

## ПРОЯВЛЕНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ В ОБЛАЧНЫХ ПОЛЯХ

**Л.И. Морозова**

*Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,  
679106, Биробиджан, ул. Шолом-Алейхема, 4, Россия*

Приводятся примеры различных видов линейных облачных аномалий на спутниковых снимках, возникающих над активизировавшимися разломами земной коры. Статистически исследована пространственно-временная связь между землетрясениями и облачными аномалиями. Показана целесообразность использования этих атмосферных облачных аномалий в качестве краткосрочного предвестника времени землетрясения и его региона. Рассмотрена обусловленная сейсмическим процессом эволюция гигантского грозового облака вблизи эпицентра перед землетрясением.

*Литоатмосферные связи, линейные облачные аномалии, спутниковый снимок, геодинамический мониторинг.*

### CRUSTAL GEODYNAMIC ACTIVITY: MANIFESTATIONS IN CLOUD FIELDS

**L.I. Morozova**

We consider different kinds of linear cloud anomalies appearing in satellite images over activated crustal faults. The spatiotemporal relationship between earthquakes and cloud anomalies was studied by statistical methods. It has been shown that these cloud anomalies in the atmosphere can be used for short-term prediction of the earthquake time and region. Also, we consider the earthquake-related evolution of the giant thunderstorm cloud near the epicenter before the earthquake.

*Lithoatmospheric coupling, linear cloud anomalies, satellite image, geodynamic monitoring*

### ВВЕДЕНИЕ

Для геофизической практики может быть полезен подход, при котором эмпирические закономерности в одной области знаний объясняются с помощью экспериментально выявленных закономерностей из другой (в данном случае — физика атмосферы и геодинамика).

В настоящее время активизировано изучение аномальных явлений в атмосфере, которые потенциально могут считаться признаками готовящегося землетрясения и регистрироваться с использованием средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в частности, спутниковых метеорологических снимков. ДЗЗ достаточно точно определяет основные параметры атмосферы, что позволяет получить адекватное представление о глобальных и региональных изменениях в системе атмосфера—литосфера в различных временных и пространственных масштабах. Спутниковые снимки являются основой для диагноза и прогноза различных динамических процессов, протекающих в геосферах Земли с различными скоростями.

Обнаруживаемые на снимках линейно протяженные облачные аномалии (ЛОА), являющиеся следствием литоатмосферных связей, возникают над активизированными разломами разной глубины заложения во всех регионах Земли (эффект Шлюмберже), а в сейсмоактивных регионах — предшествующие землетрясениям. ЛОА на снимках представляют собой либо узкие гряды облаков на фоне безоблачного пространства, либо темные полосы безоблачных каньонов в облачных полях, а также резкие линейные границы облачных массивов — при пересечении активизировавшегося разлома облачность за ним не восстанавливается.

Впервые существование нескольких видов ЛОА в атмосфере было обнаружено при картировании на космических снимках разломов шельфовых зон континентов и Каспийского моря [Кобец, 1976; Еременко, Каттерфельд, 1978; Ежов, Ищенко, 1983; Авенариус и др., 1985]. Новый вид ЛОА — безоблачные каньоны в облачном покрове — был обнаружен автором над Главным Уральским разломом и Тиманским кряжем [Морозова, 1980, 1983]. В некоторых случаях на одном и том же снимке над разными разломами или разными участками одного и того же разлома наблюдались гряды и каньоны, свидетельствующие либо о знакопеременном характере геофизических аномалий в этих разломах, либо о разной степени насыщенности атмосферы заряженными аэрозолями, способствующими генерации или деградации об-

лачности. Причиной возникновения облачных гряд, наблюдающихся только в приземном слое атмосферы и имеющих небольшую протяженность, может быть повышенная концентрация металлизированных флюидов, водорода и радона в зоне разлома. Однако резкая линейная граница размывания облачности над разломом от ее нижней границы до высот 12—16 км на протяжении несколько сотен километров не может быть обусловлена только флюидами и аэрозолями — они размывались бы воздушными потоками и не образовывали бы вертикальных стенок как внутри облачного массива, так и на его границе. Ни один процесс в атмосфере, в среде с низкой вязкостью, не может дать такой резкой границы — смены атмосферных характеристик.

По Ф.А. Летникову [2002, с. 71]: «ЛОА являются следствием тектонической и энергетической активизации разломов». Предположение, что ЛОА могут быть обусловлены активизацией разломов, подтвердилось при использовании спутниковых снимков в анализе сейсмических процессов [Морозова, 1993, 1994]. Ю.С. Генштафт [2009, с. 5] считает, что «появление облачных аттракторов («улиц» облаков) в области, близкой к сейсмофокальной, свидетельствует о том, что причины землетрясений — случайные колебания любого фактора, воздействующие на неустойчивую, находящуюся в напряженно-деформационном состоянии среду». Представляют интерес исследования предвестника (аномальные облачные образования мезо- и микромасштаба) в плане анализа барических градиентов, влияющих на структуру напряжений земной коры [Платонов и др., 2007]. Возникновение облачности землетрясений с позиций новой концепции в глобальной тектонике рассматривается в работе [Shou, 2006].

