

Л. И. МОРОЗОВА

Облака предвестники ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Образуемая облачными грядками сетка может появиться в сейсмоактивном регионе на любой стадии землетрясения. Охотское море. Снимок спутника Terra (NASA/GSFC, Rapid Response)

Атмосферные облака метеорологической природы не имеют четких линейных границ, поэтому неудивительно, что линейно протяженные гряды облаков, обнаруженные на спутниковых снимках начала космической эры, вызвали в научной среде интерес к этому феномену. После того как снимки сопоставили с картами разломов земной коры, стало понятно, что облачные аномалии связаны с геологическим строением, а именно – разрывными нарушениями земной коры. Хотя природа необычного явления пока неясна, накопленная информация позволяет использовать его на практике – для выявления сейсмоактивных регионов



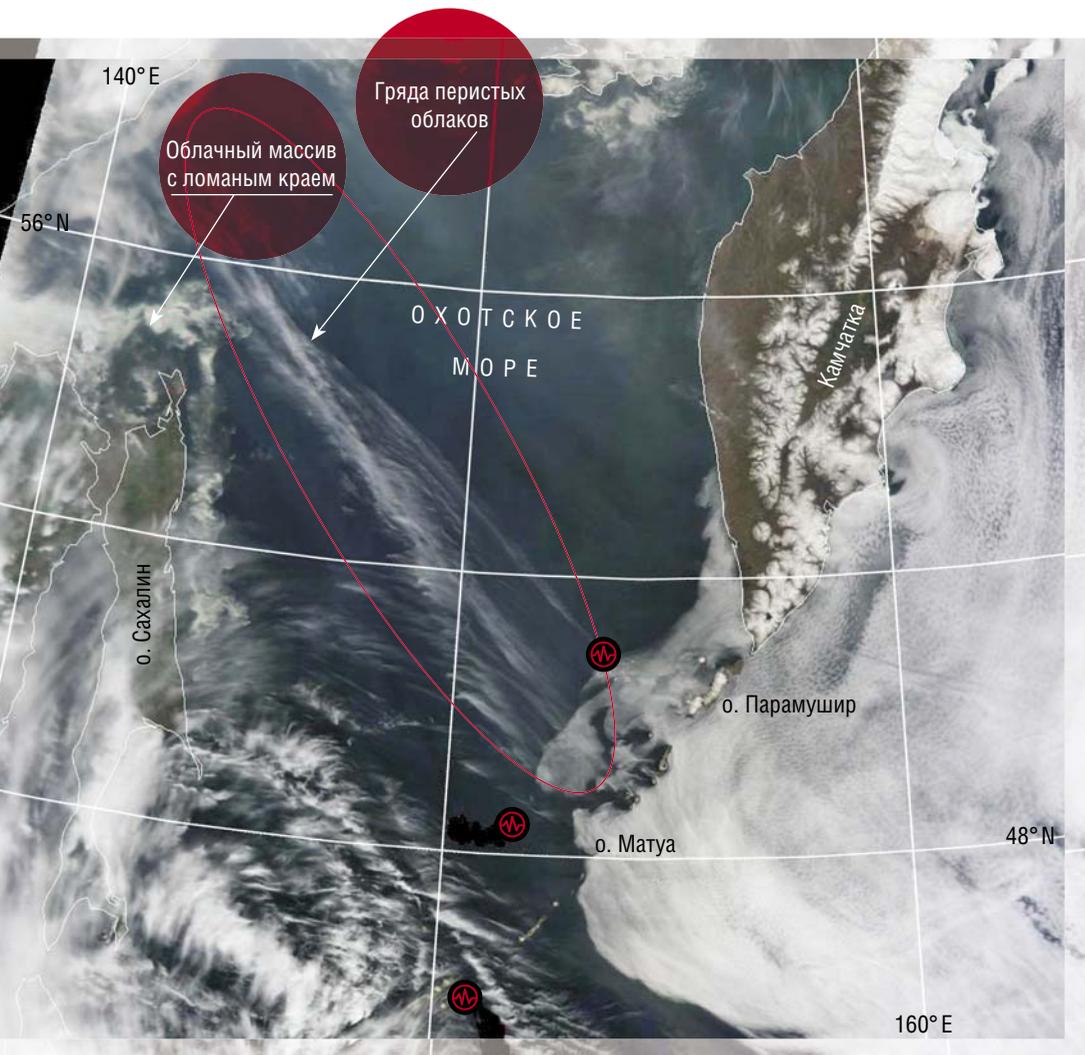
МОРОЗОВА Лидия Ивановна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории естественных геофизических полей Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор 42 научных работ и одного патента

В первой половине прошлого столетия во время полевых исследований французский геолог А. Шлюмберже (он работал в Альпах) и известные российские геологи И. В. и Д. И. Мушкетовы (в Средней Азии) обнаружили, что над разломами земной коры возникают облачные гряды, не сдуваемые воздушными потоками.

Физические принципы этого явления однозначно объяснить не удалось, что, однако, не помешало впоследствии, в 1970-х гг., найти ему широкое применение в космической геологии. На снимках Земли из космоса контуры облаков оказались достаточно выраженными, чтобы с помощью фотографий проводить картирование разломов в шельфовых зонах континентов. Снимки с грядами облаков использовал также известный геолог П. В. Флоренский для поиска нефтегазоносных областей на Средней Волге и п-ове Мангышлак на Каспии.

Благодаря спутниковым съемкам выяснилось, что протяженность линейных облаков может достигать нескольких сотен и даже тысяч километров. Вскоре обнаружили еще одно природное явление, сопоставимое с первым по значимости, но противоположное по характеру: размывание облачности над разломом (Морозова, 1980). Размывание облачности может проявляться двояко: либо в виде узкого просвета (каньона), возникающего в сплошном облачном покрове, либо посредством образования резкой неподвижной линейной границы облачного массива, надвигающегося на разлом. Все три

Ключевые слова: прогноз землетрясений, лито-атмосферные связи, линейные облачные аномалии, спутниковые снимки.
Key words: earthquake forecasting, lithosphere – atmosphere coupling, the linear cloud anomalies, satellite images



Протяженная гряда перистых облаков верхнего яруса атмосферы (на высоте 12—14 км) возникла над разломом земной коры под Охотским морем. На следующие сутки на Курильских островах произошла серия мощных подземных сейсмических ударов, а через две недели — извержение вулкана на о. Матуа. Ломаный край облачного массива севернее о. Сахалин отражает геодинамическое взаимодействие группы коротких разломов. Фото сделано с ИСЗ Terra (NASA/GSFC, Rapid Response) 31 мая 2009 г.

