Предвестники сильных землетрясений Охотоморской плиты на спутниковых снимках

Л. И. Морозова¹

Получено 26 мая 2015 г.; принято 29 июня 2015 г.; опубликовано 1 июля 2015 г.

Установлен новый предвестник землетрясения – образование безоблачных пятен вблизи эпицентров в облачных полях при сейсмической активизации региона. Статистически исследована пространственно-временная связь между землетрясениями и облачными аномалиями. Протяженная линейная облачная аномалия северо-западных румбов над Охотским морем – предвестник сильного землетрясения на плите, их последующее скопление, более трёх, определяет регион эпицентра. Доказана целесообразность использования этих атмосферных облачных аномалий в качестве краткосрочного предвестника землетрясения. *КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* Спутниковый снимок; линейные облачные аномалии; безоблачные пятна; геодинамический мониторинг.

Ссылка: Морозова, Л. И. (2015), Предвестники сильных землетрясений Охотоморской плиты на спутниковых снимках, Вестник ОНЗ РАН, 7, NZ1002, doi:10.2205/2015NZ000124.

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, в частности, спутниковых метеорологических снимков. Спутниковые снимки 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. Спутниковые снимки являются основой для диагноза и прогноза различных динамических процессов, протекающих в геосферах Земли с различными скоростями.

Взаимодействие твердой и газообразной оболочек Земли в период нарастания сейсмической активности территории иногда порождает облачные предвестники землетрясения. Снимки с облачными аномалиями несут информацию о протекающих одновременно в ее оболочках процессах, имеющих различную динамику. На метеорологических спутниковых снимках в этот период фикси-

© 2015 Геофизический центр РАН.

http://onznews.wdcb.ru/doi/2015NZ000124-res.html

руются линейные облачные аномалии (ЛОА), представляющие собой резкие линейные границы на части периметра облачных массивов, узкие безоблачные каньоны в облаках и реже линейно протяженные гряды облаков на фоне безоблачного пространства, которые не могут быть результатом атмосферных процессов, происходящих в газообразной среде. Резкая линейная граница размывания облачности над разломом от ее нижней границы до высот 12–16 км на протяжении нескольких 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.

В некоторых случаях на одном и том же снимке над 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 облачности.

В последнее время был обнаружен новый предвестник землетрясения – безоблачное пятно – эффект деградации облачности над эпицентром готовящегося землетрясения или в непосредственной близости от него. Его учёт наряду с ЛОА повысил вероятность прогноза землетрясений.

Области подготовки сильных землетрясений имеют довольно обширные размеры, а предвестники могут проявляться на значительных расстояниях, до 1000 км и более от развивающегося очага. Мониторинг значительных территорий может осуществляться с максимальным привлечением дистанционных методов. Как отметил

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

N <u>⁰</u>	Дата, время [GMT]	Широта	Долгота	Глубина	mb	Регион
1	2007.05.30, 20:22:11	$52,\!12$	157,31	120	6,0	п-ов Камчатка
2	2009.04.21, 05:26:11	50,79	$155,\!05$	149,5	6,2	о. Парамушир
3	2009.04.28, 11:21:19	42,59	144,97	33	6,1	о. Хоккайдо
4	2009.12.24, 00:23:27	42,21	134,79	348,1	6,3	Приморье
5	2011.03.11, 05:46:22	38,29	$142,\!69$	33	9,0	Хонсю, Тохоку
6	2012.09.11, 01:28:17	45,20	151,50	43	6,1	Курильские острова
7	2012.10.16, 12:41:23	49,56	156,44	85	6,1	Курильские острова
8	2012.11.16, 18:12:42	49,30	$155,\!49$	70	6,4	Курильские острова
9	2012.12.07, 08:18:22	37,96	144, 17	40	7,4	Район Хонсю
10	2013.01.23, 21:34:30	43,07	$145,\!80$	70	6,0	Район Хоккайдо
11	2013.02.02, 14:17	42,72	$143,\!30$	120	6,9	о. Хоккайдо
12	2013.02.28, 14:05:48	50,87	157,41	50	7,0	о. Парамушир
13	2013.04.19, 03:05:54	46,182	150,79	122	7,2	Курильские острова
14	2013.05.24, 05:44:47	$54,\!89$	$153,\!34$	600	8,3	Охотское море
15	2013.08.04, 15:56:33	46,90	$145,\!34$	380	5,9	Охотское море
16	2013.10.01, 03:38:20	53,05	152,88	580	6,7	Охотское море
17	2013.10.25, 17:10:15	37,30	144,71	10	7,3	У о. Хонсю
18	2013.11.12, 07:03:51	$54,\!61$	162, 13	80	6,5	п-ов Камчатка
19	2013.11.25, 05:56:49	45,55	151,01	50	5,9	Курильские острова
20	2013.12.08, 17:24:52	$44,\!54$	149, 18	33	6,1	Курильские острова
21	2014.05.04, 20:18:23	34,95	139,50	160	6,2	Юж.побережье Хонсю
22	$2014.11.22,13{:}08{:}15$	$36,\!61$	36,61	10	6,2	Восточный Хонсю

