальной задачей XXI века, сравнимой по масштабу с проектами освоения космоса.

Любые достижения современной науки, включая, естественно, и технологии прогнозов погоды, могут обеспечивать общество только в определенных пределах, соответствующих современному уровню его развития. В этой связи необходимо отдавать себе отчет в том, что существуют объективные, физически обоснованные временные пределы детального прогноза погоды, составляющие величину не более 12–14 дней. На больших временных интервалах возможно получать только вероятностные оценки. Это обстоятельство является крайне важным для понимания потенциальных возможностей в сфере человеческой деятельности.