



Землетрясение в Японии 1650 года, до основания разрушившее Токио. Гравюра немецкого художника.

КОГДА СОДРОГНЁТСЯ ЗЕМЛЯ? КРАТКОСРОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Можно ли научиться прогнозировать землетрясения максимум за трое суток (по аналогии с прогнозом погоды)? Сейсмологи непрерывно регистрируют предвестники землетрясений — геоакустическую эмиссию (шумы), колебания уровня подземных вод, выделение литосферных газов, движения земной поверхности и другие тревожные признаки. В странах с активным сейсмическим режимом (например, в Японии) установлено огромное количество всевозможных датчиков и приборов, регистрирующих изменения, происходящие в земной коре. И всё-таки надёжно предсказывать землетрясения не удаётся — они всегда происходят неожиданно. Поэтому утверждения, что краткосрочные прогнозы землетрясений возможны, вызывают в среде сейсмологов изрядный скептицизм.

Кандидат географических наук Виктор БОКОВ, доцент Российского государственного гидрометеорологического университета (РГГМУ), руководитель научно-прогностической лаборатории прогнозов землетрясений (Санкт-Петербург).

Основания для скепсиса достаточно вески, поскольку, в отличие от атмосферы, процессы внутри Земли не видны и для исследования недоступны. Свидетельство тому — измерения, проведённые на Кольской сверхглубокой скважине, которые показали, что реальное строение земной коры значительно отличается от её теоретических описаний. Но именно хорошо изученные и надёжно определяемые атмосферные процессы оказались тесно связаны с сейсмическими явлениями.

Анализ нескольких сотен сильных землетрясений убедил нас, что всем им пред-

шествуют обширные пространственные вариации атмосферного давления. Быстрые перемещения мощных воздушных вихрей — циклонов и антициклонов — вызывают колебания земной коры, деформируют её и служат спусковым (триггерным) механизмом землетрясений, которые уже подготовлены внутренними процессами [1, 7].

В качестве примера рассмотрим поле атмосферного давления в день сильней-

● НАУКА. ДАЛЬНИЙ ПОИСК

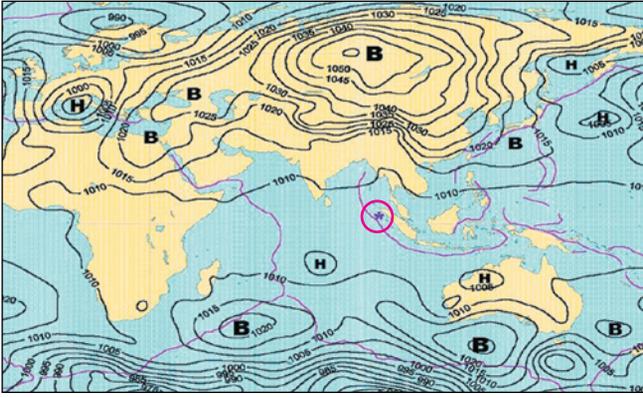


Рис. 1. Синопогическая обстановка в день землетрясения 26 декабря 2004 года у берегов Суматры. Красным кружком отмечен эпицентр землетрясения.

шего землетрясения у берегов Суматры 26 декабря 2004 года (рис. 1). Мощный антициклон тогда расположился практически над всем азиатским континентом и частью Европы, а в Южном полушарии наблюдался мощный антициклон с двумя центрами. В тропической зоне, где произошло землетрясение (отмечено звёздоч-

также в масштабах месяцев и лет.

Проверяя эту гипотезу, мы исследовали связи атмосферных процессов и сильных сейсмических событий на территории Северного полушария в диапазоне межгодовой изменчивости [2]. На графиках изменений атмосферных циркуляций во времени и числа землетрясений с магнитудой $M \geq 7$ наблюдается хорошо выраженная связь (рис. 2А). Особый интерес представляет эта связь с сильнейшими землетрясениями ($M \geq 8$), которые происходят не каждый год; они представлены крупными точками (рис. 2Б). Долгосрочные прогнозы землетрясений, разработанные сейсмологами, были бы точнее при учёте этой связи.

В диапазоне сезонной изменчивости сейсмологи не смогли получить каких-либо однозначных физических объяснений внутреннего распределения землетрясений — в одних работах зависимость их числа от времени года признаётся, в других отрицается. К причинам, меняющим их число, относят сезонное изменение угловой скорости вращения Земли, лунные и солнечные приливы и другие факторы, но какой-либо закономерности в сезонном ходе сильных землетрясений не выявили.

К решению этой задачи мы подошли с другой сторо-

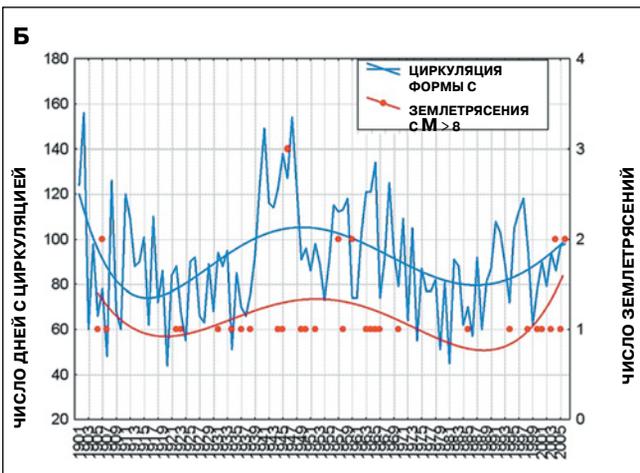
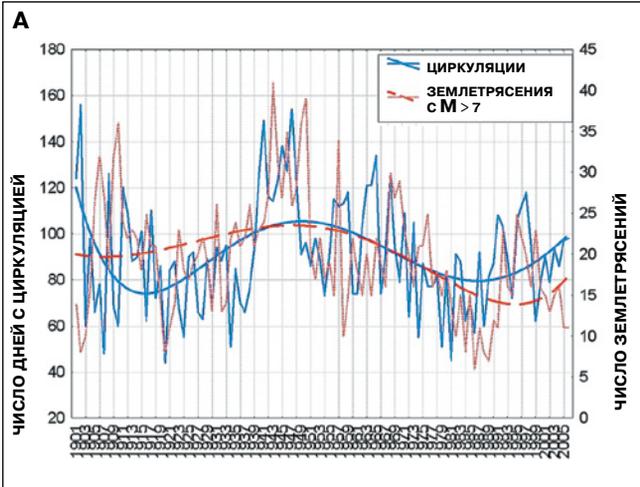


Рис. 2. А. Совпадение во времени атмосферных циркуляций в меридиональном направлении и землетрясений с $M \geq 7$. Б. То же для землетрясений с $M \geq 8$.