Изучение геофизической среды в настоящее время ориентируется на проведение режимных инструментальных наблюдений и контроль ее состояния для предупреждения явлений катастрофического характера. Один из методов их прогноза — геодезический, повторяющийся 1—2 раза в год на крупных полигонах. Такая частота опроса позволяет следить лишь за фоновым геодинамическим процессом и затрудняет средне- и краткосрочные прогнозы землетрясений. Увеличение же частоты опроса большой геодезической сети резко увеличит финансовые затраты. Поэтому для повышения эффективности измерений очень важно существенно сократить время обработки данных, без потери репрезентативности получаемых результатов.

Достоверный прогноз разрушительного землетрясения можно осуществлять только в тех районах, где установлена постояннодействующая система наблюдений за предвестниками, охватывающая область с линейными размерами более 1000 км. Такой системой может быть спутниковый мониторинг активизированных разломов по их геоиндикатору — ЛОА. Существующая глобальная сеть сбора спутниковых данных для прогноза погоды может быть использована и для сейсмического прогнозирования.

Ближайшая задача — переход к синхронной регистрации и совместной обработке полей ЛОА и сейсмических полей. Вероятность прогноза катастрофического сейсмического события по аномально большому числу ЛОА может быть достаточно высокой, гораздо выше той, с какой геодинамические процессы заканчиваются землетрясениями. В областях сосредоточенной (непрерывной) сейсмичности, одной из которых является Азиатско-Тихоокеанский регион, перспективно вести наблюдения за временными предвестниками землетрясения, в данном случае — ЛОА [Романов, 2007]. «В недалеком будущем по аналогии с метеорологией окажется возможным широкомасштабный прогноз сейсмической погоды, благодаря регулярному составлению специальных синоптических карт, характеризующих направленность развития сейсмогеодинамических процессов в крупных регионах на трансрегиональном и глобальном уровнях» [Уломов, 1998, с. 166].

Процесс дешифрирования спутниковых снимков с целью сейсмического прогноза включает следующие циклы: постановка геологической задачи; выбор оптимальных масштабов спутниковых снимков для ее решения; выделение ЛОА на снимках и методика извлечения полезной информации.

В данном исследовании стояла задача проверить на материале землетрясений Азиатско-Тихоокеанского региона выводы предыдущих работ автора для других регионов азиатского континента относительно корреляции количества ЛОА перед землетрясением с его энергией, влияния глубины гипоцентров на облачные характеристики. В статье также обсуждается — использование снимков каких масштабов, получаемых бесплатно по интернету, предпочтительно для обнаружения скоплений ЛОА и каких — для изучения деталей облачного покрова в ЛОА.

Другое атмосферное явление, обусловленное геофизическими аномалиями земной коры, выражено в повышенной грозовой активности. Замечено, что она сопутствует извержениям вулканов и землетрясениям. Доказывается, что обнаруженное впервые в Дальневосточном регионе образование гигантского грозового облака вблизи будущего эпицентра накануне землетрясения обусловлено сейсмическим процессом.

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Основой проведенных исследований являются результаты трехлетнего (2007—2009 гг.) мониторинга линейных облачных аномалий в Дальневосточном регионе. База данных включает режимные

спутниковые снимки с ЛОА и каталоги для 85 сейсмических событий в регионе, на основе которых строились совмещенные схемы полей ЛОА и эпицентров землетрясений. Анализировались только землетрясения, сопровождающиеся линейными облачными аномалиями. ЛОА выявлялись визуально на ежечасных телломасштабных снимках с геостационарного спутника NPMOC mtsat-1r и полярно-орбитального Тетта.

В работе реализован авторский способ определения тектонической активности территории в реальном масштабе времени по появлению ЛОА над разломами на спутниковых метеорологических снимках перед землетрясениями и после подземных ядерных взрывов [Патент..., 1994]. Суть его состоит в оперативном выявлении по спутниковым снимкам активизировавшихся разломов по появлению над ними ЛОА за несколько часов — первых суток до землетрясения на заключительной стадии его подготовки. Время существования ЛОА в атмосфере составляет от нескольких десятков минут до нескольких часов и определяется длительностью импульса возмущения геофизических полей в земной коре в зоне разлома. Поскольку ЛОА имеют пульсирующий характер, существующий регламент наблюдений за облачным покровом Земли со спутников вполне удобен для их изучения. Оперативность сбора и обработки данных со спутников, передающих информацию в режиме непосредственной передачи, достаточно высока. При обнаружении начавшегося появления ЛОА в регионе их координаты (по мере получения очередных снимков) наносят на карту-схему того же масштаба, что и снимка. Увеличение или сохранение количества ЛОА на снимке соответствует нарастанию тектонической активности в регионе, а резкое их уменьшение или полное исчезновение после землетрясения — ослаблению. Возникновение роя ЛОА является краткосрочным предвестником времени землетрясения в регионе. Способ позволяет оценить истинные размеры территорий, охваченных сейсмическим процессом, превышающие расчетные на 6 порядков. В предлагаемом способе пространственное положение активизировавшихся разломов определяют только по одному параметру – линейным облачным аномалиям на снимках. Динамика ЛОА в атмосфере является следствием динамики земной коры, поэтому по изменению положения ЛОА на снимке можно судить о направлении и скорости распространения напряжения в земной коре в региональном и глобальном масштабе. На основании установленных на снимках признаков, характеризующих положение различных видов облачности над землей (ярусы облаков) с линейными облачными аномалиями в них, можно оценить толщину слоя атмосферы, подвергающегося влиянию разлома для каждого конкретного случая.

