

## ОЦЕНКА ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ПО ОБЛАЧНЫМ АНОМАЛИЯМ НА СПУТНИКОВЫХ СНИМКАХ

Л.И. Морозова

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВОРАН, г. Биробиджан

*Активизация разломов перед землетрясениями сопровождается появлением над ними линейных аномалий в облачных полях. Количество аномалий над различными частями региона характеризует их новейшую тектоническую активность. Последовательность активизации разломов определяется по появлению ЛОА на режимных спутниковых снимках..*

### Введение

На основе авторского метода обнаружения линейных облачных аномалий (ЛОА) в атмосфере над разломами показана возможность выявления территорий различной геодинамической активности по появлению ЛОА, позволяющая в реальном времени оценить пространственный масштаб сейсмического процесса. Обусловленность появления ЛОА активизацией разломов даёт возможность оценивать напряженное состояние земной коры только по одному параметру – ЛОА на оперативных спутниковых снимках. ЛОА представляют собой гряды или безоблачные каньоны, без изменения направления пересекающие береговую линию, что свидетельствует об их тектонической природе [1].

По мнению В.В. Лебедева, «специалисты в области наук о Земле должны знать возможности технических средств получения космической информации и специфику условий съемки» [7]. Тем не менее до сих пор спутниковые снимки с облачными аномалиями не нашли применения в практической сейсмологии. Это констатируется ведущими специалистами в области дистанционного зондирования Земли. «Большинство катастрофических явлений, в особенности таких чрезвычайно опасных, как землетрясения, находятся вне постоянного слежения из космоса. Отчасти это связано с определенными трудностями их организации, отчасти – с недооценкой такого рода наблюдений» [3].

Установленная связь литосферных процессов с атмосферными является основой спутникового мониторинга природных катастроф, сопровождающих геодинамические процессы, имеющего особую значимость для больших закрытых территорий и акваторий. Использование снимков с ЛОА в изучении лито-атмосферных связей показало, что «аномальные облачные структуры, появляющиеся над регионом, в котором происходит подготовка землетрясения, являются актуальной разновидностью предвестниковых явлений в силу природных и климатических особенностей региона Дальнего Востока России» [13].

С помощью ЛОА, как результата проявления лито-атмосферных связей, решается обратная задача геофизики – извлечение информации из экспериментальных данных о сейсмодинамических процессах. Исследование природы ЛОА показало, что они являются геоиндикато-

ром как самого факта наличия разлома, над которым они возникают, так и его современной тектонической и энергетической активности. По Ф.А. Летникову [8], «ЛОА возникают в надразломных системах с интенсивным энергопереносом по вектору градиентов из глубин планеты к ее поверхности, продолжающимся и в атмосфере». Изменение литосферной компоненты электромагнитного поля при подготовке геодинамических событий может использоваться в качестве краткосрочных предвестников землетрясений [9].

Регулярность получения спутниковой информации обеспечивает оперативное обнаружение изменений различных природных и антропогенных процессов и явлений. Дистанционные измерения достаточно точно определяют основные параметры атмосферы, что позволяет получить адекватное представление о глобальных и региональных изменениях в системе атмосфера – литосфера в различных временных и пространственных масштабах. Они составляют основу для диагноза и прогноза различных динамических процессов, протекающих в геосферах Земли с различными скоростями.

Облачные аномалии визуализируют проекции разломов на облачные поля, делая их видимыми на снимках, позволяя тем самым уточнять положение прежних и обнаруживать новые разломы на закрытых территориях [1, 4]. Анализ динамики полей ЛОА основан на сопоставлении последовательности изображений одной и той же территории в различные моменты времени. Это позволяет судить об интенсивности, распространении и повторяемости катастрофических природных процессов и устанавливать причинно – следственные связи между природными явлениями на территориях межрегионального масштаба. Снимки с ЛОА важны как способ передачи пространственной информации о тектонических (сейсмических) процессах, поскольку дают возможность воспринимать эту информацию визуально.