ны: связали внутригодичное изменение числа землетрясений в сейсмоактивных регионах Земли и повторяемость циклонов и антициклонов за год [3]. Для района Кавказа, например, число подвижных циклонов на фоне повышенного атмосферного давления по месяцам и сезонное распределение сильных землетрясений с магнитудой $M \geq 5,5$ хорошо совпадают (рис. 3А). Аналогичный результат получен и для Курильских островов (рис. 3Б). Совпадение атмосферных процессов с сильными землетрясениями наблюдается во все месяцы, но особенно наглядно — в весенне-осенние сезоны.

Исследование сезонного распределения сильных землетрясений важно для разработки атмосферно-циркуляционных предвестников для каждого сейсмоактивного района Земли и конкретного времени года.

Природные явления, кандидаты на роль предвестников, регистрируют ежесуточно по многу раз, что позволяет, казалось бы, делать краткосрочные прогнозы. Однако все эти наблюдения не дают сейсмологам самых важных сведений — предполагаемых изменений предвестника во времени. Хотя одновременно с геофизическими данными измеряют и метеорологические (атмосферное давление, силу ветра, температуру и т.д.), ветер и атмосферное давление считают только досадными помехами, искажающими результаты измерений. Однако, скажем, атмосферное давление измеряют, как правило, в одной или двух близких точках и считают, что оно слабо влияет на процессы в земной коре. Это — основная ошибка сейсмологов, поскольку перепады атмосферного давления действуют на земную поверхность не в точке, а на обширном пространстве.

Результаты наших исследований показывают, что сильные землетрясения происходят только при

строго определённых изменениях условий циркуляции и направления перепада атмосферного давления в пространстве и во времени.

В качестве примера посмотрим, как менялась циркуляция атмосферы перед землетрясениями в окрестностях Байкала. За трое суток до землетрясения 16 января 1994 года с магнитудой $M = 4,7$ и с координатами $48^{\circ}9' \text{ СШ } 103^{\circ}0' \text{ ВД}$ над его эпицентром сформировалось низкое давление в центре циклона. В день землетрясения оно сменилось на высокое — подошёл северо-восточный край антициклона (рис. 4А). Циркуляция атмосферы, предшествовавшая землетрясению 13 ноября 1995 года с магнитудой $M = 6,2$ и с координатами $56^{\circ}14' \text{ СШ } 114^{\circ}83' \text{ ВД}$, менялась аналогично, но отличалась распределением атмосферных нагрузок на земную кору (рис. 4Б). За трое суток до землетрясения над его эпицентром наблюдался циклон, а в день землетрясения над ним образовался анти-

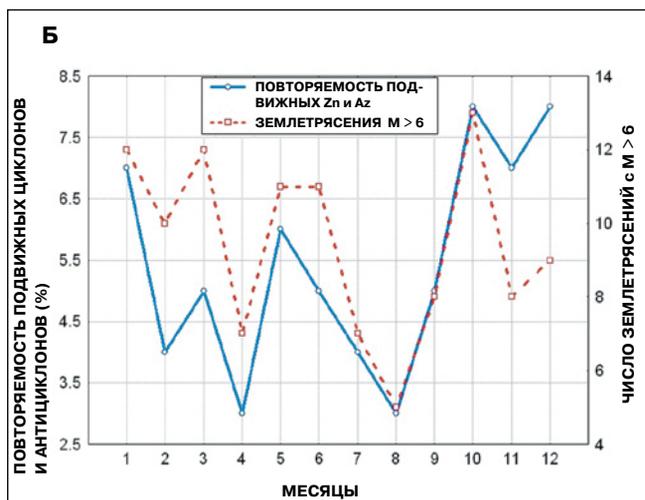
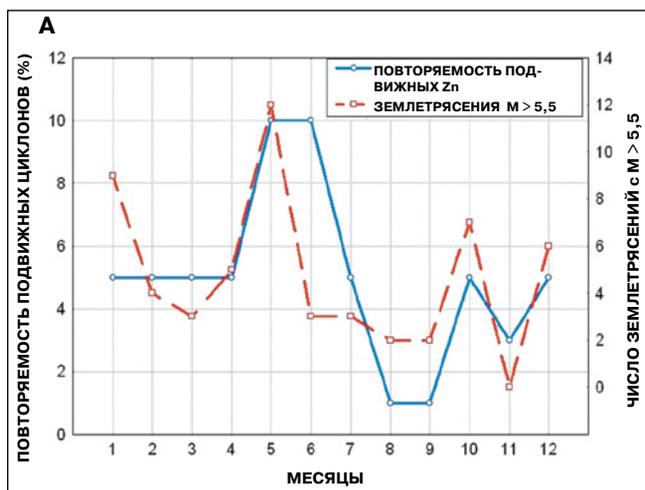


Рис. 3. А. Сопоставление внутригодичного распределения землетрясений на Кавказе с подвижными циклонами. Б. Сопоставление внутригодичного распределения подвижных пар антициклонов — циклонов на Курильских островах с общей повторяемостью землетрясений.