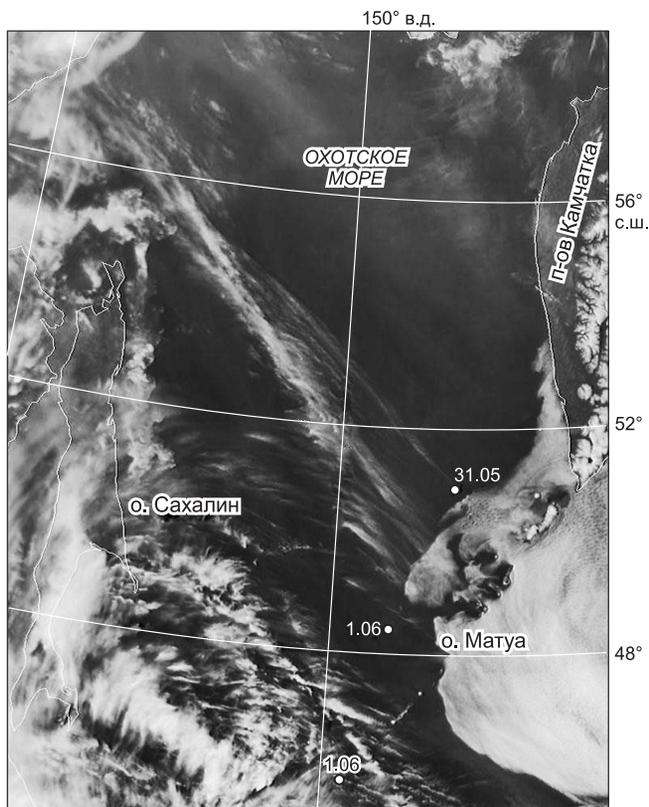
Процесс дешифрирования ЛОА на метеорологических спутниковых снимках целесообразно производить в визуальном (интерактивном) режиме распознавания образов, пока не решен вопрос об автоматическом выделении облачных линеаментов. Визуальная информация (ЛОА на снимках) более репрезентативна и может быть представлена в течение нескольких минут после получения снимка.

Полигоном для спутникового мониторинга облачных аномалий служит зона радиовидимости спутникового центра, площадь которой на 3 порядка выше наземного полигона. На спутниковых снимках фиксируется территория, охватывающая несколько тектонических плит, что позволяет следить за их взаимодействием. Мелкомасштабные снимки дают возможность обнаружить в зоне обзора спутника скопления ЛОА диаметром более 500 км, крупномасштабный же снимок с роем ЛОА не позволяет обозреть фоновое пространство, в котором возник этот рой и, возможно, имеются другие. Последние используются для изучения видов облачности, образующих ЛОА, и картировании мелких локальных ЛОА.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ниже даны примеры динамики различных видов ЛОА в регионах землетрясений. На снимке (рис. 1) зафиксирована ЛОА в виде гряды перистой облачности верхнего яруса (выше 12 км) над северо-западным разломом Охотского моря. Облачные аномалии, выраженные в размывании облаков над разломами, также запечатлены на снимке (рис. 2). Последовавшие с 22 по 26 декабря 2009 г. землетрясения магнитудой от 4 до 6.3 отмечались на восточном побережье п-ова Камчатка, Курильских островах (о. Парамушир) и на материке — в Приморье. Визуализация облаками процесса взаимодействия трех разломов и сочетание двух видов облачных аномалий — резкой прямоугольной границы на части периметра облачного поля в Хабаровском крае и безоблачного каньона на территории Китая — отражена на снимке (рис. 3). Многочисленные примеры разновидностей ЛОА и их динамики в пространстве и времени приведены в монографии [Морозова, 2007].

Как показали результаты дешифрирования снимков при сейсмических процессах, ЛОА выражены преимущественно в виде размывающейся облачности. В большинстве случаев они возникали над разломами северо-западных румбов. Разломы этих направлений являются сейсмогенными для всех регионов Евразии и Атлантического океана [Морозова, 1997, 2008; Мазарович, Соколов, 2002]. Выявлена триггерная роль активизации разломов северо-западных направлений над Охотским морем в последующей сей-



**Рис. 1.** Линейная облачная аномалия северо-западной ориентации над Охотским морем 31.05.2009 г. (от верхней левой части снимка к о. Матуа).

Снимок со спутника Тетра. Цифры у точек эпицентров указывают даты землетрясений: 31.05 к северо-западу от Курильских островов,  $M=3.8$ ; 1.06 — о. Матуа,  $M=4.7$ ; о. Итуруп,  $M=4.0$ .

смичности региона, сопровождающаяся появлением над ними наиболее протяженных (до 1000 км) линейных облачных аномалий. Такие аномалии возникали 19.11.2007 г.; 22.06.2008 г.; 4.04, 31.05, 22.09 и 22.12.2009 г. Повторно ЛОА над одним и тем же разломом может возникнуть через неопределенное время: несколько дней, месяцев или лет.

Гряды через все Охотское море, появившаяся 31.05.2009 г. (см. рис. 1), предшествовала землетрясениям вблизи Курильских островов, отмечавшимся в течение суток с момента активизации разлома, а 12 июня началось катастрофическое извержение влк. Пик Сарычева на о. Матуа Курильской островной дуги. Вулкан находился на южной оконечности этого активированного разлома (проекции ЛОА на землю).

