

Материал подготовили:

Галина Рыжко

Виталий Хилес-Гунченко

Джонатан Пеньбаррера

Землетрясение в Лиссабоне



ПРОГНОЗЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ КОСМИЧЕСКИХ СПУТНИКОВ

Дамасский летописец Ибн-аль-Каланиси сообщает, что осенью 1138 г. чудовищной силы землетрясение разрушило город Алеппо и окрестности. Крепость, возведенная в этих краях крестоносцами, обрушилась на головы своих защитников и погребла под собой шесть сотен христианских рыцарей. Всего же во время катаклизма погибло около 230 тыс. человек. «Геологические исследования Соединенных Штатов» называют его четвертым по количеству погибших землетрясением в истории.

Первое место в этом мрачном списке занимает Великое китайское землетрясение, случившееся в январе 1556 г. в провинции Шэньси, где жители имели обычное занятие — селиться в лессовых пещерах. Тогда погибло 830 тыс. человек.

7 июня 1692 г. таким же образом была стерта с лица земли столица британской колонии Ямайка — Порт-Ройял. Разрушительную работу подземных толчков довершили цунами. «Все причалы утонули сразу и в течение двух минут 9/10 города было покрыто водой, которая поднялась до такой высоты, что вливалась в верхние комнаты домов, которые все еще продолжали стоять. Верхушки самых высоких домов виднелись над водой, окруженные мачтами судов, которые тонули вместе со строениями», — сообщает историк. Слабым утешением служит то, что Порт-Ройял не был столь уж крупным городом, его население составляло 6,5 тыс. человек. Некоторым даже удалось спастись.

В 1693 г. около 100 тыс. человек погибло во время землетрясения на Сицилии, в 1737 г. — 300 тыс. человек в Калькутте. Первого ноября 1755 г. был превращен

в руины Лиссабон, число жертв оценивали от 60 тыс. до 100 тыс. человек. Именно после Лиссабонской катастрофы было найдено, наконец, научное объяснение для этих страшных разрушительных явлений. Его нашёл йоркширский священник Джон Митчелл.

В круг интересов скромного слуги Божьего входили геология, астрономия и различные области физики. В частности, в 1783 г. он впервые теоретически предсказал существование черных дыр, а незадолго до своей смерти в 1793 г. построил прототип прибора для измерения массы Земли, но сейчас нас интересует другая его работа. После Лиссабонского землетрясения Митчелл сопоставил показания очевидцев, собранные по приказу премьер-министра Португалии маркиза Помбала, и попытался объяснить землетрясения с точки зрения ньютоновской механики. «Землетрясения — это волны, вызванные движением пород», — заключил исследователь. Он также предположил, что местоположение центра землетрясения можно вычислить путем сопоставления данных о времени прибытия волн. Выведенный им закон стал основой современного метода определения эпицентра. Так процесс изучения землетрясений встал на научные рельсы.

В XX в. сейсмологи научились отслеживать и записывать землетрясения по всей планете из одной точки и добились значительных успехов в описании их природы. Тем не менее с 1980 г. по 2012 г. включительно от последствий землетрясений погибло около миллиона человек. Многие из них могли выжить, если бы о предстоящем катаклизме стало известно заранее. Так что успешное предсказание подобных бедствий — весьма

животрепещущая задача для человечества.