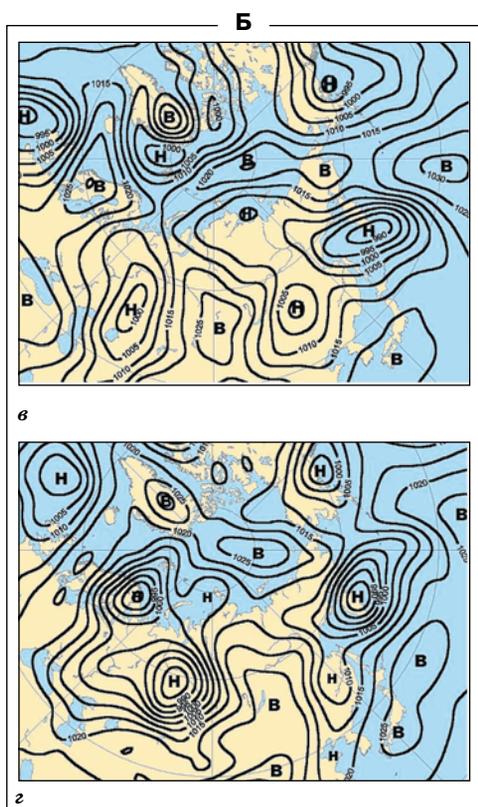
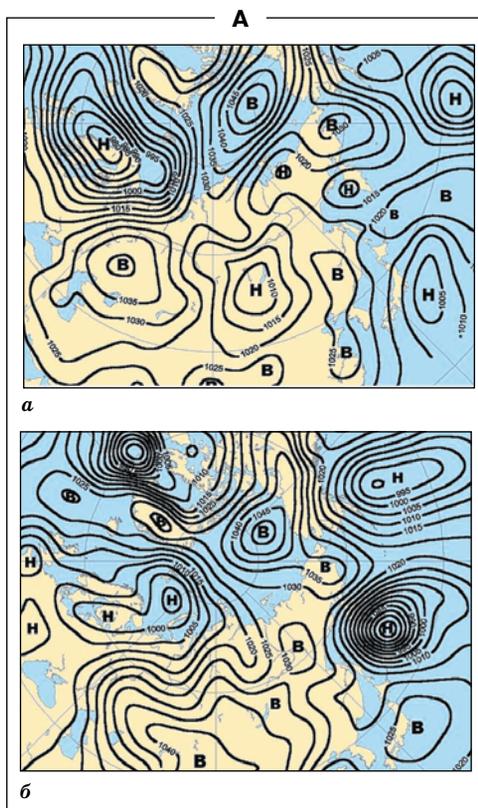


Рис. 4.
А. Изменения циркуляции атмосферы 14 января (а) и 16 января (б) 1994 года.
Б. Изменения циркуляции атмосферы 11 ноября (в) и 13 ноября (г) 1995 года.

циклон, то есть землетрясения вызвали схожие атмосферные явления, но пространственное распределение атмосферного давления было различным. Поэтому эпицентры землетрясений и находились с разных сторон Байкала.

Для сейсмических событий существенное значение имеет направление разломов и неоднородностей земной коры. Поэтому атмосферные преобразования (атмосферно-циркуляционные предвестники — АЦП), инициирующие сильные землетрясения, в каждом сейсмически активном районе различны.

Для сейсмоактивных районов Северного полушария мы сформировали комплекты карт предвестников за несколько дней до сильного землетрясения и после него. При других атмосферных процессах, отличных от них, сильные землетрясения в данном месте не происходят. Карты включают также сейсмологические параметры землетрясения (время, магнитуду, место эпицентра, тип деформации и др.) и рассчитанные значения атмосферной нагрузки за одни—четыре суток.

Результаты анализа более восьмисот случаев показали, что для каждого конкретного места землетрясений предвестники похожи. Так, на рис. 5 приведены карты атмосферного давления и поля барических нагрузок в дни сильных землетрясений в районе японского города Кобе. Некоторые отличия вызваны тем, что землетрясения регистрировали по местному времени, а метеорологические данные — по единому мировому. Теперь у нас появились картографические каталоги предвестников для разных стран и регионов и стало возможно составлять для них краткосрочные прогнозы.

Для относительно «простых» в сейсмическом отношении районов, например района Вранча (Румыния), существует всего три предвестника. Для сейсмически «сложных» районов (Япония) их выделено около трёх десятков. Для каждого конкретного района предвестник определён с учётом большого числа случаев. Сотрудники нашей прогностической лаборатории неоднократно составляли успешные прогнозы, основываясь лишь на изменении полей атмосферного давления. И они оправдывались заблаговременно, за двое суток, — реальность, близкая к фантастике.

Считают, что землетрясения вызываются тектоническими движениями и возникающие при этом многочисленные предвестники связаны только с ними. Однако геофизические измерения, отслеживающие

