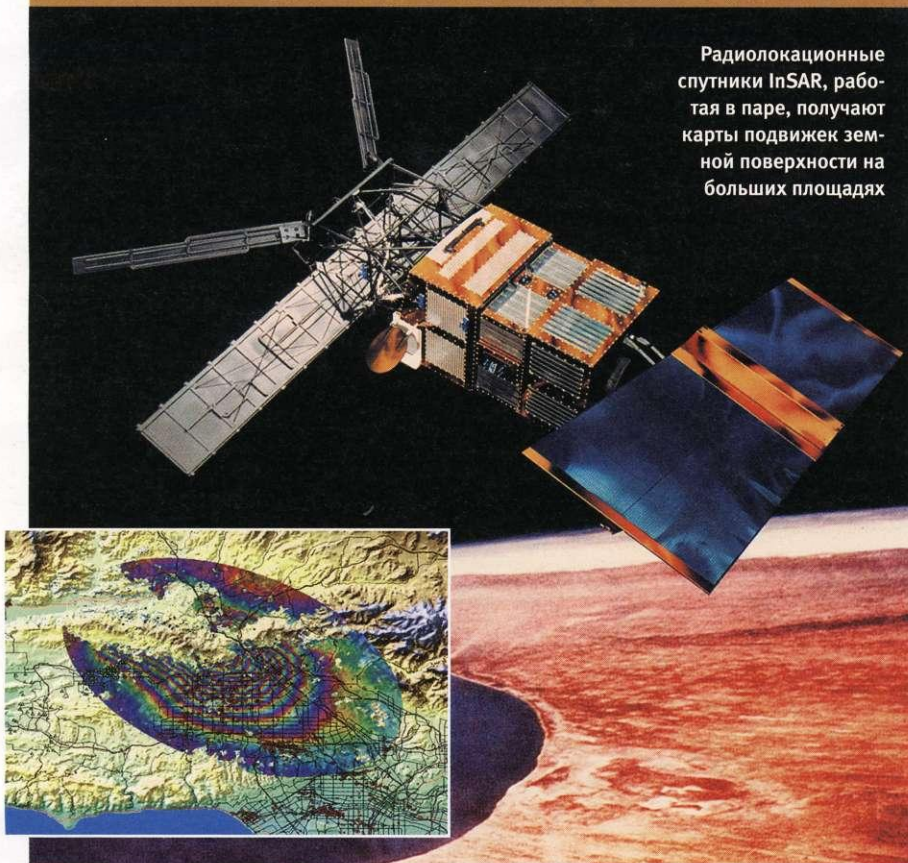


В последние годы новые надежды сейсмологи возлагают на сверхточные спутниковые методы наблюдения

Радиолокационные спутники InSAR, работая в паре, получают карты подвижек земной поверхности на больших площадях



НЕОБЫЧНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Крайне редко землетрясения случаются даже в районах, которые считаются асейсмичными. Самое удивительное из таких событий произошло 25 марта 1998 года в море Сомова у островов Баллени, на расстоянии около 500 километров от побережья Антарктиды, на стабильной океанической плите. Между тем, по современным сеймотектоническим представлениям такие плиты должны быть абсолютно «пассивными».

В континентальных асейсмичных областях землетрясения обычно приурочены к древним зонам опусканий — грабенам (узким прогибам земной поверхности, наполненным осадочными породами). Подобные зоны часто связаны с современными долинами крупных рек. Например, такая структура соответствует правому берегу реки Москвы в черте города и ниже по течению.