вида необычной облачности получили общее название — *линейные облачные аномалии (ЛОА)*.

С одной стороны, очевидно, что это явление не может быть обусловлено исключительно атмосферными процессами, поскольку ЛОА привязаны к геологии местности — повторяют конфигурацию разломов земной коры. С другой — разломов существует великое множество, а на облачности почему-то отображаются лишь некоторые из них: периодически появляясь и исчезая, они «живут» в течение нескольких минут или часов, а иногда и более суток. По мнению академика Ф. А. Летникова (2002) из Института земной коры СО РАН, причина кроется в том, что разлом оказывает влияние на атмосферу только в моменты тектонической или энергетической активности.

Иначе говоря, линейные облачные аномалии имеют литосферную природу, и их появление служит сигналом, свидетельствующим о начале активизации геодинамических процессов. Такие процессы часто завершаются землетрясением, а значит, мониторинг ЛОА — это еще один возможный способ заблаговременно выявить надвигающуюся катастрофу.

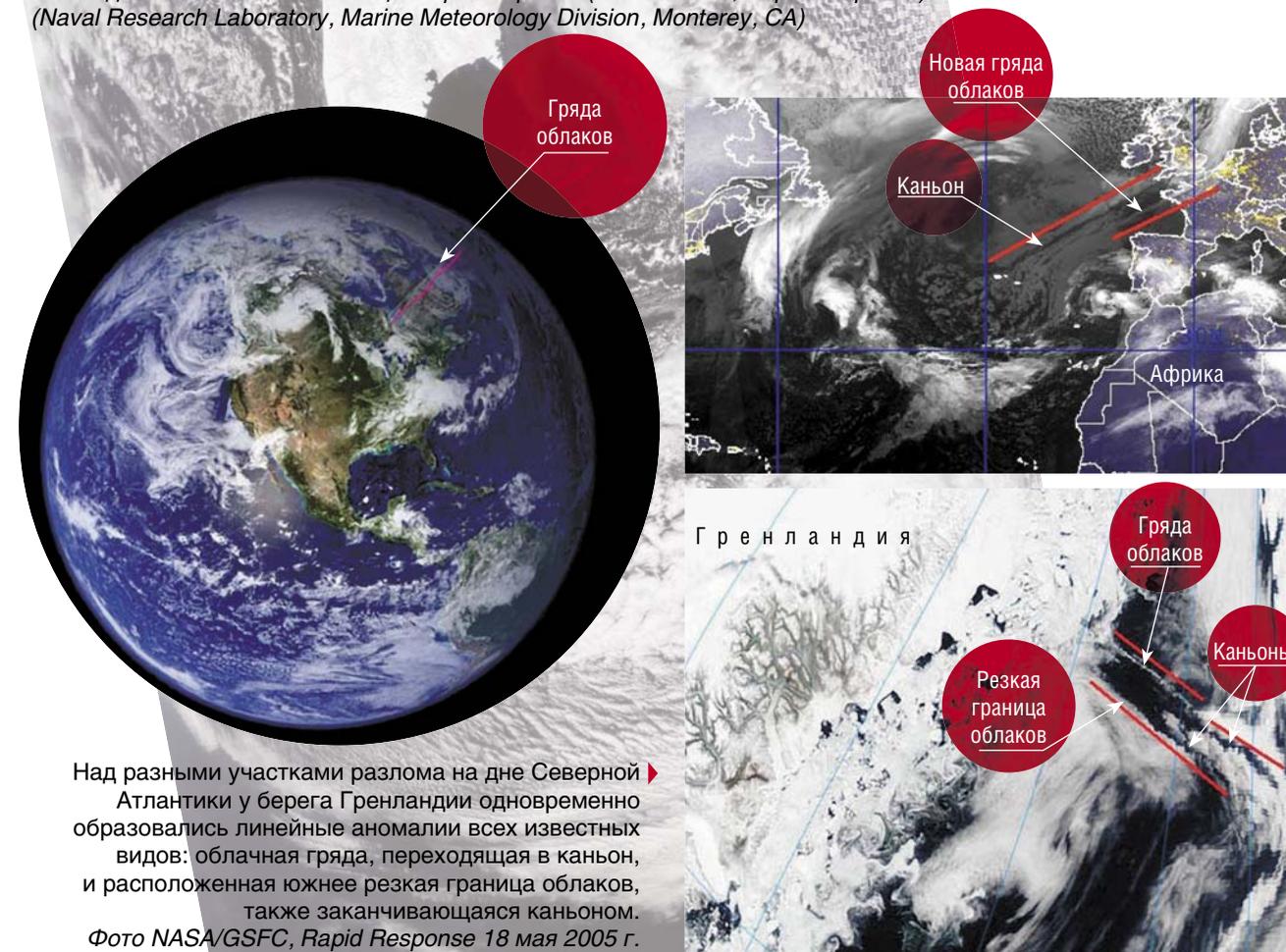
Перед землетрясением

Начиная со времени, когда доступ к метеорологическим спутниковым снимкам открыли широкому научному сообществу (например, на сайте Федерального космического агентства России), до наших дней удалось накопить достаточно информации, чтобы установить взаимосвязь между надвигающимся землетрясением и определенным состоянием облачности. Так, было установлено, что рой ЛОА возникает за несколько часов (иногда 1—2 суток) до землетрясения (Морозова, 2008).

В некоторых случаях на одном и том же снимке над разными разломами или различными участками одного разлома имеются и гряды, и каньоны. По-видимому, геодинамическая активность может приводить как к генерации, так и к деградации облачности, в зависимости от состояния атмосферы.

Динамику процесса нарушения облачности излучением из разлома наглядно иллюстрируют снимки циклона, движущегося с материка в сейсмоактивную область мегаземлетрясения, случившегося в марте 2011 г.

