КАК ПОДКАРАУЛИТЬ

Джейн Любченко и Джек Хейс

УРАГАН

Новые технологии увеличат время на предупреждение о надвигающихся торнадо и ураганах и сохранят жизнь сотен людей

ОБ АВТОРАХ

Джейн Любченко (Jane Lubchenco) — директор *NOAA* с 2009 г. Будучи морским экологом и специалистом по окружающей среде, она занимается экспертной оценкой изменения океанов, климата и взаимосвязью окружающей среды и благосостояния общества.

Джон «Джек» Хейс (John L. "Jack" Hayes) — директор Национальной службы погоды при *NOAA*, ответственный за подготовку и доставку прогнозов, предупреждений о резких переменах погоды правительству, промышленным предприятиям и гражданам страны.

После оглушительного рева грозы наступает жуткая тишина. Затем с почерневшего неба над Джоплином, штат Миссури, протягиваются щупальца огромного грохочущего торнадо, наступающего множеством вихревых потоков. Ветер со скоростью более 322 км/ч врывается почти на 10 км вглубь города и пробивает брешь шириной 1,2 км, круша на своем пути школы, больницу, учреждения и жилые дома и унося жизни около 160 людей.

Субботним вечером 22 мая 2011 г., почти за 20 минут до удара, государственные метеослужбы передали штормовое предупреждение. Ухудшение погоды продолжалось не один день. А за торнадо велись наблюдения в течение нескольких часов. Предупреждение пришло быстрее, чем обычно, но, очевидно, не достаточно скоро. Хотя должностные лица управления по чрезвычайным ситуациям работали в режиме повышенной готовности, многие жители не успели отреагировать оперативно.

Торнадо в Джоплине — лишь один из примеров трагических исходов ураганов, случившихся весной 2011 г. Месяцем ранее рекордное число ураганов опустошило Юг страны, унеся более 300 людских жизней. Самым насыщенным был апрель, около 700 торнадо побили рекорды всех лет.

2011 г. был четвертым в истории США, отличившимся числом жертв, вызванных торнадо, — 550. Этот ураганный год обошелся слишком дорого. 14 природных катастроф 2011 г., от торнадо в Джоплине до наводнения, поднятого ураганом, и снежных бурь нанесли ущерб более $1млрд каждая. В начале 2012 г. напряженная обстановка сохранилась, 2 марта вследствие ураганов погибло более 40 человек в 11 штатах Среднего Запада и Юга страны.

Технические средства для предсказания чрезвычайных проявлений погоды в последние десятилетия шагнули далеко вперед, но ученые и инженеры из Национального управления океанических и атмосферных исследований *(NOAA)* работают над усовершенствованием радаров, спутников, суперкомпьютеров. Ведь необходимо дать больше времени на оповещение о торнадо, грозах, точнее определять интенсивность ураганов и прогнозировать наводнения. При успешной работе уже через десять лет жители смогут получить уведомление за час до прихода, например, сильного торнадо. Этого будет достаточно, чтобы оправиться от стресса, собрать семью и найти укрытие.

Сила радара

Метеоролог Дуг Форсайт (Doug Forsyth) возглавляет работы по усовершенствованию радара, играющего важную роль в прогнозировании погоды. Форсайт руководит отделом научных исследований и опытно-конструкторских разработок радара при Национальной лаборатории *NOAA* по изучению мощных циклонов в Нормане, Оклахома. Больше всего его заботит необходимость заблаговременного оповещения о торнадо, потому что смертоносные ураганы образуются быстро, а радар — первое средство улавливания зарождающегося торнадо.

Радар посылает радиоволны, которые отражаются от атмосферных частиц: капель дождя, кристаллов льда, частиц пыли и даже насекомых. По измерениям интенсивности вернувшихся волн и продолжительности их пути туда и обратно синоптики могут определить местонахождение и интенсивность выпадения осадков. С помощью радара Доплера, который в настоящее время

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В условиях изменения климата экстремальные условия погоды, очевидно, будут проявляться все чаще и сильнее, проливные дожди станут интенсивнее, а ураганные ветры крепче.
- В связи с этим улучшение прогнозов погоды становится жизненно необходимым делом, чтобы дать людям больше времени на подготовку к опасным циклонам, спасти их жизнь и свести к минимуму ущерб инфраструктуре.
- Внедрение новых радиолокационных технологий позволит синоптикам лучше рассмотреть чрезвычайные превращения погоды, тому же послужат усовершенствованные спутники, а также прогнозы, сделанные с помощью более мощных суперкомпьютеров.
- Более длинный период оповещения будет эффективным только при условии понимания, как организовать ответные действия.