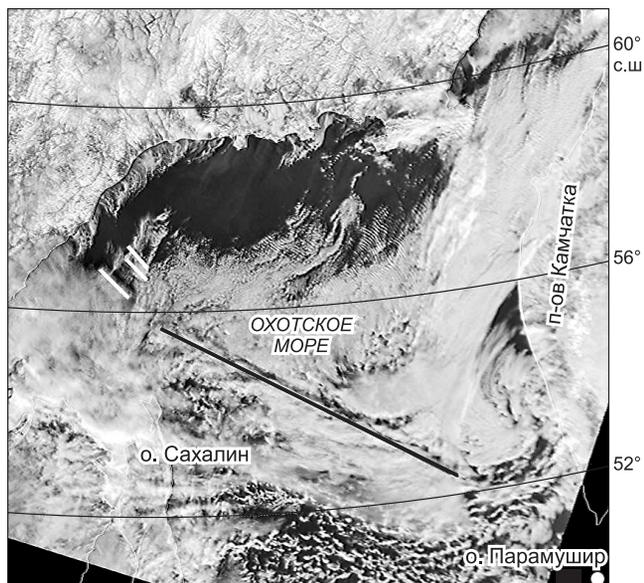
Что касается остальных ЛОА, прежде при извержениях в Курило-Камчатском регионе не возникавших, на этот раз они появились над различными участками Курильской гряды, в том числе и в непосредственной близости от вулкана.

Предыдущее появление 4.04.2009 г. ЛОА в виде протяженной (800 км) облачной гряды сопровождалось как сильными, так и слабыми землетрясениями. На схеме (рис. 4) ей соответствуют две линии ЛОА-5. На схему нанесены ЛОА, возникшие с 31 марта до землетрясения ( $M=6.9$ ) на о. Уруп 7 апреля. Ближайшая к эпицентру землетрясения облачная аномалия (ЛОА-7) появилась над северо-западным трансформным разломом 5 апреля. Повторный толчок отмечался 18 апреля ( $M=6.2$ ). ЛОА имеют преимущественно северо-западное направление. Появлению протяженной гряды предшествовало множество коротких ЛОА по обе стороны Курильских островов и серия землетрясений на них. С 1 по 7 апреля отмечались толчки у островов Кюсю ( $M=5.8$ ), Хоккайдо ( $M=4.7$ ) и Матуа ( $M=4.9$ ).

Известно, что всем катастрофическим извержениям предшествуют землетрясения вблизи вулканов, которые отмечались и перед извержением влк. Пик Сарычева. Рой коротких ЛОА (см. рис. 4, окружность) обозначил регион будущего эпицентра на о. Уруп еще до появления протяженной ЛОА. Короткие ЛОА над трансформными разломами островной дуги возникли до толчка, в одном случае — к югу от эпицентра будущего землетрясения у о. Матуа 6 апреля (ЛОА-4), в другом — вблизи очага на о. Уруп 5 апреля (ЛОА-7). Возникновение коротких ЛОА

**Рис. 2.** Безоблачные каньоны над Охотским морем (черные и белые линии).

Эпицентр землетрясения 22.12.2009 г. у о. Парамушир обозначен точкой. Остальные очаги не попали в кадр снимка. Снимок со спутника Тетра сделан 22.12.2009 г. в 1 ч 55 мин.



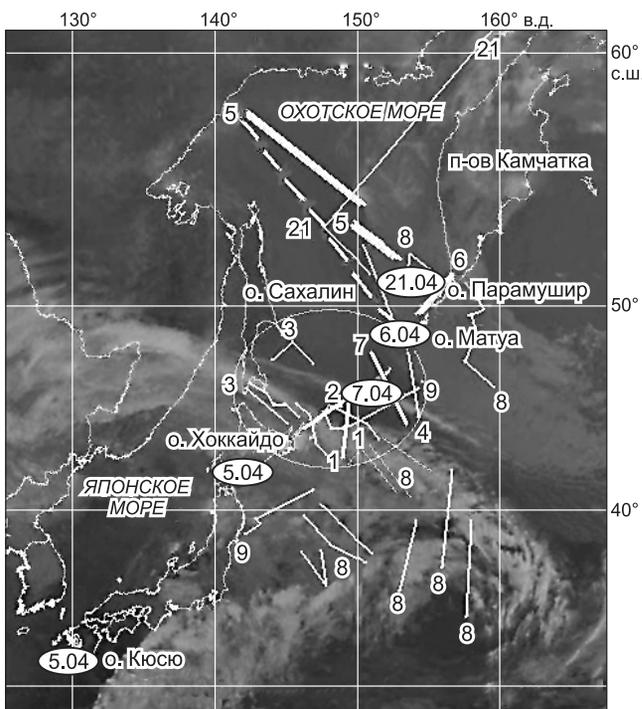
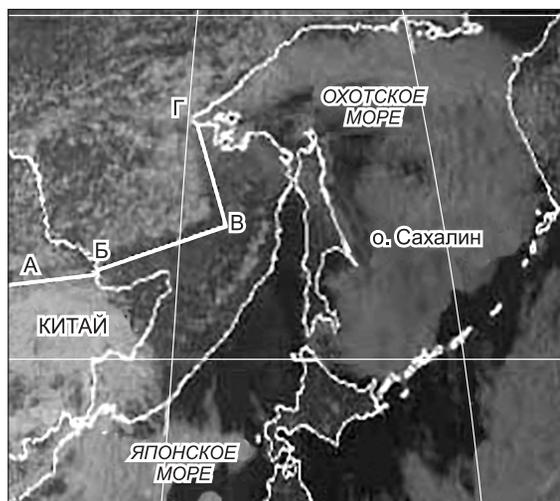
**Рис. 3. Линейные облачные аномалии:**

АБ — каньон, БВ, ВГ — линейные границы облачного поля.