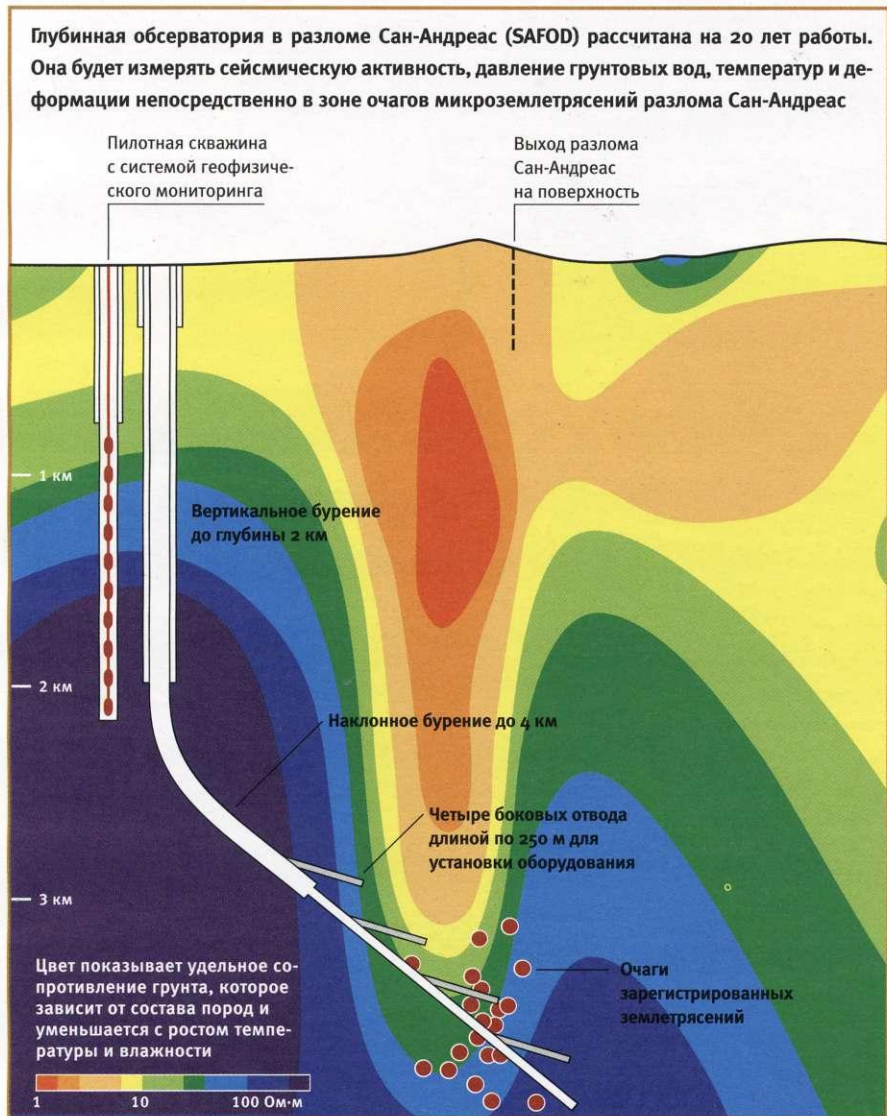
Русская платформа в целом асейсмична. Подавляющее большинство регистрируемых на ней толчков связано со взрывами и карстовыми явлениями. Однако есть и еще один источник сейсмичности. В земной коре существуют направления (каналы) преимущественного распространения сейсмических волн. Благодаря одному из таких каналов на Русской платформе, в частности в Москве, хорошо ощущаются колебания от толчков, происходящих в зоне глубокой сейсмичности в Румынии. Уверенность в том, что на Русской платформе не бывает собственных местных землетрясений, настолько укоренилась, что при упоминании в летописях о подземных толчках, скажем, в Москве или Твери, сейсмологи, как правило, сразу пересчитывают их параметры на случай предполагаемого глубокого очага в Румынии. При всей обоснованности такого подхода он может привести к утере информации о действительно бывших в прошлом заметных землетрясениях на Русской платформе.

В некоторых случаях сейсмологи сталкиваются с искусственными (спровоцированными) землетрясениями. Например, в окрестностях крупных водохранилищ вероятность сейсмического события заметно возрастает после толчков другого, возможно, далекого землетрясения или, например, сильного подземного ядерного взрыва. В связи с этим в прессе периодически появляются сообщения, будто те или иные землетрясения были инициированы в военных или политических целях. Однако даже если бы подобные планы действительно существовали, любому специалисту очевидно, что уровень развития современной сейсмологии не позволяет их реализовывать.

невозможно, так как для них нет хорошей физической модели. Это утверждение нуждается в некоторых пояснениях. Принято считать, что причиной землетрясений являются высокие тектонические напряжения, а сами они тракуются по аналогии с разрушением обычного образца горной породы, только очень большого. Нетрудно взять образец, положить под пресс и, постепенно повышая усилие, наконец его разрушить. Можно также (пусть косвенным путем и весьма грубо) оценить величину напряжений в литосфере. Так вот, оказывается, что эти напряжения много меньше тех, что требуются для разрушения пород. Как же тогда возникают землетрясения? Пока непонятно. Особенно загадочно существование так называемых глубоких землетрясений. При огромных давлениях внутри мантии Земли (а очаги землетрясения фиксируются до глубины в 700 километров) даже для того, чтобы произошла подвижка по уже готовому разлому, требуются гигантские напряжения. А никаких указаний на существование столь высоких напряжений нет и в помине. Наоборот, все данные говорят о том, что напряжения в мантии весьма умеренные. Пожалуй, если бы глубоких землетрясений не было, то в учебниках вполне убедительно доказывалось бы, что их и быть-то не может. Без удовлетворительной физической модели набор возможных прогностических признаков интерпретировать трудно. Остается, по сути, отслеживать вариации интенсивности сейсмического процесса и пытаться выявлять неустойчивости в его режиме. Именно на такой подход и ориентированы существующие в настоящее время методы прогноза.