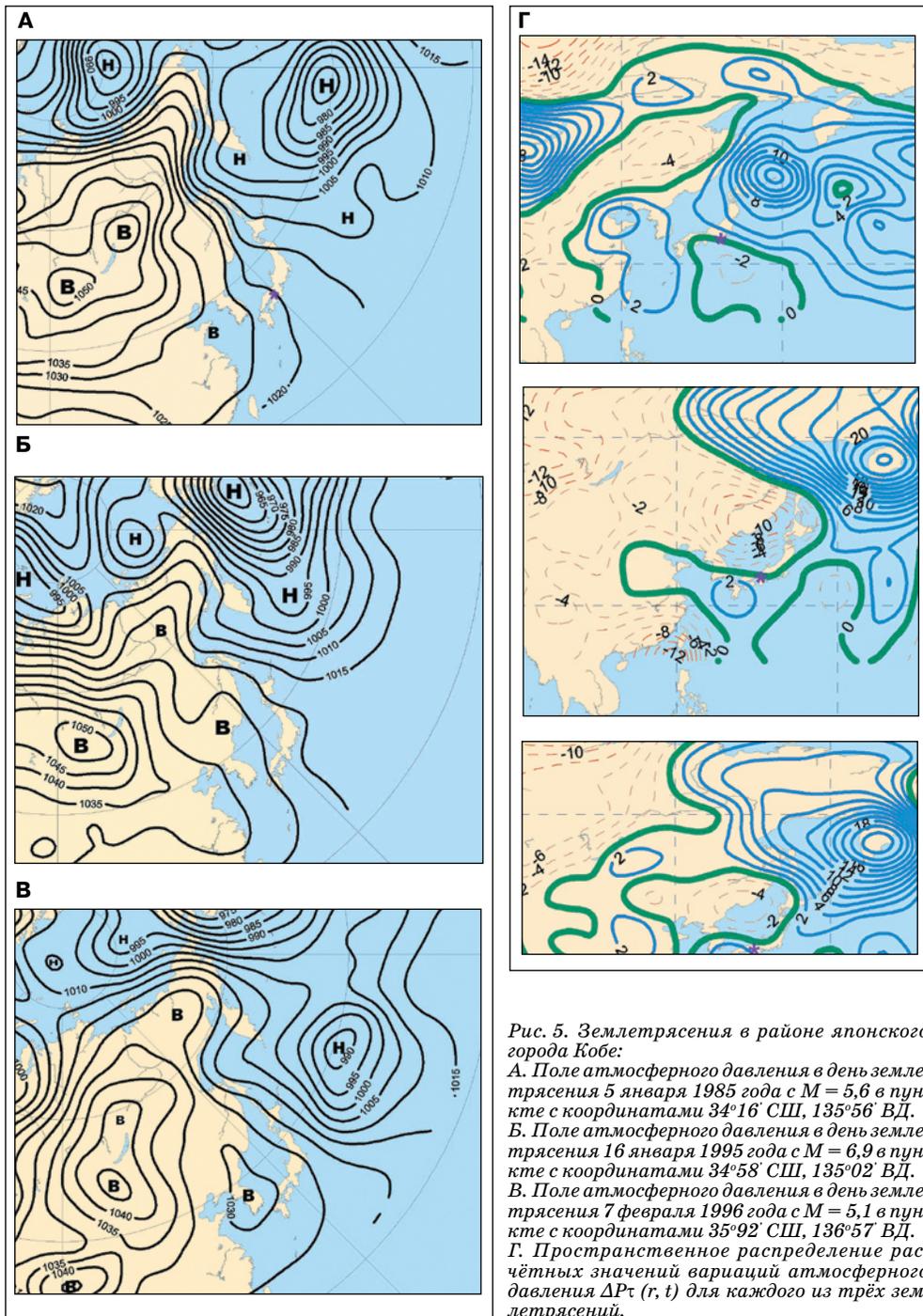


Рис. 5. Землетрясения в районе японского города Кобе:

А. Поле атмосферного давления в день землетрясения 5 января 1985 года с $M = 5,6$ в пункте с координатами $34^{\circ}16'$ СШ, $135^{\circ}56'$ ВД.
 Б. Поле атмосферного давления в день землетрясения 16 января 1995 года с $M = 6,9$ в пункте с координатами $34^{\circ}58'$ СШ, $135^{\circ}02'$ ВД.
 В. Поле атмосферного давления в день землетрясения 7 февраля 1996 года с $M = 5,1$ в пункте с координатами $35^{\circ}92'$ СШ, $136^{\circ}57'$ ВД.
 Г. Пространственное распределение расчётных значений вариаций атмосферного давления $\Delta P(r, t)$ для каждого из трёх землетрясений.

предвестники землетрясений, проводят практически на поверхности земной коры, которая испытывает атмосферные нагрузки в десятки и сотни миллионов тонн. Земная кора под антициклоном прогибается вниз, а под циклоном, наоборот, выгибается вверх [4].

Эти процессы обуславливают пространственную интенсивность основных предвестников землетрясений. Изменение барической нагрузки на земную поверхность напрямую воздействует на геоакустическую эмиссию и на другие краткосрочные предвестники землетрясений: изменение уровня

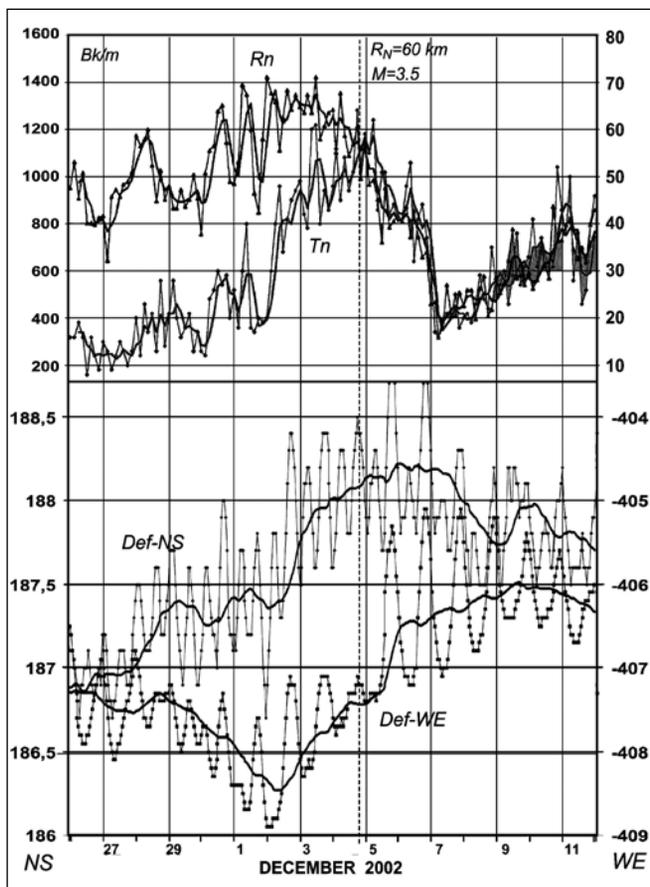


Рис. 6. Временные вариации выделения радона и торона перед сейсмическим событием 5 декабря 2002 года (вверху). Деформация земной коры по измерениям деформографа перед событием 5 декабря 2002 года (внизу).