над островами часто предшествовало землетрясениям умеренной силы. Появление же протяженной ЛОА (активизация разлома большой протяженности) является предвестником катастрофического землетрясения или серии нескольких менее сильных землетрясений на значительной территории региона. Позже сильные землетрясения произошли 21 апреля у о. Парамушир ( $M=6.2$ ), эпицентр которого оказался на продолжении проекции ЛОА-5 на земную поверхность, и на юге о. Хоккайдо 28 апреля ( $M=6.1$ ). Спустя 13 ч после землетрясения 21.04.09 г. на о. Парамушир активизировался южный участок северо-западного разлома (ЛОА-5). Диаметр роя ЛОА в атмосфере в некоторых случаях достигал двух тысяч километров, и эпицентр почти всегда оказывался под ним, что соответствует выводам В.П. Солоненко [1965] о появлении предвестников за тысячи километров от эпицентра.

Главной задачей при изучении любого предвестника землетрясений и использования его в эмпирическом прогнозе является установление связи времени возникновения предвестника (интервала времени от момента его появления до момента землетрясения) с энергией землетрясения.

База данных землетрясений, сопровождавшихся облачными аномалиями, включает 85 событий. Отдельно по градациям магнитуд было подсчитано общее количество ЛОА различных направлений в регионах эпицентров и ЛОА северо-западных румбов (табл. 1). Преобладание последних отмечено для всех землетрясений, но в интервалах магнитуд более 4.5 с увеличением энергии землетрясения отчетливо выражено возрастание их количества (с 55 до 76 %) по сравнению с ЛОА других направлений. Число землетрясений, при которых количество ЛОА составляло три и более, росло с увеличением энергии землетрясений. Так, для землетрясений с  $M < 4.5$  такое количество ЛОА наблюдалось лишь в 26 % случаев, а для катастрофических — в 83 %. Количество ЛОА для землетрясений с  $M \geq 6.0$  в два раза превышало число ЛОА во время землетрясений с  $M < 6.0$  (25 и 13 соответственно). Эти данные для Дальневосточного региона совпадают с результатами, полученными для территорий Малой и Центральной Азии [Морозова, 1997, 2005а,б].



Оценить возможности использования факта появления ЛОА в регионе в качестве оперативного предвестника землетрясений можно с помощью данных табл. 2. База данных по землетрясениям была разграничена по интервалам магнитуд, заблаговременность появления ЛОА перед толчком представлена в трех промежутках: меньше 6 ч, от 6 до 12 и более 12 ч. Продолжительность существования ЛОА также дана в градациях. Из 85 проанализированных сейсмических событий 58 (70 %) предварялись линейными облачными аномалиями. В остальных

**Рис. 4. Схема ЛОА, возникших перед землетрясениями в апреле 2009 г.**

В точках эпицентров указаны даты землетрясений. Цифры у концов ЛОА показывают последовательность их появления на снимках со спутника Тетра: 1 — 31.03, 1 ч 25 мин; 2 — 3.04, 0 ч 15 мин; 3 — 3.04, 1 ч 55 мин; 4 — 4.04, 0 ч 00 мин; 5 — 4.04, 0 ч 55 мин; 6 — 5.04, 0 ч 00 мин; 7 — 5.04, 1 ч 40 мин; 8 — 6.04, 0 ч 45 мин; 9 — 7.04, 1 ч 30 мин; 21 — 21.04, 21 ч 30 мин. ЛОА 31 мая 2009 г. обозначена штриховой линией.