DAVID MAYHEW (preceding pages)

используется в Национальной службе погоды, также измеряется изменение частоты отраженных волн, что позволяет вычислить направление и скорость движения атмосферных осадков. По этим главным показателям метеорологи могут определить вращение внутри грозовой тучи до того, как образуется торнадо.

В 1973 г. метеорологи *NOAA* Роджер Браун (Rodger Brown), Лес Лемон (Les Lemon) и Дон Берджес (Don Burgess) открыли важные для прогноза показатели, когда они анализировали данные о торнадо, обрушившемся на Юнион-Сити, штат Оклахома. Они отметили очень высокие значения скоростей на выходе, идущие сразу за очень высокими скоростями на входе радара. Изображение этих данных было столь необычно, что они сначала не поняли, что это означает. Однако после их сопоставления с местоположением торнадо они назвали их вихревым образом торнадо *(Tornadic Vortex Signature, TVS)*. Сегодня *TVS* признается самым важным метрическим показателем большой вероятности либо действующего торнадо, либо собирающегося возникнуть в ближайшее время. Эти данные дали возможность предупреждать о торнадо с большим опережением: в среднем по стране в 1987 г. время оповещения составляло 3,5 минуты, сегодня — 14 минут.

Хотя радар Доплера был преобразован, он не вполне совершенен. Форсайт, как и другие метеорологи, не может распознать по его показаниям формы частиц, чтобы, скажем, различать ливневые тучи и пыльные бури. По иронии судьбы, он сменил карьеру летчика, когда не прошел по зрению в Военно-воздушные силы США, на службу метеорологии. С тех пор Форсайт сосредоточился на усовершенствовании радара, чтобы сделать лучше обзор атмосферы.

Одно из важных нововведений известно под названием двойная поляризация. Составители прогнозов с помощью этой технологии могут с большей уверенностью устанавливать различия по видам и количеству осадков. Хотя дождевые капли и градины могут иметь одинаковую горизонтальную ширину и, соответственно, одинаковое отображение на доплеровском радаре, капли дождя более плоские. Зная эти различия форм капель, синоптикам надо меньше прибегать к допущениям при

Наука и общество

ДЕЙСТВЕННОЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Много людей погибло в результате торнадо, обрушившихся на Джоплин, штат Миссури, в мае 2011 г. Смертей могло быть меньше, если бы больше людей быстрее нашли спасительное укрытие. Социолог из *NOAA* Ванкита Браун (Vankita Brown) и группа ученых из Национальной службы погоды исследовали вопрос, как можно было бы лучше организовать людей в этой ситуации. Они выяснили, что большинство из них ничего не предприняли после первого сигнала тревоги, а ждали подтверждения из других источников, в том числе от друзей. Некоторые просто не восприняли достаточно серьезно предупреждение об опасности.

Браун поясняет, что люди обычно думают, что грозные явления, происходящие редко, как торнадо и ураганы, их не коснутся. Чувство безопасности сменяется ощущением опасности внезапно, только когда случается катастрофа, охватывающая все сообщество. После торнадо в Джоплине *NOAA* вынесло на общественное обсуждение вопрос, как готовить население к любому стихийному бедствию.

Подводя итоги различных научных встреч, можно выделить ряд шагов, которые надо предпринять, чтобы убедить большее число людей отозваться на сигнал тревоги. Синоптики могут показывать по телевизору и сообщать по радио точное положение урагана, готовящегося к удару. Поскольку некоторые люди более склонны к активности, если они увидят в действии членов своих семей или друзей, то те, кто находится в процессе подготовки к удару урагана, могут через *Facebook* или *Twitter* повлиять на других. *NOAA* может поддержать такое поведение с помощью новой редакции этих программ, а также размещая предупреждения на первом плане карт *Google* в режиме реального времени. Федеральное агентство по управлению чрезвычайными ситуациями и Федеральная комиссия по связи США начали также распространение сообщений со всех ретрансляторов сотовой связи. Вместе с ранним оповещением подобные действия смогут свести к минимуму трагические события.