подземных вод, выделение литосферных газов, наклоны и деформацию земной коры и т.п.

Выход литосферных газов радона Rn и торона Tn, одного из его изотопов, а также деформацию земной поверхности на полигоне Северного Тянь-Шаня измерили сотрудники Института геофизики УрО РАН. Вертикальной чертой отмечено сейсмическое событие с магнитудой $M \approx 4$, произошедшее вечером 4 декабря 2002 года (рис. 6). Деформация земной коры росла как с запада на восток, так и с севера на юг. Поля атмосферного давления на 2 и 4 декабря показывают, что к северу от эпицентра, обозначенного звёздочкой, находился центр антициклона, который, усиливаясь, в течение четырёх дней смещался с запада на восток и расширялся в направлении севера (рис. 7). Наибольшее давление на земную кору оказал антициклон в ночь с 4 на 5 декабря. Землетрясение произошло уже при падении концентрации радона, но деформация коры ещё росла.

Это позволяет сделать вывод: использовать в качестве предвестников землетрясений измерения тепловых аномалий, концентрации радона и деформаций бесперспек-

тивно, поскольку определить момент землетрясения по их графикам нельзя. Поэтому и кажется, что землетрясения происходят внезапно.

Данные геофизических измерений могут выполнить предназначенную им роль только при совместном использовании с метеорологическими прогнозами. Место эпицентра землетрясения помогает определить изолиния нулевой деформации (зелёный цвет), разграничивающая положительные и отрицательные поля барической деформации (см. рис. 7).

Почему же за сто лет не выявлены механизмы подготовки и возникновения землетрясений? Вероятно, это связано с тем, что они весьма различны. Классификация землетрясений на поверхностные (коровые), среднефокусные и глубокофокусные уже подразумевает разные механизмы их образования. Их определяют множество причин, которые на современном этапе исследований сложно обнаружить. Однако, по нашему мнению, наиболее распространён механизм «раскачки». Он так назван нами в связи с тем, что сопряжённые циклоны и антициклоны, находясь по разные стороны разлома, последовательно сменяют один другой, вызывая небольшие периодические опускания и поднятия земной коры вдоль разлома, — раскачивают её (см. рис. 4).

Процесс подготовки поверхностного землетрясения можно представить следующим образом. Произошло мощное землетрясение с магнитудой $M = 8$, разломившее литосферные блоки. На стенках разломов есть выступы, которые последующими сериями более слабых колебаний — афтершоков — сцепляют блоки. Прекращение афтершоков свидетельствует, что выступы между блоками «утратились» и заняли устойчивое положение, практически не оставив трещин, способных спровоцировать соскальзывание. Поэтому несколько месяцев, лет и даже десятилетий сильного землетрясения в данном месте не проис-

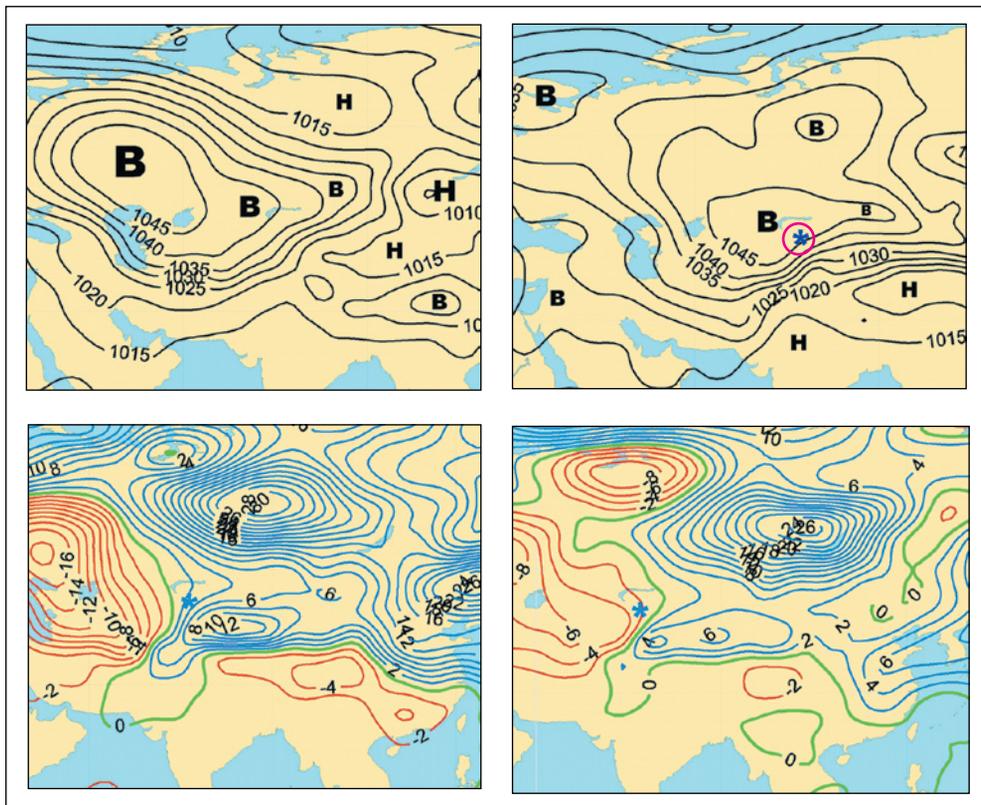


Рис. 7. Поля атмосферного давления над Центральной Азией 2 и 4 декабря 2002 года (вверху) и поля расчётных значений барических нагрузок (внизу).

ходит. Однако на поверхность земной коры непрерывно действуют переменные барические нагрузки, изгибающие кору. Возникают микротрещины, которые заполняют флюиды — газы и вода. Под их влиянием мелкие трещины в верхней части коры расширяются, а флюиды начинают играть роль «смазки» для выступа. Постепенно трещины достигают такой ширины, что зацеп оказывается в неустойчивом состоянии, которое сопровождается эпизодическими сотрясениями — форшоками. Это состояние сохраняется до тех пор, пока в атмосфере не образуется типичный для данного района атмосферноциркулярный предвестник, инициирующий срыв блоков — подготовленное землетрясение. Одновременно на нижней границе земной коры в зоне разлома также образуются мелкие трещины. Давление магмы и её высокая температура разрушают трещины, они начинают расширяться и расти по направлению к поверхности коры, вызывая серию землетрясений, предшествующих активизации вулкана.