Гряда облаков протянулась через всю Северную Атлантику — от п-ва Ньюфаундленд до Балтики (слева). 9 марта 2011 г. параллельно линии этой гряды образовался каньон протяженностью 3 тыс. км, а над Бискайским заливом сформировалась другая облачная гряда (справа). Фото сделаны с ИСЗ на геостационарной орбите (NASA/GSFC, Rapid Response) и с ИСЗ MultiSat (Naval Research Laboratory, Marine Meteorology Division, Monterey, CA)

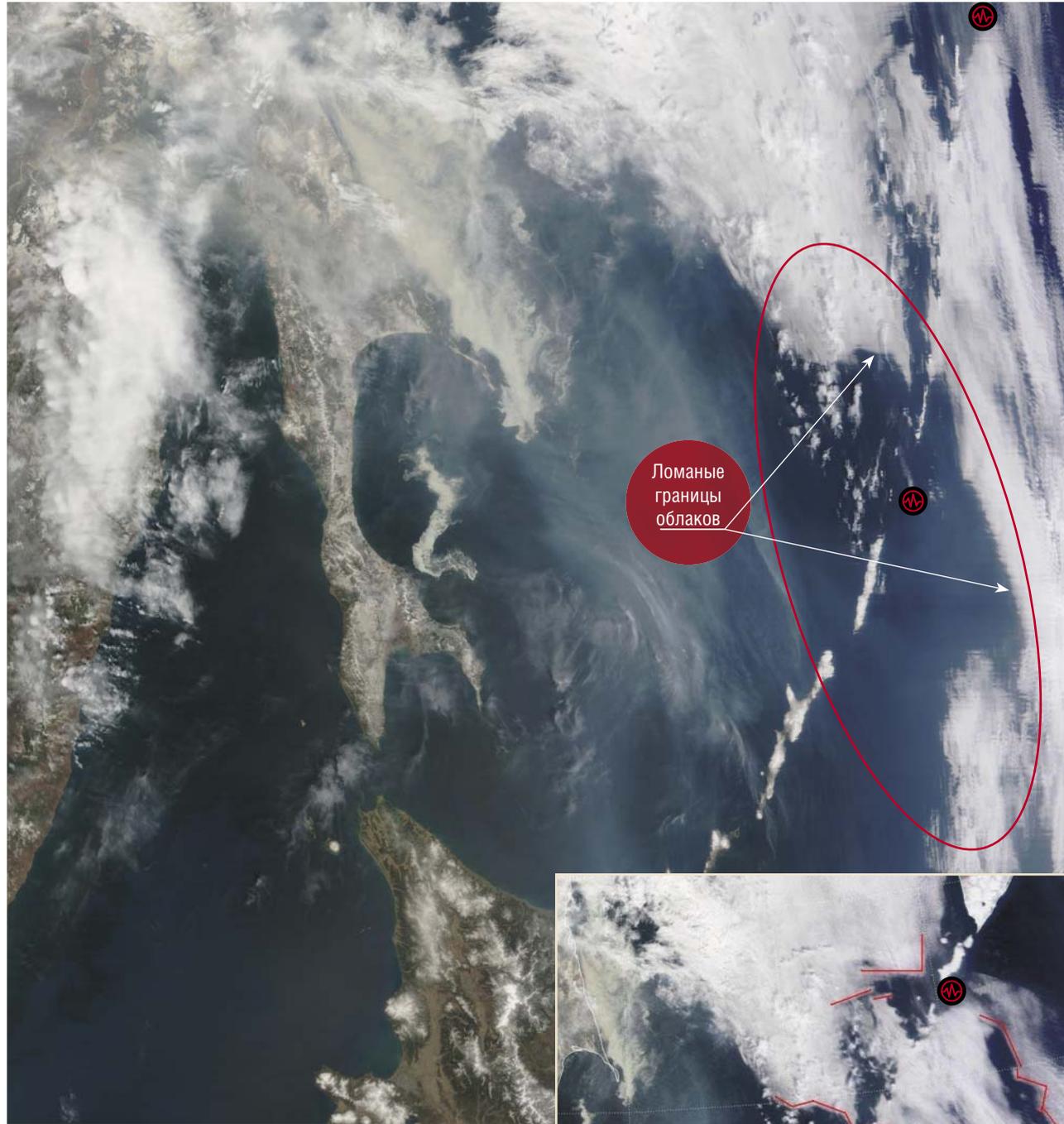


у берегов Японии. Пока циклон находился вне этой области, его вихревое облачное поле имело характерную округлую форму с размытым контуром. По мере смещения циклона в зону сейсмичности, когда на него стало воздействовать излучение из линейного разлома земной коры, в облачном поле циклона над разломом образовалась вертикальная стена, отобразившаяся на снимке в виде резкой линейной границы облачности.

Помимо линейных облачных аномалий, обусловленных воздействием разрывных нарушений литосферы, предвестником землетрясений также могут служить облачные массивы неатмосферной природы, возникающие в регионе очага накануне толчка. Предположительно, они обусловлены выбросом флюидов из недр. Эти «облака землетрясений» возникают как накануне

толчка, так и после него, и сохраняют свое положение в пространстве от нескольких часов до многих суток. Например, в период катастрофического землетрясения в Китае 12 мая 2008 г. короткая гряда таких облаков, возникшая за сутки до первого толчка над активным разломом вблизи эпицентра, наблюдалась более месяца, что свидетельствовало о сохранении сейсмической активности.