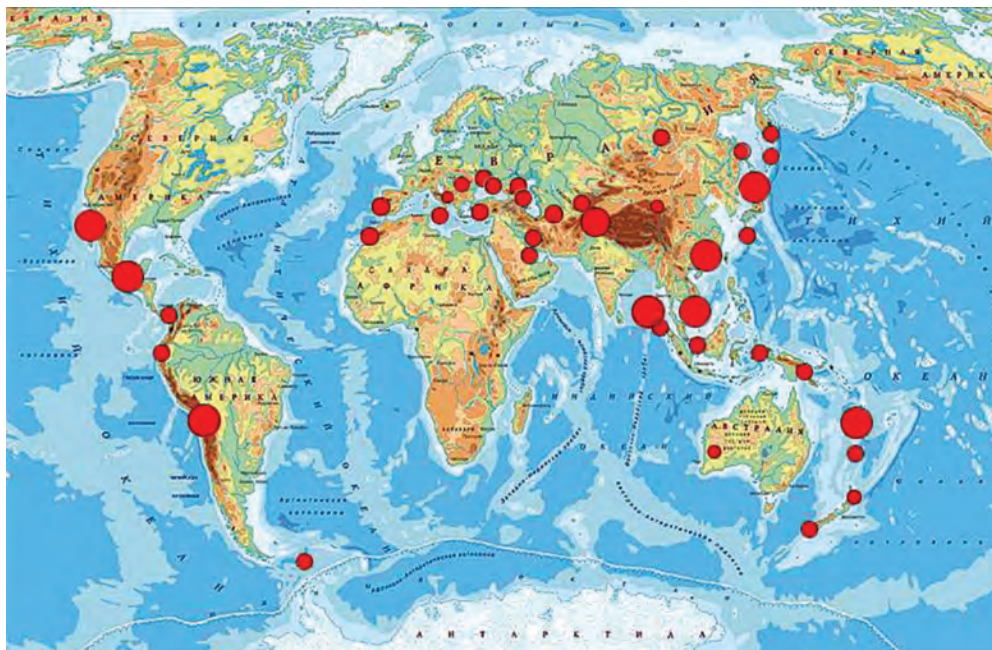
Одним из первых методов прогноза стал мониторинг поведения слабых землетрясений сейсмическими станциями. Он начал использоваться еще в 30-х гг. XX в., но, увы, до сих пор не отличается большой точностью. Земная кора — чрезвычайно сложное образование, и никогда нельзя быть уверенным, как именно выплеснется накопившееся в ней напряжение. Грубо говоря, таким образом можно предсказать, что примерно через пять лет в таком-то районе землетрясение может произойти с вероятностью в 50 %. То есть, как в том анекдоте, или произойдет, или нет. Ну не совсем так, конечно, но риски неправильного предсказания велики, а последствия ошибки в любую сторону весьма неприятны. Причем именно в густонаселенных промышленно развитых районах, где землетрясения наиболее опасны, убытки от ложного сигнала тревоги будут наибольшими. Эвакуация крупного промышленного центра влетит в копеечку и может повлечь за собой значительный спад экономики в регионе. Не каждый рискнет взять на себя ответственность за подобный прогноз.

Несколько лет назад шестеро итальянских сейсмологов и один чиновник предстали перед судом, потому что не решились выдать прогноз о возможном землетрясении в городе Аквила в 2009 г. Они посчитали, что информация недостаточно надежна, вероятность стихийного бедствия низкая, а эвакуация повлечет за собой негативные экономические последствия наверняка, и не рискнули. Сейсмологи получили по шесть лет лишения свободы. Дебаты

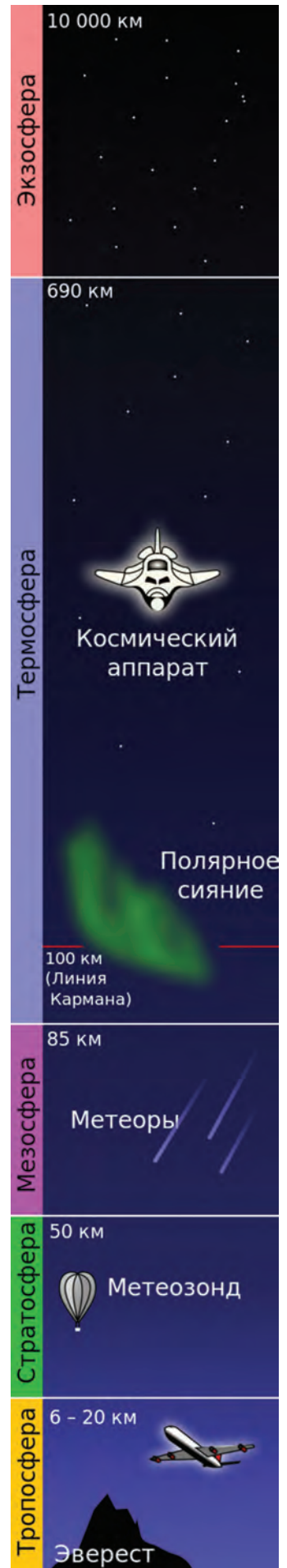
о справедливости этого приговора до сих пор ведутся. Тысячи ученых со всего мира вступились за коллег, заявляя, что те действительно не имели возможности дать достоверный прогноз.