Решение задачи об атмосферной нагрузке под воздействием сопряженной пары циклон — антициклон на поверхность упругого полупространства показало, что добавочные напряжения на линии разлома, вызванные атмосферными процессами, гораздо меньше (на 4 порядка!) статических напряжений в

коре. Этот результат, принятый в сейсмологии, вроде бы показывает, что атмосферная нагрузка не способна инициировать землетрясение.

Однако триггерный эффект влияния атмосферы на возникновение землетрясений более сложен: это не отдельные независимые события, а их цепочка. Первоначально землетрясение очень долго «готовят» эндогенные и экзогенные воздействия. Передвижение больших масс воздуха в меридиональном направлении, например, приводит к замедлению скорости вращения Земли и образованию дополнительных напряжений в земной коре.

Следующий, а практически одновременный этап инициирования землетрясения — расположение вдоль уже «подготовленного» разлома мощных циклона и антициклона. Их диаметры, то есть области повышенного и пониженного давления, обычно составляют от 1000 до 4000 км и более, а толщина земной коры — в среднем около 30 км (граница Мохоровичича). Это приводит к опусканию и поднятию земной коры до 20 см соответственно для антициклона и

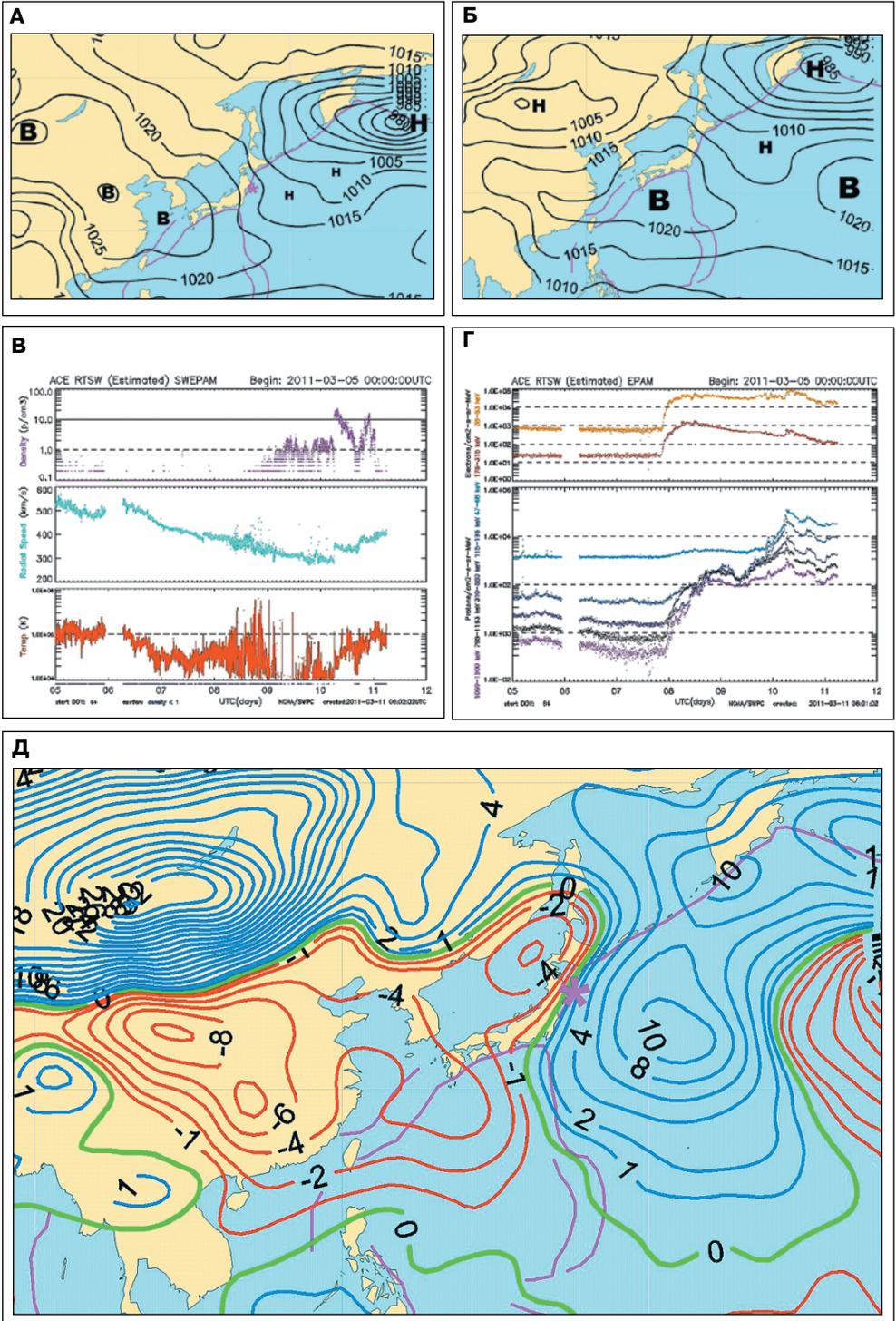


Рис. 8.

А. Поле атмосферного давления на 9 марта 2011 года.

Б. Поле атмосферного давления на 11 марта 2011 года.

В. Параметры солнечного ветра перед землетрясением и после него.

Г. Потoki солнечных электронов и протонов перед землетрясением и после него.

Д. Поле барической деформации на 11 марта 2011 года. Эпицентр землетрясения отмечен звёздочкой.