Таблица 1. **Связь количества и направленности ЛОА с магнитудами**

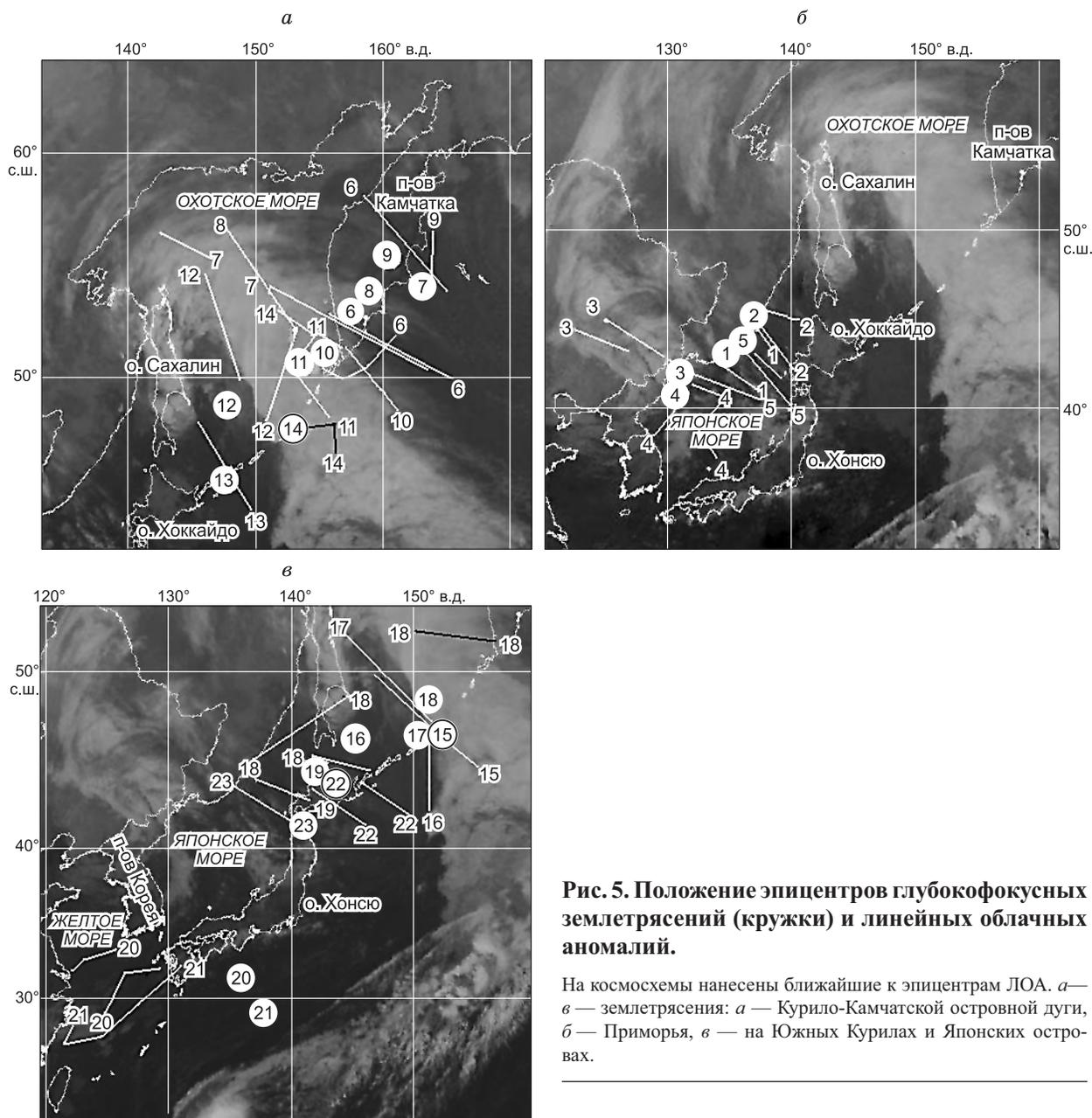
Интервалы магнитуды	Количество землетрясений	Общее количество ЛОА	Количество северо-западных ЛОА	Количество землетрясений с ЛОА $\geq 3$ , %
3.6—4.5	30	57	43 (75 %)	26
4.5—5.5	44	118	65 (55 %)	37
5.5—6.0	5	13	9 (69 %)	40
$\geq 6.0$	6	25	19 (76 %)	83

Таблица 2. **Время появления ЛОА до толчка и продолжительность их существования в зависимости от магнитуды**

Интервалы магнитуды	Заблаговременность появления ЛОА, ч			Продолжительность, ч			
	< 6	6—12	> 12	< 1	1—6	6—24	> 24
3.6—4.5	13	4	4	9	8	5	0
4.5—5.5	11	8	9	10	12	3	3
5.5—6.0	2	1	0	1	2	0	0
$\geq 6.0$	2	0	4	1	2	1	1
Итого	28 (48 %)	13 (22 %)	17 (30 %)	21 (36 %)	24 (42 %)	9 (15 %)	4 (7 %)

Таблица 3. **Глубокофокусные землетрясения и облачные аномалии**

№	Регион землетрясения	Дата землетрясения	Координаты эпицентра, град		<i>M</i>	Глубина гипоцентра, км	Кол-во ЛОА
			с. ш.	в. д.			
1	Приморье	2005.04.14	43.27	135.47	4.8	359.6	3
2	»	2006.10.09	45.2	137.1	4.5	340	6
3	»	2008.05.19	42.5	131.9	5.7	507.8	3
4	»	2009.05.06	41.71	131.26	4.3	540	4
5	»	2009.05.26	43.82	135.67	4.7	350	1
6	п-ов Камчатка	2007.05.30	52.14	157.31	6.0	115.8	6
7	»	2007.06.06	55.14	162.90	4.1	100	7
8	»	2007.07.03	53.54	159.20	4.9	130	1
9	»	2007.10.14	55.73	160.39	3.9	140	1
10	»	2007.11.07	51.46	156.47	3.8	130	1
11	о. Парамушир	2008.02.16	50.04	154.63	4.0	130	2
12	Северо-западнее Курильских островов	2007.02.26	48.15	148.60	3.6	390	2
13	о. Итуруп	2007.10.07	44.39	148.73	3.9	90	1
14	о. Симушир	2007.10.18	46.99	152.48	4.1	120	2
15	»	2007.11.14	46.79	152.56	4.1	140	1
16	Северо-западнее Курильских островов	2008.02.13	47.61	147.44	4.3	370	1
17	о. Симушир	2008.12.07	47.69	153.04	4.8	100	1
18	Северо-западнее Курильских островов	2009.06.01	48.25	151.77	4.0	210	2
19	о. Хоккайдо	2009.06.02	44.90	142.13	4.8	250	2
20	о. Изу	2007.02.05	30.58	137.16	4.5	501	4
21	»	2007.02.07	29.82	138.98	4.3	400	3
22	о. Хоккайдо	2007.07.1	43.83	144.82	6.0	130	2
23	»	2008.10.16	42.63	142.62	5.2	110	1



**Рис. 5.** Положение эпицентров глубоководных землетрясений (кружки) и линейных облачных аномалий.

На космосхемы нанесены ближайшие к эпицентрам ЛОА. *а* — *в* — землетрясения: *а* — Курило-Камчатской островной дуги, *б* — Приморья, *в* — на Южных Курилах и Японских островах.