г. Джоплин, штат Миссури, август 2009 г.

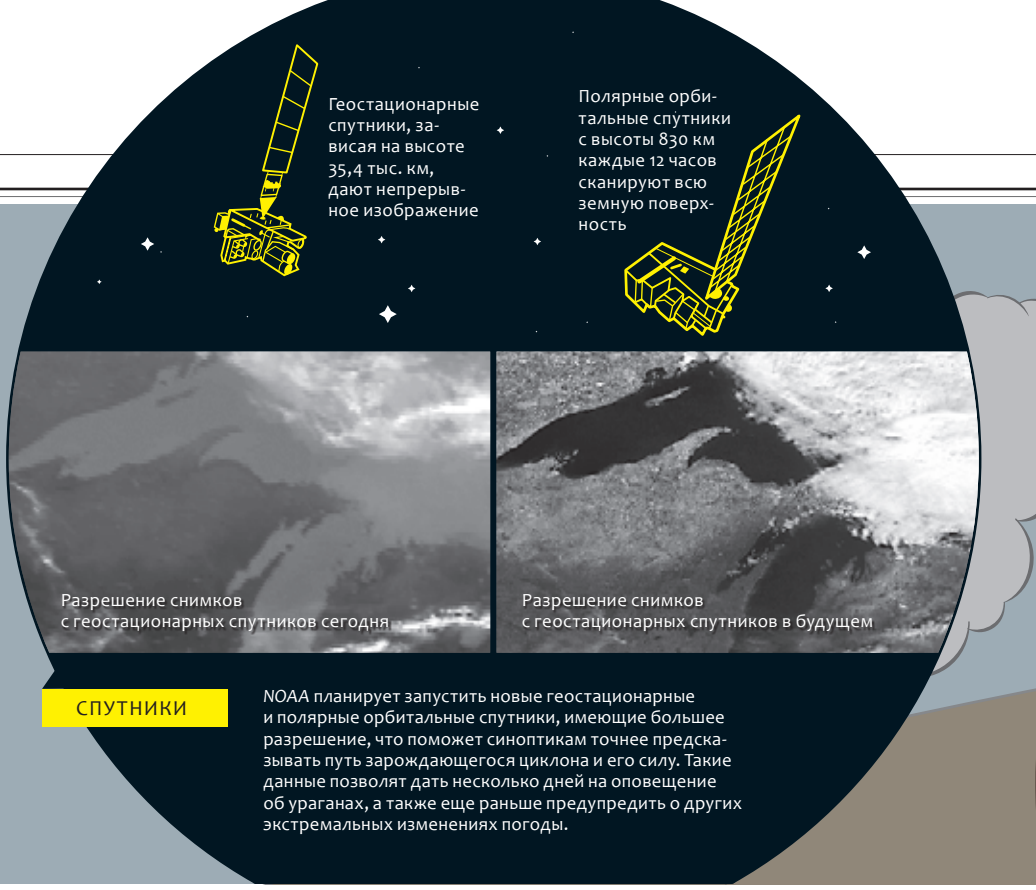
После торнадо, случившегося в мае 2011г.

AP PHOTO/AERIAL IMAGERY COURTESY OF MJ HARDEN, A GEOEYE COMPANY

Технологии будущего

УЛУЧШЕНИЕ ПРОГНОЗОВ ПОГОДЫ

Предсказание циклонов прошло длинный путь развития. Сегодня, например, синоптики могут предупредить граждан США о наступлении торнадо в среднем за 14 минут. На основе технических усовершенствований, разрабатываемых в Национальном управлении океанических и атмосферных исследований, это время может быть существенно увеличено для всех случаев аномальных изменений погоды.



СПУТНИКИ

NOAA планирует запустить новые геостационарные и полярные орбитальные спутники, имеющие большее разрешение, что поможет синоптикам точнее предсказывать путь зарождающегося циклона и его силу. Такие данные позволят дать несколько дней на оповещение об ураганах, а также еще раньше предупредить о других экстремальных изменениях погоды.

определении характера осадков по данным радара. Такое распознавание помогает делать прогнозы более точными, а жителям позволяет быть уверенными, что они должны быть готовы, например, к граду, а не дождю.