Таким образом, вопрос поиска дополнительных признаков, указывающих на приближение землетрясения, приобрел дополнительную актуальность. Большим подспорьем стали космические аппараты, регистрирующие изменения температуры земной поверхности и приповерхностного слоя воздуха, вариации силы тяжести и магнитного поля. Кроме того, землетрясения научились предсказывать, наблюдая не только за Землей, но и за небом, а точнее, за ионосферой Земли. Этим занимались на основе данных, полученных с навигационных спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС.

Как известно, ионосфера — это верхний слой атмосферы, ионизированный воздействием солнечных лучей. Она начинается на высоте около 60 км от поверхности Земли и состоит из смеси нейтральных атомов, положительно заряженных ионов и отрицательно заряженных свободных электронов. Число ионов приблизительно равно числу свободных электронов, смесь тех и других называется квазинейтральной плазмой. По степени концентрации заряженных частиц в ионосфере выделяют несколько слоев. Слой D расположен на высоте 60–90 км, слой E — на высоте 90–120 км. То, что расположено выше, называют областью F, и там, в свою очередь, выделяют несколько слоев. Максимум ионообразования достигается на высотах 150–200 км. Но ионы живут довольно долго, плазма имеет свойство расплзаться вверх и вниз от области



Карта крупнейших землетрясений



Строение атмосферы

максимума. Из-за этого максимальная концентрация электронов и ионов в области F находится на высотах 250–400 км. В дневное время также наблюдается образование «ступеньки» в распределении электронной концентрации, вызванной мощным солнечным ультрафиолетовым излучением. Область этой ступеньки называют слоем F_1 (150–200 км). Она заметно влияет на распространение коротких радиоволн. Выше лежащую часть области F называют слоем F_2 . Здесь плотность заряженных частиц достигает своего максимума. Именно наблюдения за слоем F_2 дают ученым возможность предсказывать поведение тектонических сил при помощи спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС.

Концентрация свободных электронов — величина непостоянная. В определенных пределах она колеблется под воздействием самых разнообразных фак-

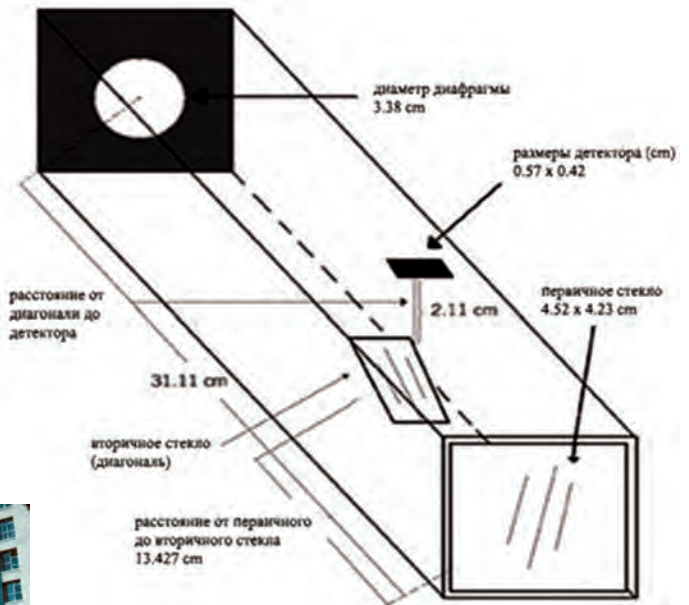


Схема мультиспектральной камеры для спутника CONDOR-UNAM-MAI

торов. Однако в ходе изучения ионосферы было замечено, что крупным землетрясениям предшествовали довольно специфические изменения этой величины. Причем происходили они не где-нибудь, а в слое F_2 вблизи от эпицентра землетрясений.

В принципе изменения ионосферных параметров фиксируются и наземными методами, но последние не дают необходимой точности прогноза. Множество сложностей связано с тем, что изменения электронной плотности ионосферы, предвещающие сильные землетрясения, имеют тот же порядок величины, а иногда даже меньше по амплитуде, чем те, что связаны с обычной изменчивостью ионосферы. Но отличить их можно, причем лучше всего это делать космическими радиофизическими методами.