28 случаях ЛОА возникали после толчка. В 48 % случаев ЛОА возникали менее чем за 6 ч до толчка. Появление облачных аномалий до землетрясения с заблаговременностью менее 12 ч в 70 % случаев свидетельствует о краткосрочном характере предвестника и необходимости быстрого реагирования на него. Импульсная природа ЛОА подтверждается кратковременностью существования роя ЛОА: преимущественно (78 %) менее 6 ч. В этот период ЛОА возникали над разными разломами региона, лишь иногда повторно появляясь над одним и тем же разломом через произвольный интервал времени или сохраняясь над ним.

Ранее автором было показано, что появление ЛОА в атмосфере не зависит от гипоцентра землетрясения. Анализ 23 глубоководных землетрясений северо-западной части Тихого океана показал, что все они сопровождались облачными аномалиями (табл. 3). Согласно [Базавлук, Юдахин, 1993], активизированные в слое гипоцентра разломы просвечивают сквозь вышележащие слои земной коры, благодаря электромагнитному излучению из них. Предполагается, что ЛОА «рисуют» на снимках разломы слоя, содержащего гипоцентр, являясь следствием воздействия электромагнитного излучения разломов на атмосферу. Схемы подтверждают, что преимущественное большинство ЛОА, как и при коровых землетрясениях, имеет северо-западную ориентацию (рис. 5). Цифры в кружках и у концов линий соответствуют данным табл. 3. Фоном этих космосхем является один из снимков с геостационара, с которых снималась информация о ЛОА.



**Рис. 6. Грозное облако (над Хабаровском) в зоне линеймента Танлу (белая линия) и расположенный к северо-западу от него эпицентр землетрясения (белая точка) на снимке 15.06.2008 г. в 11 ч 30 мин.**

рам — в поперечнике менее 100 км — возникают южнее, в Приморье. Облако накрыло часть р. Амур (рис. 6).

Появление этого облака предшествовало землетрясению ( $M = 4.9$ ) в Амурской области 17 июня в 17 ч 26 мин. Облако развивалось над густой сетью активных разломов, входящих в систему линеймента Танлу и, как было показано в [Морозова, 2001], порождающих периодически, и особенно много перед землетрясениями, облачные аномалии над ними. Ретроспективно по снимкам был проанализирован процесс развития облака с момента его зарождения 15 июня в 3 ч 30 мин по Гринвичу до распада в 15 ч 30 мин. Период жизни облака составил 12 ч, тогда как обычно грозное облако существует около часа. Такие облака имеют самую большую из всех видов облаков вертикальную мощностъ и представляют собой локализованную область резко выраженной конвективной и электрической активности. Самолетные и радарные исследования показывают, что крупные грозные облака могут иметь в диаметре десятки километров, их вершины могут достигать высоты 20 км. Окружающие условия являются основным фактором в их образовании. Необходима очень сильная конвективная неустойчивость атмосферы. Температура воздуха у земли должна быть выше  $+27\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В данном случае максимальная температура воздуха у поверхности земли за сутки повысилась с  $+22$  до  $+32\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Самолет, пролетающий сквозь грозное облако, обычно попадает в болтанку, обусловленную турбулентностью.

Однако помимо благоприятных атмосферных условий в процессе развития данного грозного облака определенную роль могло сыграть увеличение электромагнитного излучения и эманаций радиоактивных газов из разломов в период нарастания сейсмической активности территории за двое суток до толчка. Физический механизм образования грозного облака, основанный на учете излучений, поступающих из земной коры в атмосферу, изложен в [Ермаков, Стожков, 2004]. Необходимым условием развития грозных облаков они считают ионизацию атмосферы. В связи с этой теорией можно допустить, что к возникновению этого феноменального облака причастны и процессы, происходящие в недрах Земли.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спутниковый мониторинг облачных аномалий позволяет оперативно обнаружить регион вероятного сильного землетрясения. Результаты статистической обработки связей параметров ЛОА с магнитудой землетрясений и положений гипоцентров оказались одинаковыми для различных регионов Земли. Перед сильными землетрясениями количество ЛОА намного больше, чем перед слабыми, и они охватывают значительную часть территории региона. Грозные облака, вызванные сейсмическими процессами, занимают площадь на порядок большую, чем при грозной активности, обусловленной атмосферным процессом. Их также целесообразно включать в мониторинг сейсмичности.

Спутниковый мониторинг сейсмичности в Азиатско-Тихоокеанском регионе, включающем огромные закрытые территории, является единственным средством наблюдения в реальном времени, а потому предпочтительнее наземного, основанного на обработке результатов всех типов сейсмометров, что дает значительный выигрыш во времени — главнейшем факторе при прогнозе стихийных явлений. Однако космостемка должна применяться в комплексе с другими методами, обуславливая более надежные прогнозы положения эпицентра.