Пространственные характеристики ЛОА необычайно сложны для формализации. В настоящее время не удается полностью автоматизировать процесс их анализа и интерпретации, но оценка геодинамической активности территории на качественном уровне достаточно быстро и легко осуществляется путём визуального анализа. Такой способ не основан на каких-либо количественных оценках, однако очень важен и может позво-

лить выявить такие закономерности и детали развития процессов или явлений, которые не будут замечены никакими из существующих методов численных оценок.

ЛОА имеют пульсационный характер, период их существования составляет, как правило, не больше одного часа, что соответствует понятию современного активного разлома – разломной зоны, в которой происходят современные короткопериодические, пульсационные и / или знакопеременные деформации со скоростями не менее  $10^{-5}$  м в год [6]. Появление скоплений ЛОА в течение нескольких часов – первых дней в сейсмоопасном регионе свидетельствует об увеличении вероятности здесь землетрясения. ЛОА независимы от других предвестников землетрясений, что позволяет использовать их в комплексе с остальными при прогнозе, повышая тем самым его вероятность.

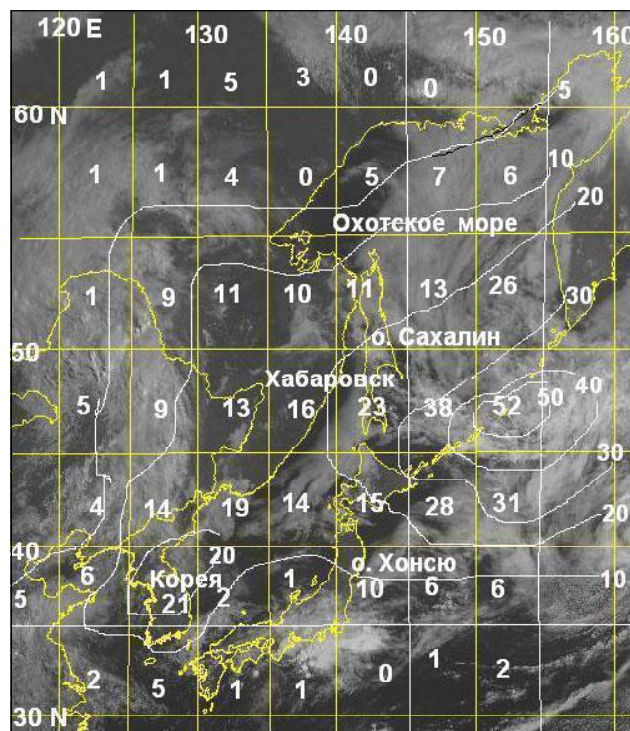
#### **Исходные данные**

База данных включает режимные спутниковые снимки с ЛОА и текущую сейсмичность в регионе, на основе которых строились космосхемы полей ЛОА и эпицентров землетрясений для каждого периода появления ЛОА в регионе с координатами: 120–160° в.д., 30–65° с.ш. Положение ЛОА определялось визуально на ежечасных снимках с геостационарного спутника NPMOS mtsat-1r и полярно-орбитальных Terra и Aqua. Положение разломов на снимках определялось по тектоническим картам, источником данных о землетрясениях служили Российский и Американский каталоги. Проанализировано 92 сейсмических процесса за 2007–2008 гг.