Таким образом, к началу XXI века сейсмология оказалась как бы раздвоенной. С одной стороны, доминирующей теоретической концепцией остается модель землетрясения как критического явления. Она показала себя очень полезной для понимания совокупности процессов, сопутствующих подземным толчкам, и ей не видно достойной альтернативы. Но из этой же модели вытекает случайность и непредсказуемость землетрясения. С другой стороны, имеется опыт прогнозирования. И пусть даже качество прогнозов недостаточно для практического использования, оно явно намного выше, чем можно было бы ожидать при случайном угадывании. Теоретически невозможный прогноз оказался отчасти реализованным на практике.

Одним из путей преодоления этого противоречия стал переход от детерминированного понимания задачи предсказания землетрясений к вероятностной модели прогноза. Изменение внешних условий и внутренняя эволюция геологической среды влияют на▶



вероятность реализации в ней сильного землетрясения, но само оно все же остается случайным событием. Подвижка, начавшаяся в области высокой вероятности сильного события, может остаться микроземлетрясением (что чаще всего и случается), но имеет также шанс развиться в сильный толчок. При таком подходе и овцы целы (модель землетрясения как критического явления сохраняется), и волки сыты (вероятностный прогноз оказывается, тем не менее, вполне возможен).

НОВЫЕ НАДЕЖДЫ

В последние годы в исследованиях по прогнозу землетрясений стали широко применяться космические средства наблюдения. Сильные землетрясения — это крупномасштабные события, дающие мозаичную картину предвестников на большой территории. Новые спутниковые технологии позволяют отслеживать деформации земной поверхности, изменения температуры почв при выбросах глубинных флюидов, изменения в свойствах ионосфе-

ры, связанные с подготовкой и реализацией сильных землетрясений.

В работах по прогнозу землетрясений NASA, например, делает ставку на массивное использование высокоточной системы глобального позиционирования GPS, а также появившихся чуть позже спутниковых радаров с синтетической апертурой InSAR. GPS позволяет с точностью до миллиметров отслеживать положения точек земной поверхности, где установлены стационарные приемники, и оценивать скорости их движения. Предполагается, например, что отклонения от равномерного смещения вдоль разломов системы Сан-Андреас в Калифорнии — одного из самых сейсмически активных районов Северной Америки — позволят выявить места зацепок и накопления напряжений, то есть вероятные места готовящихся землетрясений. Технология InSAR дает площадные изображения смещений земной поверхности за интервалы времени между последовательными обзорами территории. Объедине-

ние данных GPS и InSAR обеспечивает возможности мониторинга движений земной поверхности, немислимые еще несколько лет назад. Остается только непростая задача: выделить из этих данных сигнал, позволяющий прогнозировать место и силу будущего землетрясения.

Другой прорыв в исследовании землетрясений реализуется в настоящее время совместно Геологической службой США (USGS), Международной научной программой глубокого континентального бурения (ICDP) и Национальным научным фондом США (NSF). Он состоит в том, чтобы податься к самому очагу землетрясения. С этой целью начиная с 2004 года бурилась специальная скважина, которая в прошлом году пересекла тело разлома Сан-Андреас на глубине 3 километров. В настоящее время в скважине устанавливают приборы глубинной обсерватории SAFOD (San Andreas Fault Observatory in Depth), которые будут передавать информацию непосредственно из зоны готовящихся очагов землетрясений.

Среди современных европейских систем наблюдения особый интерес представляет французская программа на основе запущенного в 2004 году спутника DEMETER (Detection of Electro-Magnetic Emissions Transmitted from Earthquake Regions). Она предусматривает проведение как дистанционных, так и наземных наблюдений с целью проверки и привязки космических данных. Эта программа интересна тем, что ориентирована на прогнозирование землетрясений по данным об изменении состояния ионосферы. Правда, пока еще рано говорить о получении на данном направлении значимых результатов.

Подводя итог, можно сказать, что согласно современным представлениям прогноз землетрясений принципиально возможен, по крайней мере, в вероятностном понимании. Но какой точности прогноза реально достичь — еще не ясно. Хочется также отметить, что, хотя справиться с задачей пока не удалось, работы по прогнозу землетрясений принесли немало пользы для науки в целом. Они оказались пионерскими для широкой и крайне актуальной сферы исследований: изучения признаков неустойчивости в поведении сложных динамических систем самой разной физической природы. Ранее, в середине прошлого века, сейсмология оказалась первой областью знания, где стала понятна особая роль степенных распределений. В настоящее время разработанные в сейсмологии общие подходы применяются к оценке устойчивости самых разных динамических систем, вплоть до экономических и социальных. ●