Аномальные облачные явления возникают и в результате техногенных землетрясений: наводимая сейсмичность инициирует активизацию разломов, и они становятся источниками мощного излучения. Так, например, сразу после подземного ядерного взрыва вокруг полигона наблюдались ЛОА, которые исчезали и вновь возникали на протяжении последующих

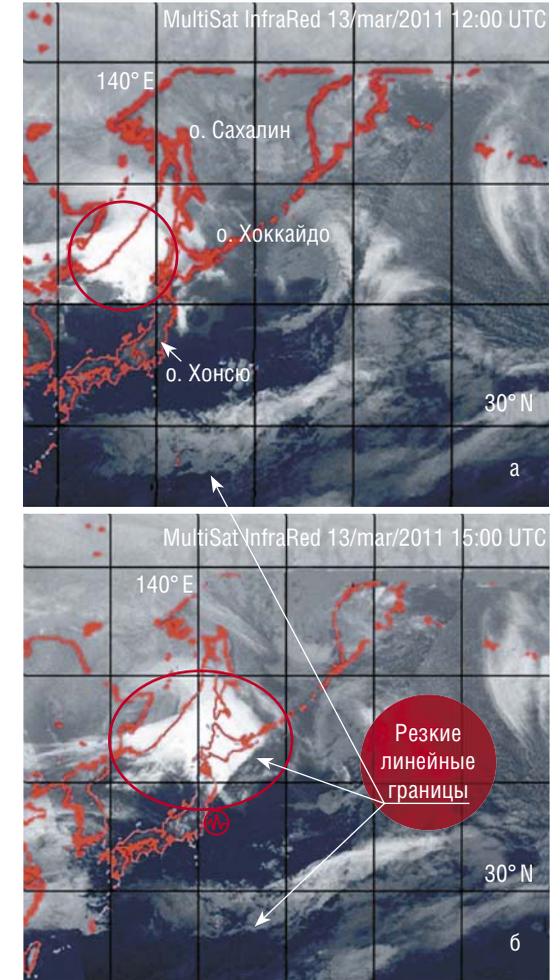


Ломаные границы облаков

Резкие линейные границы

☞ – эпицентр землетрясения

Формирование резких угловатых границ облачных массивов в северной части Курильских о-вов предшествовало землетрясениям на всей островной гряде (2 мая – на Курилах и 3 мая – вблизи о. Хоккайдо). Фото сделаны с ИСЗ Terra (NASA/GSFC, Rapid Response) 30 апреля 2009 г.



Пока облачное поле циклона находилось вне сейсмоактивной области в период серии японских землетрясений 11—14 марта 2011 г., оно имело типичную округлую форму (а). Спустя 3 часа (б) этот циклон достиг активного разлома – и юго-восточная граница облачности стала аномально прямолинейной. Фото сделано с ИСЗ MultiSat (Naval Research Laboratory, Marine Meteorology Division, Monterey, CA) 13 марта 2011 г.

В течение трех часов над Японским морем сохранялось облако необычной конфигурации. Такая «облачность землетрясений» обусловлена выбросом флюидов из недр. Одновременно над мелкими островами южнее о. Кюсю возникла линейная аномалия. Фото сделано с геостационарного спутника NASA 28 марта 2011 г. (Naval Research Laboratory, Marine Meteorology Division, Monterey, CA)

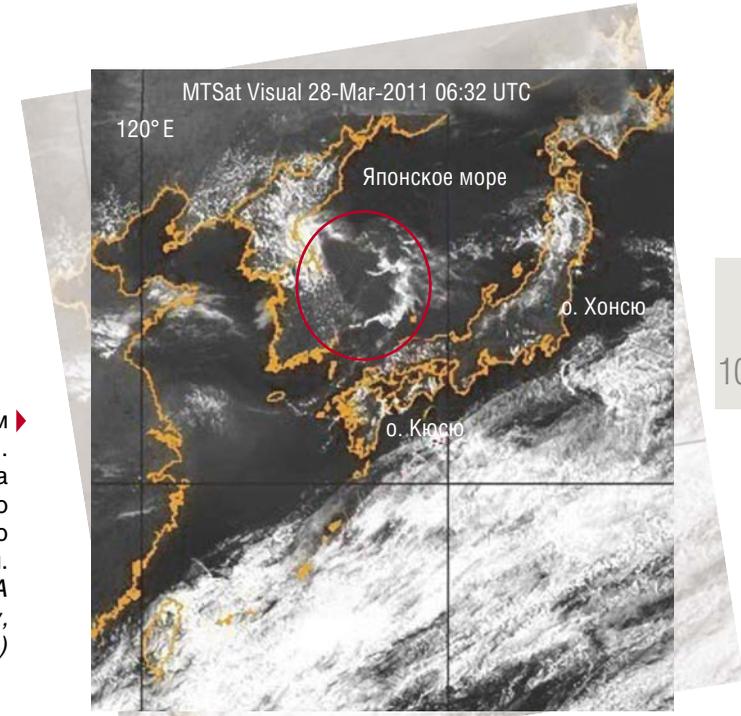
двух недель. Во время испытаний ядерного оружия в Северной Корее они появлялись преимущественно над разломами морского дна в ареале воздействия взрывов. Важно отметить, что по масштабу влияния на земную кору запуск баллистических ракет оказался равноценен небольшому ядерному взрыву.