#### **Результаты и их обсуждение**

На основе данных о суммарном количестве ЛОА в квадратах географической сетки шагом 5° x 5° в пространстве 120–160° в.д., 30–65° с.ш. построена карта геодинамической активности региона (рис. 1). Анализ количества ЛОА на карте показал их тесную связь с положением сейсмоактивных зон. Наибольшее их количество наблюдалось над северной половиной Курильской островной дуги, над югом о. Сахалин и Японскими о-вами. Еще два максимума наблюдались в акватории Японского моря у п-ова Корея (19 и 21 ЛОА). Они обусловлены проведенными здесь пусками баллистических ракет в мае и июне 2007 г. ЛОА возникали только над разломами океанического дна [10]. В квадрате, включающем южное Приморье, после пусков возникло 8 ЛОА, а в квадрате с п-овом Корея 16, тогда как на долю остального времени рассмотренного периода приходится 11 и 5 соответственно. Эффект в облаках, обусловленный техногенной сейсмичностью, даже перекрывает значения природной сейсмичности у о-вов Хоккайдо и Хонсю.

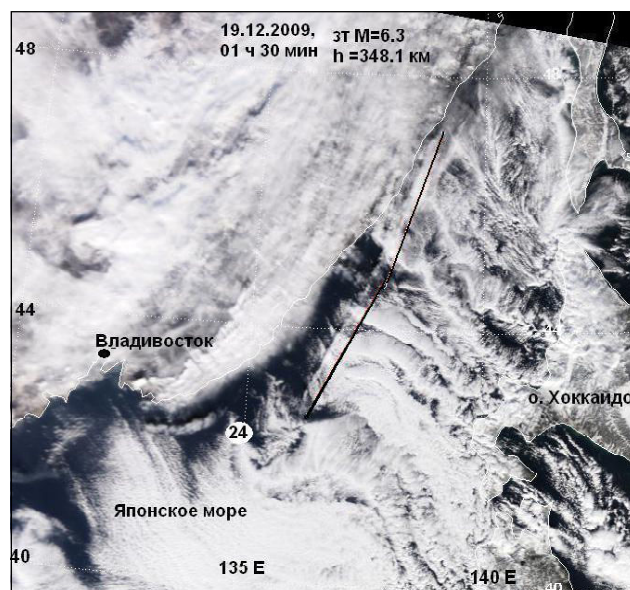
На севере и на юге Приморья количество ЛОА (16 и 19) превышает их количество над севером о. Хонсю (14) и о-в Хоккайдо (15), тем самым характеризуя высокую сейсмоактивность восточной части материка. Это подтверждается произошедшими здесь глубокофокусными сильными землетрясениями; магнитуда последнего (18.02.2010) составила 6.7. Пример ярко выраженной ЛОА в виде гряды на фоне зимней муссонной облачности, возникшей 19 декабря 2009 г. за 5 дней до глубокофокусного землетрясения 24 декабря (348,1 км) магнитудой 6.3, иллюстрирует рис. 2.



**Рис. 1. Карта геодинамической активности региона с изолиниями равного количества ЛОА в квадратах географической сетки**

Достаточно большое количество ЛОА вблизи 50-й параллели объясняется активностью системы разломов линейamenta Танлу.

Взаимодействие разломов под возникшими линейными облачными аномалиями, сопровождаемое сейсмическим процессом иллюстрируются снимками на рис. 3 и 4. Возникшие ранее севернее 60-й параллели вблизи очага облачные аномалии предшествовали сильному



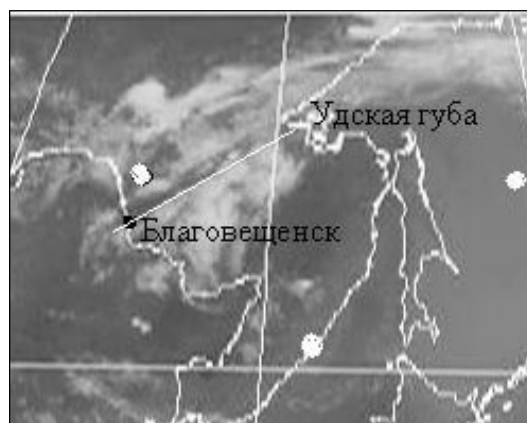
**Рис. 2. ЛОА в виде облачной гряды (подчеркнута черной линией) над Японским морем на спутниковом снимке 19.12.2009 г. в 1 ч 30 мин. Эпицентр обозначен кружком с датой землетрясения**