циклона. Земная кора при этом наклоняется на угол менее одного градуса [4]. Величина образовавшегося тангенциального напряжения направлена от границы антициклона, расположенной на разломе, к его центру и зависит от угла наклона земной коры: чем он меньше, тем больше возникающее напряжение. Это легко объяснить на наглядном примере.

Два человека, стоя рядом, спокойно удерживают гиру на верёвке, держа её за концы. Но если они попытаются растянуть верёвку горизонтально, им придётся приложить немалые усилия, которые тем больше, чем меньше угол её прогиба. При типичных предвестниках тангенциальные напряжения в земной коре на антициклонической стороне разлома могут достигать порядка 4 МПа ($4 \cdot 10^6$ Н/м²). Согласно расчётам, влияние атмосферы на земную кору достигает её нижней границы и доходит до глубины 100 — 150 км. Добавочные напряжения носят быстротечный, импульсный характер по сравнению с тектоническими процессами (характерные их времена отличаются на три-четыре порядка). Это приводит к активизации процессов релаксации при изменении атмосферного давления, способствуя разрядке локальных избыточных напряжений. За время подготовки землетрясения на глубине закреплённого выступа сформировались мощные напряжения, достигающие десятков мегапаскалей. Как только вдоль разлома расположится мощный циклон с антициклоном, в коре возникнут напряжения и произойдёт «скольжение» выступа, то есть землетрясение. Напряжения, сбрасываемые во время большинства сильных землетрясений, в среднем составляют примерно те же 4 МПа. Поэтому землетрясения происходят при значительно меньшем уровне напряжений, чем считалось ранее [5].

Ещё один участник общего процесса инициирования землетрясения — вращение Земли: центробежная сила на пространстве антициклона (где плотность воздуха выше средней) больше, чем на пространстве циклона (где она ниже). Эта разница и вызывает часто наблюдаемые выбросы на поверхности в эпицентре землетрясений — подкидывания грунта и предметов на небольшую высоту. При этом возникают землетрясения разрывного типа, однако в зависимости от состава пород коры и угла наклона разлома относительно поверхности могут быть другие их типы.

Основываясь на изложенных выше сообщениях, мы выполнили первый полностью оправдавшийся прогноз для Турции, предсказав разрушительное землетрясение 12 ноября 1999 года, а в 2003 году запатен-

товали сейсмо-синоптический метод (ССМ) прогноза землетрясений.

Один из основных этапов в технологии ССМ — ежедневная оперативная работа по обработке данных и анализу изменчивости атмосферной циркуляции на пространстве всей Земли по сообщениям Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды. Поступившая информация служит для расчёта изменений барических нагрузок на земную кору на пространстве Северного полушария за двое-трое суток.

В технологии прогноза используют также данные наблюдений за параметрами солнечного ветра и межпланетного магнитного поля и непрерывно поступающие в интернет, и на их основе оценивают вероятность возникновения сильных землетрясений. При резком росте интенсивности солнечного ветра, смене структуры межпланетного магнитного поля и формировании мощных атмосферных вихрей следует ожидать в течение двух суток сильных землетрясений. Ежедневный мониторинг сейсмической обстановки на пространстве Северного полушария в оперативном режиме отслеживает известный предвестник — «сейсмическое затишье»: исчезновение очень слабых, постоянно происходящих колебаний коры.

Последняя составляющая прогноза — сравнение происходящей атмосферной циркуляции с предвестниками для выбранной точки сейсмоактивного региона. Точку выбирают по мощности перепадов атмосферного давления и расположению нулевой изолинии, разграничивающей положительные и отрицательные поля барической деформации. Таким способом определяют место прогнозируемого землетрясения с $M = 4$ и более.

Рассмотрим теперь недавнее трагическое событие — землетрясение 11 марта 2011 года у берега Японии. Карта атмосферного давления на 9 марта (за трое суток до землетрясения) демонстрирует мощный циклон с центром над Алеутскими островами и область высокого давления над Юго-Восточной Азией (рис. 8А). В день землетрясения мощный циклон остался на месте, а южнее него сформировалась зона высокого давления с двумя центрами — южнее Японии и в центральной части Тихого океана (рис. 8Б). Самое важное событие произошло над Юго-Восточной Азией: вместо антициклона образовался циклон. Такое изменение в атмосферной циркуляции всегда иницирует сильные землетрясения на восточном побережье острова Хонсю. За двое суток до землетрясения выросла солнечная активность (рис. 8В), увеличился поток электронов и протонов (рис. 8Г), что также предполагает усиление сейсмичности на всей территории Земли. Повышение солнечной активности



Рис. 9. Краткосрочный прогноз землетрясений научно-прогностической лаборатории РГГМУ на 11 марта 2011 года.

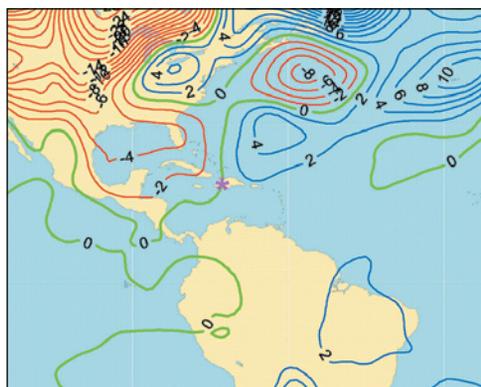


Рис. 10. Расчётное поле деформации земной коры под влиянием атмосферного давления на острове Гаити 12 января 2010 года. Звёздочкой отмечен эпицентр землетрясения.

предшествует землетрясениям за двое суток хотя и довольно часто, но не всегда, поэтому однозначного мнения о её влиянии на сейсмику нет. Наши исследования показали, что солнечная активность влияет на землетрясения через атмосферу [6]. Но и без роста солнечной активности система океан — атмосфера обладает достаточной энергией, чтобы образовать меридиональные атмосферные процессы, приводящие к землетрясениям.