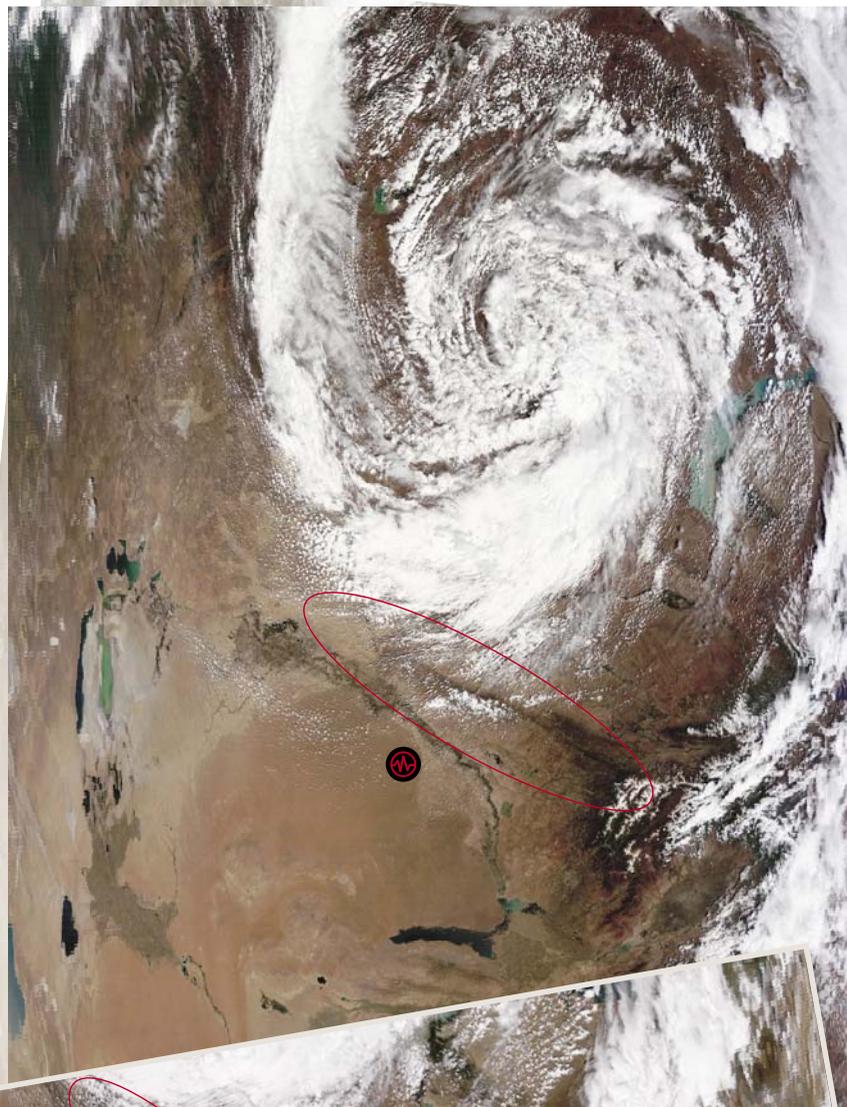
Таким образом, спутниковый мониторинг ЛОА позволяет осуществлять глобальный контроль испытаний мощного энергетического оружия даже при пасмурной погоде на полигоне. Такой контроль оптимален, поскольку нагляден, экологически чист и экономически эффективен.

Волнение в небесах

Горные хребты и массивы создают крупные возмущения в распределении воздушных течений, облачности. Когда из-за неоднородностей рельефа на подветренной стороне горных хребтов образуются параллельные гряды облаков, в метеорологии это явление называют *орографической* облачностью. Воздушный поток пересекает горный хребет, и с его подветренной стороны формируются волны. В восходящих холодных потоках этих волн образуются гряды облаков, а в теплых нисходящих – безоблачные промежутки. Такие же волны в атмосфере возникают и за островами в океане – они хорошо видны на спутниковых снимках.

Если орографические облака распространяются по воздушному потоку в одном направлении, то гряды сейсмогенных облаков взаимно пересекаются, образуя



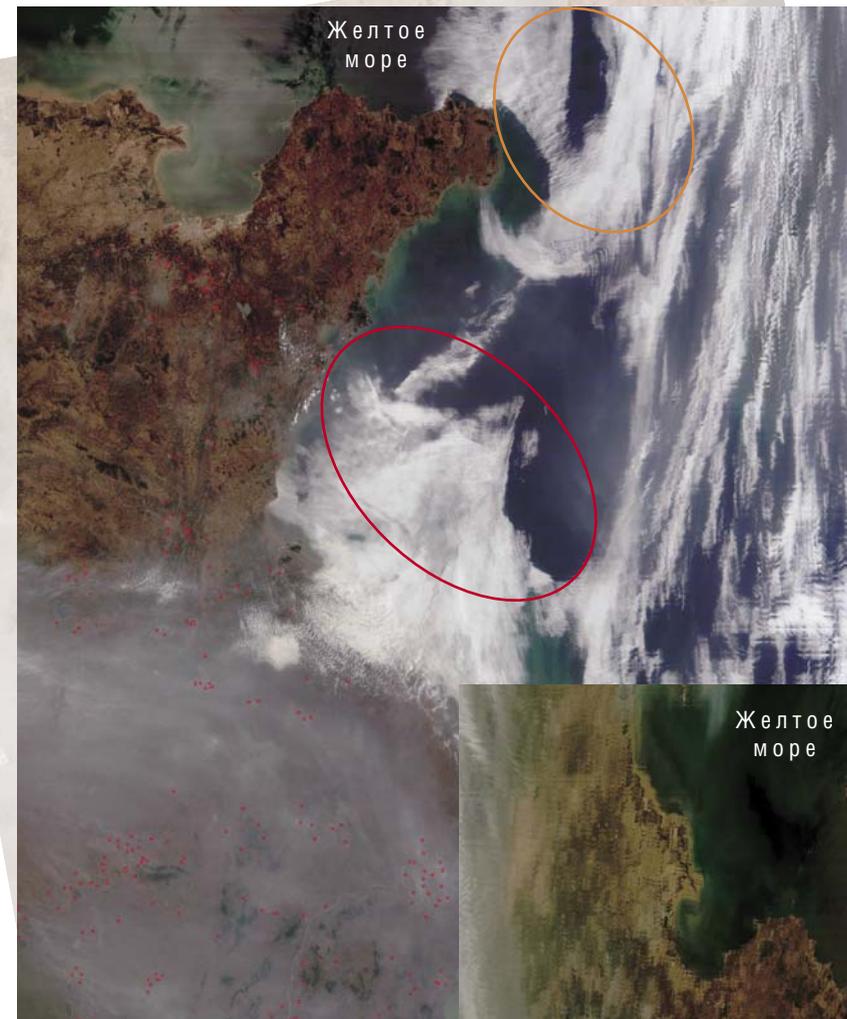


решетку. В период недавнего катастрофического землетрясения в Японии такая конфигурация облачных полей наблюдалась у Курильских островов, и это явление не могло быть вызвано орографическим влиянием или температурными неоднородностями над водной поверхностью. Сохранялась она не более двух часов, после чего на месте этой «сетки» остались только облачные полосы широтной ориентации (вдоль географической параллели – с запада на восток). Столь быстрая перестройка в атмосфере была обусловлена, по-видимому, большой энергетической мощностью литосферных процессов.