В ходе исследований было установлено примерно следующее:

- ✓ ионосферные предвестники представляют собой вариации плотности ионосферной плазмы (отклонения от невозмущенного значения), наблюдаемые за 1–5 суток;
- ✓ длительность вариации одного знака невелика и составляет 4–6 часов. Только в случае очень сильных землетрясений она может быть значительной ~ 12 часов;
- ✓ в среднем сейсмоионосферные вариации имеют ту же амплитуду, что и ежедневная изменчивость ионосферы (15–25 %), но в определенные моменты местного времени они могут превышать 100 %;
- ✓ знак и форма сейсмоионосферных вариаций зависят от местного времени. По всей видимости, эти зависимости различны для разных регионов планеты и требуют дополнительного исследования в каждом конкретном случае;
- ✓ размер модифицированной области ионосферы на высоте максимума слоя F_2 зависит от магнитуды землетрясения;
- ✓ положение максимума модифицированной области в ионосфере не совпадает с вертикальной проекцией эпицентра будущего землетрясения.



Мехико, Мексика

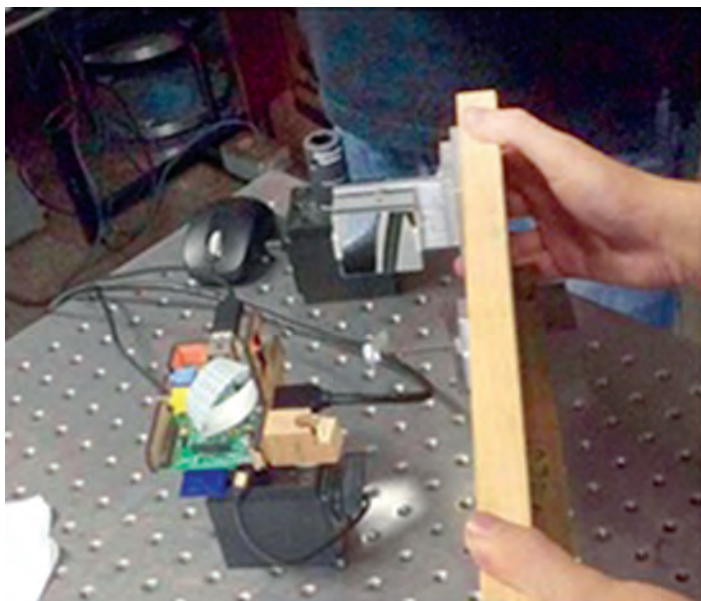


Япония



Спитак, Армения

Последствия землетрясений



Построенный прототип мультиспектральной камеры для спутника CONDOR-UNAM-MAI

В эпицентральной области за 3–5 суток наблюдается рост электронной концентрации в максимуме слоя F_2 с дальнейшим ее уменьшением за 1–3 суток.

Скажем, за несколько дней до 21 сентября 2004 г., когда произошло землетрясение в Калининграде, спутники системы GPS показали, что с 16 по 18 сентября 2004 г. (за 3–5 дней до землетрясения) начинается общий рост максимальной электронной концентрации слоя F_2 ионосферы. Начиная с утренних часов 19 сентября 2004 г., за два дня до землетрясения, выявлен резкий спад (~ в 1,7 раза) электронной концентрации по сравнению с аналогичным временем 18 сентября 2004 г. Этот спад сменяется резким подъемом максимума 20 сентября 2004 г. (за день до землетрясения). При этом сейсмическая и геомагнитная обстановка в этом районе накануне события выглядела спокойной, заметных подземных толчков не наблюдалось.

Можно привести и другие примеры высокой ценности наблюдения за ионосферой для прогнозов землетрясений, так что это направление определенно стоит развивать.