Нулевая изолиния барических нагрузок расположена вдоль тектонического

разлома (рис. 8Д). Севернее эпицентра (отмечен звёздочкой) находится центр с отрицательными значениями барических нагрузок, а южнее — центр с их положительными значениями. Такие изменения атмосферной циркуляции и пространственных значений барических нагрузок служат для этого района острова Хонсю одним из типичных предвестников, предупреждая об очень высокой вероятности сильного землетрясения. Все перечисленные факторы позволили составить его прогноз за двое суток (рис. 9).

Сейсмо-синоптический метод прогноза отражает лишь взаимодействие процессов в атмосфере и в земной коре. Его точность определяется рядом факторов. Метеорологическая информация поступает один раз в сутки и даёт прогноз на 12 часов. Качество метеорологических прогнозов для всей Земли на трое-четыре суток часто недостаточное. Опытный синоптик составляет прогнозы на трое суток для конкретного пункта, которые оправдываются в 80—85% случаев. А прогнозы по полушарию содержат ошибки в расположении атмосферных вихрей (между моментами регистрации происходит их смещение, торможение или ускорение), что отражается на прогнозе землетрясений и вынуждает нас корректировать рассчитанный день на ± 13 часов.

При составлении краткосрочных прогнозов кроме перечисленных сведений

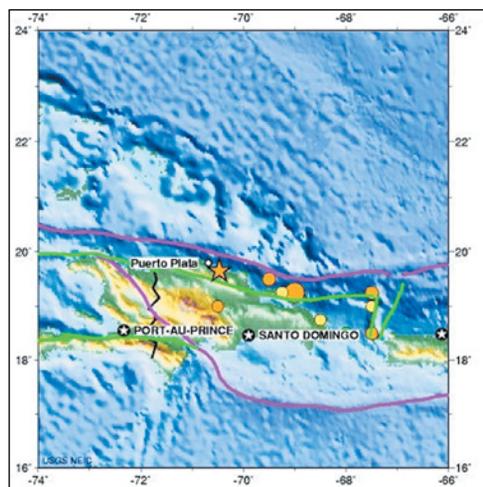


Рис. 11. Сейсмическая информация из сети интернет в районе острова Гаити. На карте указаны географические координаты местности.



Рис. 12. Краткосрочный прогноз землетрясений научно-прогностической лаборатории РГГМУ на 12 января 2010 года по всей территории Земли.

необходимо знать всё об уровне сейсмичности в рассматриваемом районе, включая даже исторические данные — они позволяют более точно определить параметры ожидаемого землетрясения. Рассмотрим, например, прогноз трагического землетрясения, произошедшего 12 января 2010 года на острове Гаити (рис. 10). На графике поля деформации земной коры, сформированного под влиянием изменения атмосферной циркуляции, видно, что нулевая изолиния деформаций земной коры расположена точно над эпицентром. Однако доступные сведения о режиме сейсмичности не всегда приводят к улучшению качества прогнозов, поскольку они неполны: отсутствуют исторические сведения. Например, сейсмологические данные по Гаити (рис. 11) показывают, что за последние 110 лет на месте этого разрушительного события сильных землетрясений не наблюдалось, они зарегистрированы лишь в восточной части острова. Поэтому, несмотря на точный расчёт эпицентра по атмосферным данным, решили сместить место предполагаемого землетрясения на восток острова (рис. 12). Позже выяснилось, что сильное землетрясение произошло в расчётной точке примерно 200 лет назад...

На сегодняшний день сейсмо-синоптический метод прогноза наиболее успешен. За десять лет было предсказано более пятнадцати тысяч землетрясений различной силы и многие разрушительные землетрясения с многочисленными жертвами, например в Иране (2002), Алжире (2003), Марокко (2003), Японии (2004), у острова Суматра (26 декабря 2004 года, 28 марта 2005 года), в Пакистане (2005) и множество других.

Сейчас сейсмо-синоптический метод оправдывается примерно на 75%. Это очень хороший результат, но, чтобы достичь стопроцентной надёжности

краткосрочного прогноза, необходимы совместные действия метеорологов, геофизиков и сейсмологов. Важный компонент в технологии прогноза для сейсмоактивных регионов Земли — объединение национальных сейсмологических станций в общую сеть по аналогии со Всемирной метеорологической организацией. Оперативное поступление информации о состоянии земной коры даст реальную возможность прогнозировать землетрясения за несколько дней. В январе 2009 года Генеральная ассамблея Международной ассоциации сейсмологии и физики недр Земли в Кейптауне приветствовала совместные исследования по прогнозу землетрясений.

Сейсмические прогнозы на ближайшее будущее можно увидеть по адресу http://quake_vnb.rshu.ru, предварительно зарегистрировавшись. Регистрация введена временно, чтобы понять, кто посещает сайт и кому интересны эти сведения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боков В. Н. **Изменчивость атмосферной циркуляции — инициатор сильных землетрясений** // Известия РГО РАН. — 2003. — Т. 135. — Вып. 6. — С. 54—65.
2. Боков В. Н. **Межгодовая изменчивость сейсмичности и атмосферной циркуляции** // Учёные записки. РГГМУ. — 2008. — № 6. — С. 139—147.
3. Боков В. Н. **О связи атмосферной циркуляции и сейсмичности в диапазоне сезонной изменчивости** // Учёные записки. РГГМУ. — 2010. — № 14. — С. 89—100.
4. Латынина Л. А., Васильев И. М. **Деформация земной коры под влиянием атмосферного давления** // Физика Земли. — 2001. — № 5. — С. 45—54.
5. Ребецкий Ю. Л. **Тектонические напряжения, метаморфизм и модель очага землетрясения** // Докл. РАН. — 2005. — Т. 400. — № 3. — С. 372—377.
6. Сытинский А. Д., Боков В. Н., Оборин А. Д. **Зависимость циркуляции атмосферы Земли от процессов на Солнце и в межпланетной среде** // Наука, РАН, Геоматнетизм и аэрономия. — 2003. — Т. 43. — № 1. — С. 136—142.
7. Сытинский А. Д. **Связь сейсмичности Земли с солнечной активностью и атмосферными процессами.** — А.: Гидрометеоиздат, 1987.