23 августа этого года произошло сильное землетрясение в штате Вирджиния (США), в 140 км от столицы государства. О предстоящем событии могли сообщить сразу два типа облачных предвестников, появившихся за сутки до первого подземного толчка. Над регионом

31 мая 2009 г. над Талассо-Ферганским разломом в Казахстане произошло размывание кучево-дождевой облачности в виде каньона. *Вверху* – вращающаяся облачная спираль начинает наплывать на разлом, над которым формируется каньон. *Внизу* – по мере того как облачная спираль наплывает на разлом, над ним все отчетливее проявляется каньон. Через полмесяца, 16 июня, вблизи разлома произошло землетрясение магнитудой 4,5. *Фото сделаны с ИСЗ Terra и Aqua (NASA/GSFC, Rapid Response)*

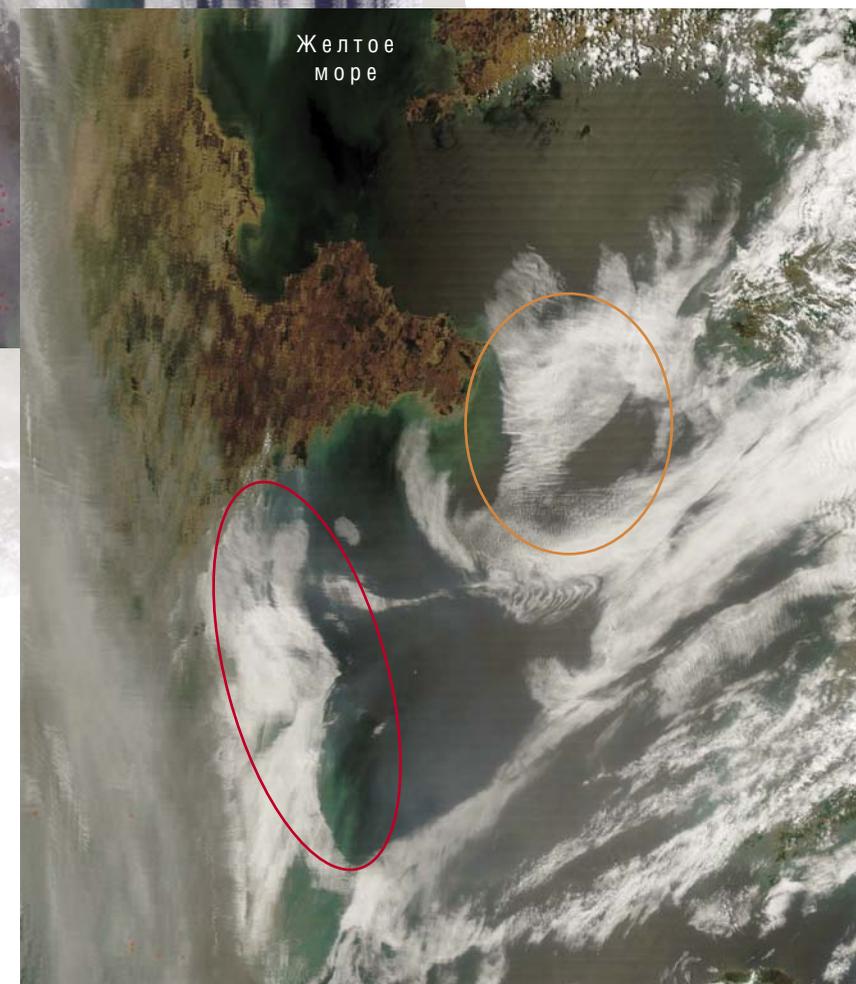
– эпицентр землетрясения

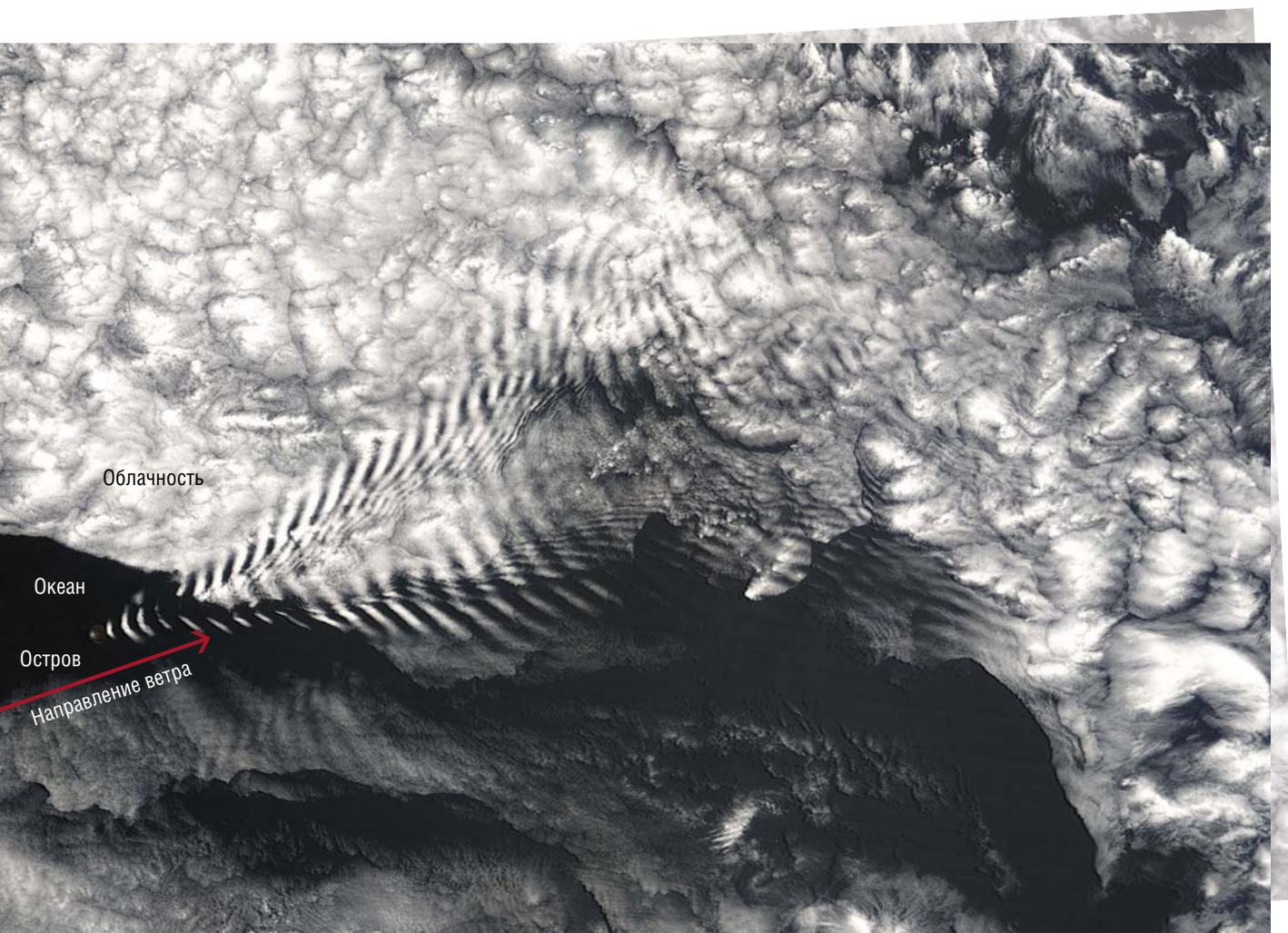


Запуск ядерных ракет ближнего радиуса действия с западного берега Корейского п-ва вызвал активизацию разломов морского дна, которые отобразились на облачных массивах в виде аномально линейных краев (*вверху*). *Справа* – метеорологические облака сместились, но возникшие аномалии сохраняются. *Фото сделаны с ИСЗ Terra и Aqua (NASA/GSFC, Rapid Response) 29 мая 2007 г.*

землетрясения на фоне «сетки» из облачных полос образовались более широкие безоблачные каньоны. Кроме того, в это же время протяженные ЛОА наблюдались на значительном расстоянии – в сотнях километров от этого региона, над Атлантическим океаном, – причем эпицентр располагался на продолжении наземной проекции одной из этих аномалий.

Появление облачных аномалий двух видов можно считать возможным краткосрочным предвестником землетрясения в регионе. Анализ статистических данных показал: вероятность того, что вскоре после обнаружения такого знаменья действительно произойдет сейсмическое событие, составляет 77 %.