Методы геофизической разведки с использованием спутниковых снимков характеризуются дешевой и экологической чистотой, так как геологическая среда не подвергается воздействию искусственных источников поля. Мониторинг облачных аномалий — ЛОА и грозных очагов — может стать дистанционным контролем тектонической активности региона с целью обеспечения безопасности больших инженерных сооружений — плотин, аэродромов, АЭС.

## ЛИТЕРАТУРА

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

**Базавлук Т.А., Юдахин Ф.Н.** Деформационные волны в земной коре Тянь-Шаня по сейсмологическим данным // Докл. РАН, 1993, т. 329, № 5, с. 565—570.

**Геншафт Ю.С.** Земля — открытая система: геологические и геофизические следствия // Физика Земли, 2009, № 8, с. 4—12.

**Ежов Б.В., Ищенко Л.И.** Отображение тектонических структур в строении облачного и ледового покровов // Морфоструктурные исследования на Дальнем Востоке. Владивосток, Дальнаука, 1983, с. 114—119.

**Еременко В.Я., Каттерфельд Г.Н.** Использование космических снимков при изучении региональных и глобальных систем линейных элементов Земли // Изв. вузов. Геология и разведка, 1978, № 10, с. 23—29.

**Ермаков В.И., Стожков П.Н.** Физика грозových облаков. ФИ РАН. Препринт. М., 2004, 38 с.

**Кобец Н.В.** Геологическое и геоморфологическое дешифрирование морского дна по космическим фото- и телевизионным снимкам // Труды ВСЕГЕИ и ЛАЭМ. Применение новых видов аэросъемок при геологических исследованиях. Л., ВСЕГЕИ, 1976, с. 21—34.

**Летников Ф.А.** Синергетика среды обитания человека // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов / Ред. А.Г. Гамбурцев. Т. 3. М., Янус-К, 2002, с. 69—78.

**Мазарович А.О., Соколов С.Ю.** Разломные зоны северо-западного простирания Центральной Атлантики // Геотектоника, 2002, № 2, с. 3—14.

**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.** Многоаспектное использование системы «Метеор» для решения некоторых геологических задач // Космические методы изучения природной среды Сибири и Дальнего Востока / Ред. А.Л. Яншин. Новосибирск, Наука, 1983, с. 52—56.

**Морозова Л.И.** Облачные индикаторы геодинамики земной коры // Физика Земли, 1993, № 10, с. 108—112.

**Морозова Л.И.** Реакция облачности на атомные испытания // Физика Земли, 1994, № 1, с. 89—90.

**Морозова Л.И.** О современных тектонических процессах Туранской плиты и ее горного обрамления (по динамике линейных облачных аномалий над разломами и землетрясениям) // Физика Земли, 1997, № 5, с. 65—72.

**Морозова Л.И.** Отражение динамики разломов системы Танлу и Курило-Камчатской островной дуги в облачных аномалиях на спутниковых снимках // Вулканология и сейсмология, 2001, № 3, с. 76—80.

**Морозова Л.И.** К вопросу об активности разломов, выявляемой в поле облачности на спутниковых снимках // Исследование Земли из космоса, 2005а, № 2, с. 27—30.

**Морозова Л.И.** Спутниковый мониторинг землетрясений. Владивосток, Дальнаука, 2005б, 136 с.

**Морозова Л.И.** Опыт использования предвестников на спутниковых снимках в анализе землетрясений. Владивосток, Дальнаука, 2007, 132 с.

**Морозова Л.И.** Спутниковый мониторинг: отображение и выявление геоэкологических аномалий и катастроф в Дальневосточном регионе России // Инженерная экология, 2008, № 4, с. 24—31.

**Патент 11 — 2084. 51 — 5 G 01 V 9 / 00. 21 — I НДР 9400316.1 (22) Республика Узбекистан.** Способ определения тектонической активности территории в реальном масштабе времени / Л.И. Морозова. Опубл. 26.04.1994, Бюл. № 3 (5), с. 115.

**Платонов В.В., Зубков А.И., Полушковский Ю.А., Скрипачёв В.О., Тertyшников А.В.** Применение методов математической статистики к анализу предвестников землетрясений, возможных для наблюдения из космоса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. Вып. 4. Том II. М., «Азбука-2000», 2007, с. 141—146, [http://d33.infospace.ru/d33\\_conf/2010.html](http://d33.infospace.ru/d33_conf/2010.html).

**Романов А.А.** Комплексное диагностирование предвестников землетрясений на основе гелиогеофизических данных дистанционного зондирования // Материалы IV Международной конференции «Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений», Паратунка, Камчатская обл., 14—17 августа 2007 г. Петропавловск-Камчатский, ИКИР ДВО РАН, 2007, с. 441—445.

**Солоненко В.П.** Живая тектоника в плейстосейстовой области Муйского землетрясения // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1965, № 4, с. 58—70.

**Уломов В.И.** Синергетические явления в литосфере и синоптический прогноз сейсмической погоды // Структурная организация и взаимодействие упорядоченных социоприродных систем. Владивосток, Дальнаука, 1998, с. 151—166.

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

*Рекомендована к печати 31 мая 2011 г.  
А.Д. Дучковым*

*Поступила в редакцию 11 ноября 2010 г.,  
после доработки — 10 мая 2011 г.*