Информация о размерах и форме частиц также полезна при рассмотрении обломков, поднятых в воздух торнадо и сильными бурями, чтобы метеорологи могли судить о возможном разрушительном действии. Данные о частицах особенно важны, когда радиолокационные станции следят за торнадо в отсутствие видимости. Если торнадо скрыт пологом сильного ливня или происходит ночью, двойная поляризация помогает и здесь обнаружить обломки в воздухе.

Национальная служба погоды внедряет технологию двойной поляризации, которая нужна для мониторинга выпадения осадков во время ураганов и снежных бурь, в работу всех 160 радаров Доплера в стране. Завершение ожидается к середине 2013 г. Одновременно сотрудники *NOAA* обучают синоптиков расшифровывать новые изображения. Бюро прогноза погоды в Ньюпорте и Морхед-Сити, штат Северная Каролина, было первым, получившим изображения тропического циклона, используя такой радар, когда под действием урагана «Айрин» в 2011 г. В Северной Каролине произошел оползень. Во время той бури радары с двойной поляризацией оказались более точными, чем обычные радары Доплера, в определении скорости выпадения осадков и, соответственно, распространения наводнения, продвинувшегося далеко на север. Так, новые возможности помогли спасти жизнь людей в Северной Каролине; несмотря на раннее оповещение, без применения этих технологий ураган «Айрин» унес бы более чем 30 жизней.

Метеоролог из *NOAA* Пэм Хайнсельман (Pam Heinselman) утверждает, что еще одно радарное усовершенствование, применяющееся в Военно-морских силах США для обнаружения и слежения за кораблями и ракетами противника, может значительно улучшить прогнозы погоды. Хайнсельман возглавляет группу электротехников, синоптиков и социологов в Национальной испытательной лаборатории метеорологических радаров в Нормане, штат Оклахома, которая занимается радиолокационными станциями с фазированной антенной решеткой.

На современных доплеровских радарах наблюдения проводятся при одном угле наклона в данное время с помощью механически поворачивающейся параболической антенны. Завершив поворот на 360°, антенна наклоняется и переходит к обследованию другого сегмента атмосферы. Закончив обзор от самого низкого до самого высокого положения и получив 14 отдельных срезов во время плохих погодных условий, радиолокационная станция начинает процесс снова с самого низкого угла места. Полное сканирование атмосферы в непогоду на доплеровском радаре занимает от четырех до шести минут.

С радиолокационных станций с фазированной антенной решеткой одновременно посылается много лучей, и нет необходимости менять наклон антенны, что сокращает время сканирования до одной минуты и менее. Такое усовершенствование дает метеорологам возможность наблюдать быструю смену воздушной циркуляции во время грозы и в итоге гораздо быстрее заметить изменения, предвещающие торнадо. Хайнсельман и ее группа продемонстрировали, что радары с фазированной антенной решеткой могут собрать данные об еще не разразившемся урагане, например о быстрых переменах в поле скоростей ветра, что предшествует быстрым изменениям силы бури.

COURTESY OF NOAA (*maps*)

Сильные вертикальные потоки теплого влажного воздуха вверх дают начало образованию торнадо, средоточию мощных вихрей штормового ветра

Радары с двойной поляризацией обнаруживают торнадо даже в условиях невидимости человеческим глазом

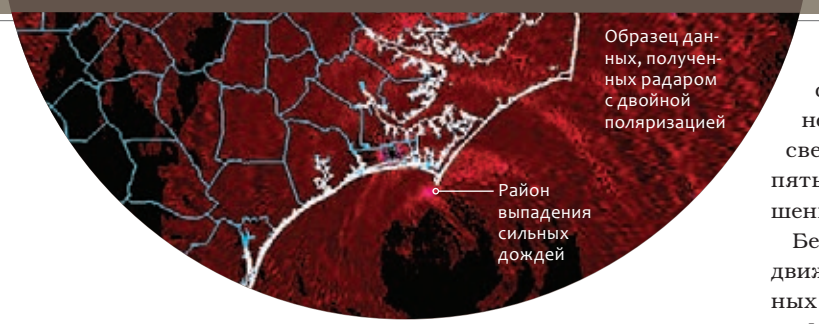
СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ

Загрузка данных с усовершенствованных спутников и радаров в модели, созданные на быстро работающих суперкомпьютерах, даст возможность синоптикам посылать предупреждение до начала наступления погодных катаклизмов

Благодаря компьютерам нового поколения сеть данных может иметь более высокое разрешение *(внизу)*

РАДАРЫ

Усовершенствованные радары дадут больше времени на раннее оповещение. Двойная поляризация *(слева)* внедряется в работу радиолокационных станций по всей стране, она значительно расширяет возможности синоптиков определять районы ливневых осадков. Радары с фазированной антенной решеткой по крайней мере за десять лет до их широкого применения позволили исследователям быстрее и детальнее изучать участки неба, намного раньше отмечая аномалии погоды.