землетрясению  $M=6.0$  в Якутии 22.06.2008 г. Оно развивалось по тому же сценарию, что и землетрясение 20.11.2007 г. вблизи этого же эпицентра [11]. Общим землетрясениям предшествовало появление над Охотским морем облачных аномалий северо-западного направления (рис. 3). Перед последним событием 22.06.2008 г. за 7 ч 30 мин динамика процесса развивалась следующим образом. Тектоническое напряжение с северо-западного охотоморского разлома достигло гипоцентра в Якутии по системе разломов, не проявленных в облачных аномалиях. Северо-восточная ЛОА над материком, к югу от 60-й параллели, в виде безоблачного каньона, западный борт которого был образован облачной грядой, появилась 22.06.2008 г. вблизи эпицентра землетрясения в Амурской области 17.06.2008 г., то есть была обусловлена этим сейсмическим процессом. Эпицентр в Якутии находился на восточном продолжении широтного разлома с облачной аномалией над ним. На последующих до толчка снимках вблизи очага возникло еще несколько подобных ЛОА различной ориентации.

Запечатленная на снимках 25.06.2008 г. в течение продолжительного времени (18 ч 50 мин) эволюция аномалии, протянувшейся от Удской губы в Охотском море до г. Благовещенска (рис. 4), происходила над разломами, картированными по данным наземных и дистанционных измерений Земли [2]. Если продолжить один из этих разломов в Охотское море до пересечения с активизировавшимся здесь ранее северо-западным разломом, то можно предположить, что напряжение с последнего передалось разлому на материке. Спустя 4 дня дальнейшее распространение напряжения привело к сильному глубокофокусному землетрясению  $M=6.0$  в Приморье (рис. 4). Эпицентр следующего глубокофокусного (633 км) катастрофического землетрясения  $M=7.7$  в Охотском море вблизи Камчатки 05.07.2008 г. оказался на продолжении проек-



**Рис. 3. ЛОА в виде гряды облаков над Охотским морем**



**Рис. 4. Облачная аномалия в виде безоблачного каньона (размывание облачности над разломом). Белыми точками обозначены эпицентры землетрясений**

ции северо-западной ЛОА – разлома, подвижки по которому ранее дважды сопровождалась землетрясениями.

Карта геодинамической активности региона, построенная по линейным облачным аномалиям (рис. 1), оказалась сопоставимой с картой активных разломов, созданной в ГИН РАН под руководством В.Г. Трифонова. Активные разломы системы Танлу и Сихоте-Алинский проходят по территории с большим количеством ЛОА. Увеличение информации по сравнению с картой В.Г. Трифонова получен за счёт северо-западных разломов Охотского моря, оказавшихся сейсмоактивными. Это подтверждает целесообразность использования облачных геоиндикаторов при картировании разломов закрытых территорий и акваторий и оценке их современной тектонической и энергетической активности.

Поскольку появление ЛОА при неотектонических движениях является доказанным фактом, несмотря на недостаточно изученную их природу, этот облачный геоиндикатор может быть использован для выявления областей геодинамического риска. В табл. 1 приведены пространственные характеристики 47 разломов на материке, активизировавшихся в период 2006–2007 гг. Большинство ЛОА имело протяженность менее 400 км, их значения в соответствующем столбце таблицы не указаны. Динамика развития современного напряженно-деформационного состояния земных недр имеет волновую природу, что находит отражение в поочередной (разновременной) активизации зон разрывных нарушений противоположной ориентировки (пересекающихся ЛОА на снимках). В зонах пересечения разломов – геодинамических аномалиях – происходят супердеформации земной поверхности. В 63 % случаев здесь наблюдалось от двух до четырёх ЛОА на одном снимке – происходила одновременная активизация нескольких разломов. Наиболее густо облачные аномалии расположены вблизи оси Танлу. Количество ЛОА в пределах  $48-55^\circ$  с.ш.,  $125-140^\circ$  в.д. составило 85 % от их количества над всей рассматриваемой территорией, что характеризует высокую степень геодинамического риска для проходящих здесь авто- и железнодорожной магистралей. Преимуществен-