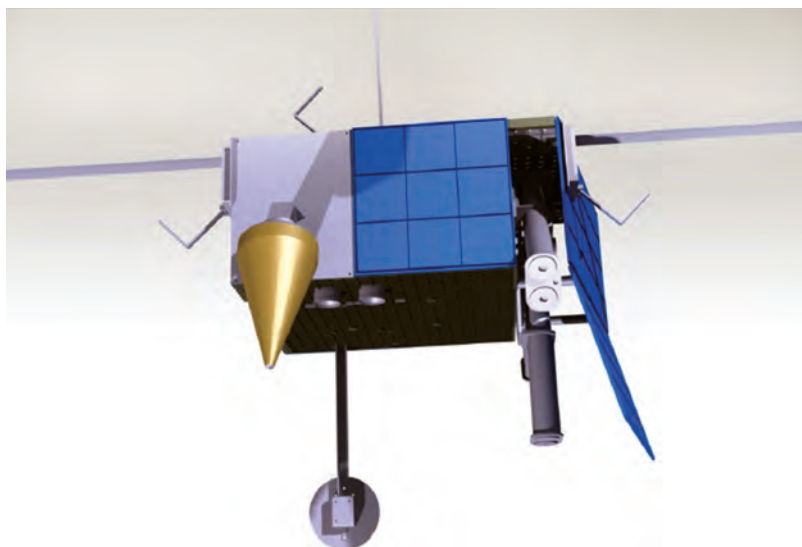
В настоящее время готовится совместный Российско-Мексиканский проект прогнозирования землетрясений путем космических наблюдений CONDOR-UNAM-MAI. Как следует из названия, проект разработан главным образом силами Московского авиационного института (МАИ) и аэрокосмического факультета *Национального автономного университета Мексики (UNAM)*. Он включает в себя как наблюдение за земной поверхностью, так и изучение изменчивости ионосферы.

Изготовление микроспутника взяло на себя НПО «Машиностроение», радиоаппаратуры — концерн «Вега». Мексиканцы разработали прототип камеры видимого спектра, предназначенной для дистанционного зондирования. Это первая камера, спроектированная и построенная в Мексике, которая будет установлена на спутнике, выведенном на орбиту высотой 500 км, способная различать

предметы, находящиеся на расстоянии не менее 20 метров друг от друга на поверхности Земли, и делать фотографии площадью обхвата 18,33 км × 13,75 км. За дизайн и конструкцию камеры ответственны Альберто Кордеро Давила, Эдгар Мартинес Паскуаль и Мануэль А. Мартинес Руис. УНАМ подготовил также особую группу специалистов, задействованных в этом проекте. Ее возглавили Сауль де ла Роса Ниевес и Рикардо Артуро Баскес Робледо.

Для камеры требуются специальные материалы, которые выдерживают перепад температуры (в нашем случае вариации составляют около 100° С). При этом она не должна превышать объем 83,3 мм × 150 мм × 320 мм. Конструкция должна учитывать отсутствие давления воздуха и воздействие излучения. Компьютер, находящийся на борту спутника, должен быть устойчивым к неполадкам и иметь возможность восстанавливаться с Земли. Да и общая конструкция спутника должна обладать характеристиками высокой надежности, во всех своих системах и быть устойчивой к сложным внешним условиям космического пространства.

Для Мексики, которая расположена в сейсмически опасной зоне, задача достоверного прогнозирования землетрясений чрезвычайно актуальна. Землетрясение 1985 г. в Мехико стало одним из самых разрушительных в истории Нового Света. Несмотря на то, что строительный кодекс учитывал возможность подземных толчков, тогда погибло около 10 тыс. человек, ранено 30 тыс. и 100 тыс. остались без крова, 412 зданий были разрушены, а более 3 тыс. — серьезно повреждены. Национальная программа по прогнозированию готовилась еще в середине 90-х гг. XX в. и содержала немало полезных наработок, однако она не может быть осуществлена исключительно своими силами. По словам профессора инженерного факультета УНАМ доктора Сауля де ла Роса Ниевеса, трудности связаны с тем, что Мексика довольно поздно начала развивать свою аэрокосмическую отрасль. Попытки на этом направлении были плохо скоординированы. Отвечающее требованиям времени космическое агентство было создано лишь в 2010 г. В настоящее время Мексика пока не может получать спутниковые фотографии исключительно своими силами. Поэтому сотрудничество с Россией, старейшей в мире космической державой, имеет большое значение для мексиканских ученых.



Спутник CONDOR-UNAM-MAI