Хайнсельман и другие считают, что применение лишь одной технологии фазированной антенной решетки позволит довести период оповещения о торнадо до 18 минут, но для этого надо провести еще много исследований и конструктивных улучшений. В идеале такая система должна состоять из четырех антенн, посылающих и принимающих радиоволны, чтобы обеспечить полный обзор атмосферы на 360°, по всем сторонам света: север, юг, восток, запад. Исследователи из Нормана сделали систему только с одной антенной для наблюдения за погодой, и это было всего за десять лет до того, как применение фазированных антенных решеток вошло в практику по всей стране.

Глаза в небе

Безусловно, даже лучшие радары не могут заглянуть через горы или в океаны, где и зарождаются ураганы. Синоптики в таких случаях полагаются на данные, полученные со спутников, они также прибегают к ним, чтобы расширить и дополнить информацию, выданную конкретным радаром. Спутники *NOAA*, следящие за погодой, обеспечивают более 90% данных, необходимых для составления прогнозов на день и длинные периоды, и они крайне важны в случаях заблаговременных сигналов тревоги о наступлении долгих дней ненастной погоды. Чтобы улучшить доставку этих важных сведений об окружающей среде, *NOAA* в следующие пять лет внедрит целый ряд новых технологических решений.

Без более конкретных наблюдений со спутников продвижение точных прогнозов погоды, особенно в экстренных ситуациях, как ураганы, было бы сильно ограничено. Мониторинг погоды ведется со спутников двух типов: геостационарных и полярно-орбитальных. Геостационарные спутники закрепляются в одной точке на высоте 35,4 тыс. км и практически непрерывно передают изображение земной поверхности. С помощью серии снимков, сделанных с 15-минутным интервалом, синоптики могут отслеживать быстро растущие циклоны или изменения в ураганах, но не в торнадо.

Полярные спутники облетают Землю по орбите от полюса к полюсу на высоте приблизительно 830 км и дают более детальную картину наблюдений за температурой и влажностью в разных слоях атмосферы. Глобальный охват с этих околоземных спутников обеспечивается каждые 12 часов.

В этом десятилетии *NOAA* планирует запустить новую серию спутников по низкой орбите *(low Earth orbit, LEO)* в составе Объединенной полярной спутниковой системы *(Joint Polar Satellite System, JPSS)*, снабженную обновленным программным обеспечением, соответствующим более сложному оборудованию. Данные с этих спутников послужат для создания компьютерных моделей, чтобы улучшить прогнозы погоды, в том числе точнее определить путь и интенсивность ураганов, сильные грозы и наводнения. Комплексные данные модернизированных микроволновых и инфракрасных датчиков точнее

Illustration by Jameson Simpson

Прогнозные модели основаны на физических законах, управляющих движением в атмосфере, химическими реакциями и другими взаимодействиями. Чтобы составить атмосферный прогноз, они перерабатывают миллионы чисел, отображающих текущее состояние погоды и окружающей среды

передадут пространственное распределение температуры, давления и влажности атмосферы. Это очень важно, т.к. быстрые изменения температуры и влажности на фоне низкого давления означают наличие мощного циклона. Инфракрасные датчики проводят измерения в безоблачном небе, а микроволновые могут просматривать поверхность Земли через облака.

В апреле 2011 г. за пять дней до того, как мощный циклон прошелся по шести южным штатам, ныне действующие полярно-орбитальные спутники *NOAA* выдали данные, после загрузки которых в компьютерные модели Центр предсказания циклонов *NOAA* сообщил о «возможном обрушении исторического торнадо». Центр повысил уровень опасности до наивысшей точки в полночь перед ударом стихии. Такой уровень предусмотрен для чрезвычайных случаев при наименьшей степени неопределенности и может быть применен только когда очевидна вероятность крайне бурного проявления циклона. Новые орбитальные спутники должны выдавать информацию для подобных прогнозов за пять-семь дней до события.