Иногда с подветренной стороны острова возникают орографические волны, обусловленные неровностями рельефа. Фото NASA, Visible Earth

Орбитальные сторожа

Территория (или акватория), которая находится под влиянием сейсмического процесса, может быть весьма обширной. Значит, сделать достоверный прогноз разрушительного землетрясения можно только в тех районах, где постоянно действует система наблюдений за предвестниками, способная одновременно охватывать область радиусом не менее 500 км. К сожалению, существующие сети геофизического контроля способны охватывать территории в десятки раз меньше. В то же время зона радиовидимости спутникового центра может простираться на многие тысячи километров, поэтому наиболее подходящей системой слежения за глобальной сейсмической активностью представляется спутниковый мониторинг линейных облачных ано-

малий. Дистанционное зондирование Земли с орбит искусственных спутников достаточно точно определяет основные параметры атмосферы, в частности вертикальные и горизонтальные размеры облачных массивов. Этого достаточно, чтобы получить правильное представление о глобальных и региональных изменениях в системе «атмосфера – литосфера» в различных временных и пространственных масштабах.

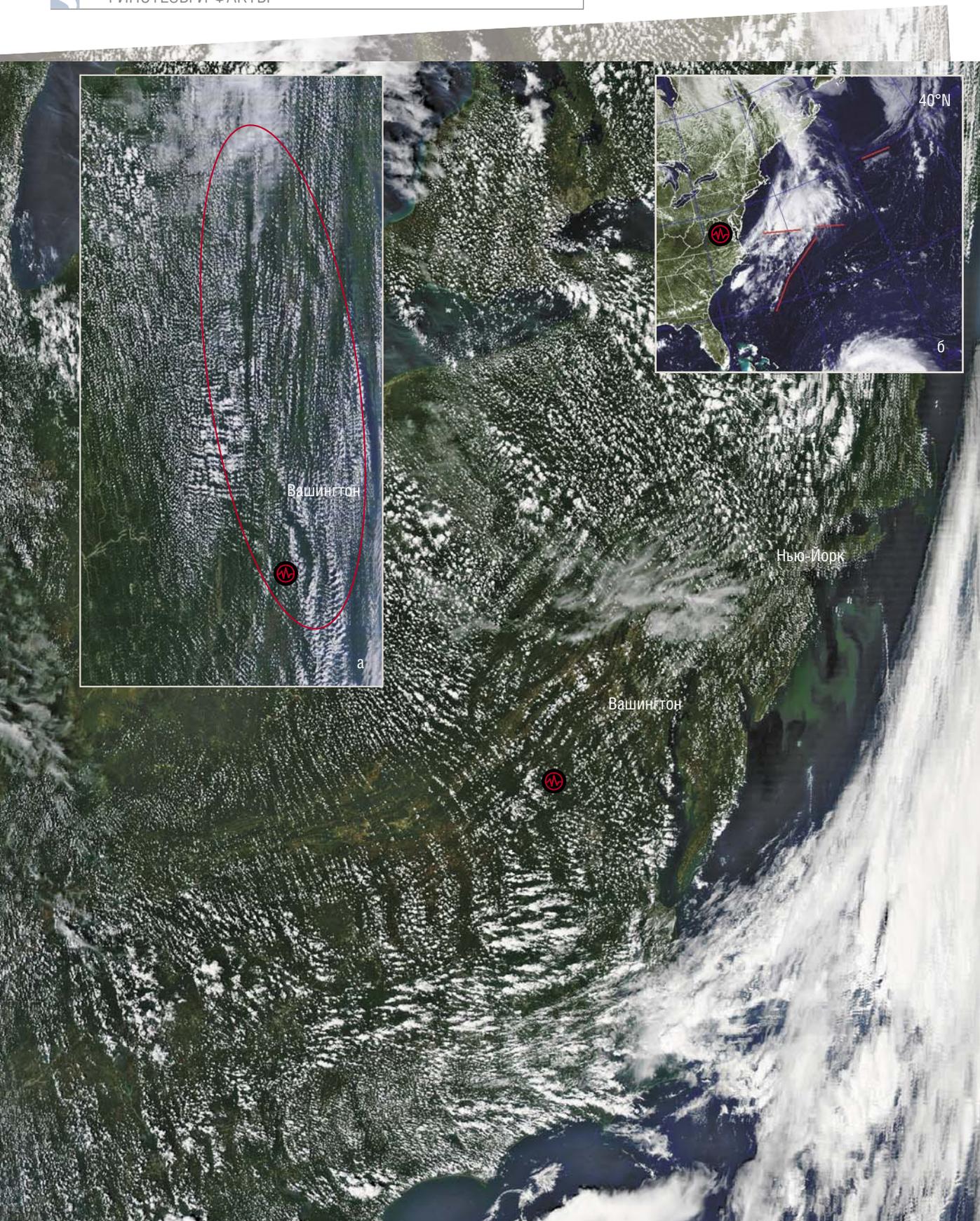
На спутниковых снимках с координатной привязкой дислокация ЛОА позволяет определить географическое расположение активизировавшихся разломов. По тому, как оно изменяется с течением времени, можно судить о направлении и скорости распространения напряжений в земной коре в региональном и