Параметры линейных облачных аномалий над материком

Кол-во ЛОА	Дата съемки	Время съемки	Координаты концов ЛОА				Протяженность, км	Кол-во ЛОА на снимке
			°с.ш.	°в.д.	°с.ш.	°в.д.		
1.	17.05.2007	02:30	49	131	49	137	575	1
2.	27.05.2007	21:30	48	125	51	129	500	1
3.	28.05.2007	07:30	55	135	50	137	500	3
4.			50	137	48	131	500	
5.			48	131	47	125	500	
6.	04.06.2007	18:28	55	134	56	128		4
7.			54	133	54	126		
8.			54	130	52	138		
9.			50	128	50	133		
10.	04.06.2007	19:28	46	128	49	128		3
11.			49	130	49	128		
12.			54	128	54	135		
13.		20:28	48	131	48	134		1
14.		22:28	51	128	52	128		3
15.			50	129	50	132		
16.			45	136	48	136		
17.		23:28	50	128	52	128		1
18.	06.06.2007	23:30	51	135	50	139		2
19.			43	130	45	128		
20.	24.06.2007	08:30	58	121	55	130		3
21.			50	135	53	133		
22.			54	127	48	135		
23.		22:30	61	120	58	133	800	3
24.			50	130	53	133		
25.			53	133	52	136		
26.	25.06.2007	00:30	59	135	59	141		1
27.			48	131	50	130		2
28.			49	132	50	130		
29.			44	132	43	132		2
30.			43	131	43	134		
31.	26.06.2007	07:30	50	128	53	132		2
32.		22:30	50	131	50	137		
33.	02.07.2007	08:30	48	137	51	140		1
34.	07.10.2007	05:30	53	129	50	130		3
35.			50	130	49	136		
36.			51	132	53	135		
37.		06:30	50	130	49	139	625	1
38.		07:30	49	130	48	138		1
39.	05.06.2006	22:30	52	135	52	139		2
40.			52	139	51	140		
41.	06.06.2006	22:30	49	131	50	133		2
42.			50	133	49	137		
43.	08.06.2006	23:30	51	127	52	130		3
44.			54	132	55	135		
45.			55	135	52	135		
46.	16.06.2006	03:30	52	128	52	132		2
47.			53	132	51	135		

но медленные (криповые) движения разломов на этой территории, проявившиеся в облачных аномалиях, редко сопровождалась землетрясениями.

По этой территории проходит геодинамический пояс: по линии р.Енисей – север оз. Байкал – р. Амур – о-ва Хоккайдо и Хонсю – Эквадор [5]. События природных

катастроф, связанные с геодинамической нестабильностью недр и произошедшие в разных местах планеты одновременно (в один день или близко по времени), сами трассируют зоны активизировавшихся зон глубинных разломов планетарного масштаба. Практически все известные наиболее проблемные области на нашей плане-

те достаточно частым проявлением в них различного рода катастроф приурочены к участкам пересечения геодинамически нестабильных поясов [5].

Лишь в небольшом количестве случаев появление ЛОА на материке заканчивалось слабыми землетрясениями. В теплое время года они отмечались в два раза чаще, чем в холодное. Западнее 130-го меридиана на фоне современной тектонической активности разломов, соответствующей возникшим здесь девяти ЛОА, произошло землетрясение  $M=4.9$  в Амурской области 17.06.2008 г. (рис. 4).