Геостационарные спутники также подвергнутся модернизации. Усовершенствованные приборы, дающее изображение Земли каждые пять минут как в видимом диапазоне, так и в инфракрасном спектре, будут установлены на борту спутников *GOES-R*, серия которых будет запущена в 2015 г. Интервал наблюдения снизится с 15 минут до пяти и менее, что позволит ученым отследить быстрое нарастание мощных циклонов. Впервые в мире с помощью этих спутников можно будет также вести наблюдения за грозовыми разрядами в Западном полушарии. Регистрация молний позволит синоптикам определить скачки частоты вспышек внутри облаков и ударов в землю. Ученые полагают, что учащение грозовых разрядов происходит за 20 или более минут до града, сильного ветра и даже торнадо.

Миллиарды данных

Каждая из новых технологий, применяемых на радиолокационных станциях и спутниках, могла бы добавить несколько минут на оповещение, но комплекс данных, собранных из всех этих систем и заложенных в прогнозные компьютерные модели, может обеспечить больше времени. Например, о торнадо можно было бы послать предупреждение за час. Это то необходимое время, при наличии которого ситуация в Джоплине могла бы сложиться по-другому.

Прогнозные модели основаны на физических законах, управляющих движением воздушных масс, химическими реакциями и другими взаимодействиями. Чтобы составить атмосферный прогноз, они перерабатывают миллионы чисел, отображающих текущее состояние погоды и окружающей среды, таких как показатели температуры, давления и ветра. Представьте сеть, раскинутую над поверхностью Земли. Теперь вообразите другую, на несколько сотен метров выше, и так далее, слой за слоем, до конца стратосферы, около 50 км в высоту. Необходимы миллионы строк программы, чтобы расшифровать миллиарды точек сети наблюдений.

В типичной прогнозной модели используются сети на поверхности Земли со стороной ячеек приблизительно от 8 до 50 км. Чем меньше площадь, тем больше разрешение моделирования и тем точнее будут определены маломасштабные атмосферные возмущения, которые могут породить бурю. Однако обработка большего числа данных требует более быстрой работы суперкомпьютера.

Усовершенствования в моделировании также требуют работы талантливых людей, которые способны интегрировать все эти данные и интерпретировать их. Билл Лапента (Bill Lapenta), исполняющий обязанности директора Центра *NOAA* по моделированию окружающей среды, руководит этими преобразованиями и выдает численные прогнозы на 12, 24, 36, 72 часа вперед и далее. Метеорологи сравнивают модели *NOAA* с другими, поступающими из международных центров моделирования, чтобы выдать прогноз в Интернете или вечерних новостях.

Суперкомпьютеры *NOAA* в Фэрмонте, Западная Виргиния, способны совершать 73,1 трлн вычислений в секунду. Но Лапента считает, что скорости могут быть больше, что позволит работать в еще меньших масштабах. Например, при стороне ячейки сети в 1,6 км можно будет моделировать в мелком масштабе те условия, которые провоцируют переход обычной грозы или урагана в чудовищные формы. *NOAA* планирует начать строить такие модели на суперкомпьютерах в Оук-Риджской национальной лаборатории. Лапента полагает, что моделирование со столь высоким разрешением осуществится к 2020 г.

Лапента верит, что в следующем десятилетии расширенные возможности новых радаров и спутников соединятся с новым поколением детализированных прогнозных моделей, работающих в реальном времени со скоростью, превышающей квинтиллион вычислительных операций в секунду. Поэтому ученые исследуют

математические, физические и биогеохимические взаимодействия, которые надо закодировать таким образом, чтобы они могли сработать вместе.