глобальном масштабе. На мелкомасштабных снимках, полученных с высокоорбитальных спутников, фиксируется территория, охватывающая несколько тектонических плит, что позволяет следить за их взаимодействием.

К счастью, осуществлять сейсмический мониторинг вполне по силам уже существующей глобальной сети спутников, с которых поступают данные для прогнозирования погоды. Регламент орбитальных наблюдений за облачным покровом Земли вполне удобен для оперативной регистрации ЛОА. Данные со спутников поступают в режиме непосредственной передачи, скорость обработки информации достаточно высокая, так что результат можно получить за считанные минуты.

«Сетчатые» облака, образовавшиеся вблизи северной части Курильской гряды после землетрясения в Японии, свидетельствовали о сохранении сейсмической активности в регионе (слева). И действительно, хотя через полтора часа вместо этой «сетки» остались только облачные полосы широтной ориентации (справа), на протяжении последующих 3 суток подземные толчки продолжались. Фото сделаны с ИСЗ Terra и Aqua (NASA/GSFC, Rapid Response) 11 марта 2011 г.



— эпицентр землетрясения

Исследование спутниковых изображений Земли позволяет получать информацию о протекающих в ее оболочках процессах в широком временном и пространственном диапазоне. Так, мелкомасштабные снимки со спутников, облетающих планету по дальним круговым орбитам, отличаются обзорностью. Такие снимки позволяют анализировать атмосферную динамику и связанные с ней литосферные процессы на огромных территориях. Несколько десятков геостационарных спутников с орбиты высотой около 36 тыс. км могут передавать изображения практически любого места поверхности Земли с часовым или получасовым интервалом. Крупномасштабные снимки со спутников *Terra* и *Aqua* в настоящее время уже используются для того, чтобы получать карты мелких, локальных ЛОА и изучать составляющие их виды облаков.

К сожалению, один только спутниковый мониторинг облачных аномалий помогает уверенно прогнозировать лишь регион и время начала землетрясения (с точностью до суток). Для того чтобы точно определить положение эпицентра землетрясения, необходимы комплементарные методы. Хотя, по словам члена-корреспондента РАН А.В. Николаева, председателя Экспертного совета по прогнозу землетрясений РАН, уже сегодня, «оставляя пока в стороне вопрос о возможном месте возникновения землетрясения, мы <...> увеличиваем вероятность точного предсказания времени возникновения землетрясения». Ближайшая цель – организовать синхронную регистрацию и совместную обработку ЛОА и сейсмических полей, что позволит в значительной мере усовершенствовать методику прогнозирования землетрясений.

За сутки до землетрясения 23 августа в США над штатом Вирджиния образовалась «сетка» из облачных полос. На ее фоне выделялись два более широких каньона, соединяющихся под углом (а). Пару часов спустя каньоны исчезли, но сетчатая структура облаков сохранялась и далее в течение некоторого времени. Фото сделаны с ИСЗ *Terra* и *Aqua* (NASA/GSFC, Rapid Response) 22 августа 2011 г. Одновременно линейные облачные аномалии появлялись и над разломами дна Атлантического океана (б) (Naval Research Laboratory, Marine Meteorology Division, Monterey, CA)

Значительную часть владений России занимают труднодоступные территории и акватории, поэтому дальнейшее развитие способов спутникового мониторинга природных явлений и катастроф – актуальная задача современной науки. Дальнейшее исследование обнаруженного атмосферного геоиндикатора сейсмического процесса не только принесет практическую пользу, но и расширит существующие представления о природе последнего. Разработка нового научного направления поможет открыть следующую страницу в изучении сейсмичности, разрывной тектоники, в осуществлении экологического контроля подземных ядерных взрывов.

Литература

Авенариус И.Г., Буш В.А., Трецов А.А. Использование космических снимков для изучения тектонического строения шельфов // *Геология и геоморфология шельфов и материковых склонов*. М.: Наука, 1985. С. 163–172.

Летников Ф.А. Синергетика среды обитания человека. Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов / Под ред. А.Г. Гамбурицева. Т. 3. М.: Янус-К, 2002. С. 69–78.

Морозова Л.И. Проявление Главного Уральского разлома в поле облачности на космических снимках // *Исследование Земли из космоса*, 1980. № 3. С. 101–103.

Морозова Л.И. Спутниковый мониторинг: отображение и выявление геоэкологических аномалий и катастроф в Дальневосточном регионе России // *Инженерная экология*, 2008. № 4. С. 24–28.

Сидоренко А.В., Кондратьев К.Я., Григорьев Ал.А. Космические исследования окружающей среды и природных ресурсов Земли. М.: Знание, 1982. 78 с.

Флоренский П.В. Комплекс геолого-геофизических и дистанционных методов для изучения нефтегазоносных областей. М.: Недра, 1987. 205 с.

Morozova L.I. Satellite Meteorological Images as Carriers of Information on Seismic Processes // *Geol. of Pac. Ocean*. 2000. Vol. 15. P. 439–446.

Shou Z. Precursor of the largest earthquake of the last forty years // *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*. 2006. No. 41. P. 6–15.

Данные спутниковой съемки свидетельствовали о приближении землетрясения в Японии – <http://www.roskosmos.ru/main.php?id=2&nid=15949>