Полученные за последние годы результаты о пространственном распределении ЛОА дают принципиально новую научную информацию о современной геодинамической нестабильности земной коры в пределах складчатых и платформенных областей. Исследуемая территория включает Амурскую плиту в западной части снимка и Сихоте-Алинский орогенический пояс – в восточной. Вопреки традиционным представлениям, инструментально доказано, что размах современных тектонических деформаций земной поверхности в платформенных областях выше, чем в пределах складчатых высокосейсмичных областей. В последние годы даже наблюдается тенденция существенного повышения уровня сейсмичности платформенных областей.

#### **Выводы**

Использование спутниковых снимков с ЛОА в качестве геоиндикаторов как существования, так и нарастания активности разломов закрытых территорий Дальнего Востока позволит частично компенсировать отсутствие здесь наземных геофизических наблюдений. Своевременное обнаружение начала формирования геодинамической аномалии путем мониторинговых наблюдений линейных облачных аномалий позволит своевременно принять все возможные необходимые превентивные меры по предотвращению аварийных ситуаций. Для прогноза (что предполагает не только место, но и время) возникновения экстремальных ситуаций целесообразно использовать спутниковые снимки с ЛОА, поскольку они учитывают фактор времени. Прогноз геодинамических процессов, основанный на анализе одного независимого от других предвестника ЛОА, является дополнением к имеющимся комплексным прогностическим данным.

По мнению В.И. Уломова, «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» [14]. Оперативные метеорологические спутниковые снимки с ЛОА являются одним из средств реализации этого проекта.

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

1. 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.
2. Геологическая карта СССР. М 1: 2500000. ВСЕГЕИ, 1980.
3. Григорьев Ал. А., Кондратьев К.Я. Спутниковый мониторинг природных и антропогенных катастроф // Исследования Земли из космоса. 1996. № 3. С. 68–78.
4. Ежов Б.В., Ищенко Л.И. Отображение тектонических структур в строении облачного и ледового покровов // Морфоструктурные исследования на Дальнем Востоке. Владивосток, 1983. С. 114–119.
5. Касьянова Н.А. Экологические риски и геодинамика. М.: Научный мир, 2003. 330 с.
6. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании. М.: РАН, ОИФЗ, 1999. 280 с.
7. Лебедев В.В. Проблема космической деятельности в области дистанционного зондирования Земли // Вестник РАН. 2008. Т. 78. № 4. С. 317–327.
8. Летников Ф.А. Синергетика среды обитания человека. Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. М.: «Янус-К», 2002. Т. 3. С. 69–78.
9. Малышков Ю.П., Джумабаев К.Б., Омуркулов Т.А., Гордеев В.Ф. Влияние литосферных процессов на формирование импульсного электромагнитного поля Земли, прогноз землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1998. № 1. С. 92–105.
10. Морозова Л.И. Спутниковый мониторинг: отображение и выявление геоэкологических аномалий и катастроф в Дальневосточном регионе России // Инженерная экология. 2008. № 4. С. 24–31.
11. Морозова Л.И. Особенности отражения землетрясения в Якутии 20 ноября 2007 г. в облачных полях и в геотермических аномалиях на спутниковых снимках // Исследование Земли из космоса. 2009. № 1. С. 92–95.
12. Морозова Л.И. Спутниковый мониторинг: отображение и выявление геоэкологических аномалий и катастроф в Дальневосточном регионе России // Инженерная экология. 2008. № 4. С. 24–31.
13. Романов А.А. Комплексное диагностирование предвестников землетрясений на основе гелио-геофизических данных дистанционного зондирования // Матлы IV междунар. конф.: Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений. Паратунка, Камчатская обл., 14–17 авг. 2007 г. Петропавловск – Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2007. С. 441–445.
14. 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.

*Activation of faults before earthquakes is accompanied by linear anomalies in cloudy fields above them. The quantity of anomalies over various parts of a region also characterizes the latest tectonic activity. The faults activity order of display is determined by the LCA appearance in secure satellite images.*