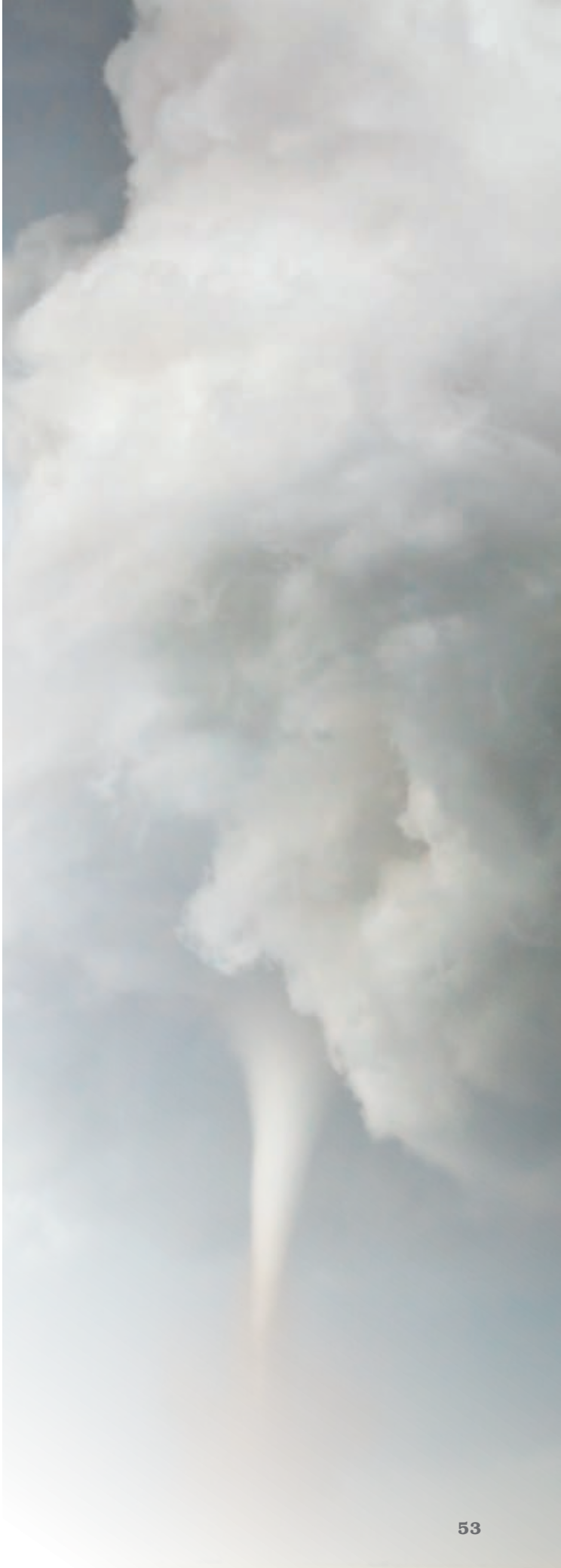
Если вложения *NOAA* в продукт этого «мозгового штурма» оправдаются, то синоптикам не придется ждать изображений на радаре, чтобы определить положение действующего циклона и послать предупреждение за 14–18 минут. Они оповестят о торнадо, сильной грозе или ливневом паводке, исходя из прогнозов высокой точности, созданных на моделях заранее, предоставляя людям 30–60 минут на меры безопасности.

Чем совершеннее научные методы, тем точнее решения

Благодаря всем научно-техническим достижениям метеорологи смогут более точно и заблаговременно прогнозировать опасные условия погоды, которые в состоянии вывести из строя городское хозяйство, как, например, бури со снегом и градом. Наблюдения за погодными аномалиями будут вестись более пяти дней, прогнозы урагана будут составляться за семь дней, а угроза весенних паводков станет известна за недели. Такое представление готовности страны к природным стихиям обусловлено желанием избежать катастроф 2011 г.

Ученые поставили цель, чтобы к 2021 г. восстановленный и цветущий Джоплин получил бы предупреждение о сильном торнадо более чем за час до его удара. Семьи будут иметь в запасе больше времени, чтобы собраться и спрятаться в безопасном месте. Персонал лечебных учреждений сможет отвезти людей в укрытия. Магазины успеют до закрытия обеспечить своим сотрудникам безопасность. Мобильные телефоны будут трезвонить, посылая многочисленные сообщения о необходимости поисков укрытия, в то же время местные метеослужбы станут передавать по радио и телевидению аналогичные сигналы тревоги. Вой сирен возвестит о торнадо и подкрепит предупреждение об опасности. В результате даже самые свирепые торнадо, ударив по городу, не приведут к жертвам. ■

Перевод: В.И. Сидорова



ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

■ NOAA National Weather Service: http://weather.gov

■ NOAA Storm Prediction Center: www.spc.noaa.gov

■ Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special IPCC report. Edited by C.B. Field et al. Cambridge University Press (в печати).

■ Видеоматериалы о том, как справляется NOAA с проблемами экстремальных явлений погоды, см. по адресу: ScientificAmerican.com/may2012/weather