Табл. 1. Каталог землетрясений $M \ge 5,9$

Киссин [2013, с. 158], "Массовое привлечение подобных методов позволит решить задачи мониторинга обширных сейсмоактивных территорий в режиме реального времени с наименьшими затратами. Необходима радикальная перестройка наблюдательных сетей с охватом обширных сейсмоактивных территорий. При этом в значительной степени должны использоваться дистанционные методы мониторинга".

Достоверный прогноз разрушительного землетрясения можно осуществлять только в тех районах, где установлена постоянно действующая 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. Многократное дистанционное зондирование Земли со спутников обеспечивает возможность краткосрочного прогноза землетрясений в режиме реального времени только по двум предвестникам: облачным аномалиям (OA) и искажению изображения на снимке, обусловленному влиянием сейсмичности на условия распространения радиоволн от спутника к приемной антенне, сокращая время составления прогноза до нескольких минут. Факт исключительно важный при прогнозе катастрофических природных явлений. Мониторинг облачных аномалий позволяет выделить в регионах исследований зоны повышенной сейсмической активности.

Как отметил Уломов [1998, с. 166], "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".

Ближайшая задача – переход к синхронной регистрации и совместной обработке полей облачных аномалий и сейсмических полей. Дистанционное зондирование должно применяться в комплексе с другими методами, обусловливая более надежные прогнозы положения эпицентра.

Исходные данные и методика исследования

Анализировались мелкомасштабные снимки с геостационарного спутника Mtsat-2 (http://www.nrlmry.navy. mil/), передающего информацию с часовым и получасовым интервалами, и полярно-орбитальных: Terra- и Aqua-MODIS (https://earthdata.nasa.gov/data/near-realtime-data/rapid-response, снимки среднего масштаба), зондирующих территорию в суточном интервале. Полигоном для спутникового мониторинга облачных аномалий служит зона радиовидимости спутникового центра,

N <u>⁰</u>	Магни- туда	Дата землетрясения	Общее кол-во ЛОА	ЛОА С-З румб.	Время появления ЛОА	Время прогноза	Кол-во ЛОА у эпицентра,пятна, РШ
1	6,4	30.05.2007	12	3	15 сут., 3 с. повтор	27.05,00:30	7, пятно
2	6,2	21.04.2009	5	2	1 с. 7 час.	19.04, 22:30	4
3	6,1	28.04.2009	2	0	12 час.	28.04, 05:30	1
4	6,3	24.12.2009	3	3	2 c.	22.12, 03:30	0
5	9,0	11.03.2011	11	5	3 с. 5 час.	10.03, 18:00	5
6	6,1	11.09.2012	7	4	2 c.	09.09, 00:30	0
7	6,1	16.10.2012	14	12	6 c.	$10.10, 05{:}01$	8
8	6,6	16.11.2012	9	5	8 с., 2,5 с. повтор	14.11, 18:30	5
9	7,4	07.12.2012	9	7	4 с. 12 час.	07.12, 07:30	6, пятна
10	6,0	23.01.2013	3	3	1 c.	23.01, 01:32	2
11	6,9	02.02.2013	12	6	1 с. 11 ч	01.02, 03:00	7
12	7,0	28.02.2013	16	11	14 с., 4 с. повторно	27.02, 21:00	11, рш
13	7,2	19.04.2013	12	9	5 c.	16.04, 03:00	5
14	8,3	24.05.2013	15	6	11 с., 3 с. повторно	23.05, 09:00	12
15	5,9	04.08.2013	10	7	15 час.	04.08, 04:01	10
16	6,7	01.10.2013	5	4	4 c.	27.09, 18:00	7
17	7,3	25.10.2013	8	3	2 с. 4 час.	24.10, 11:30	5, рш
18	6,5	12.11.2013	6	1	1 с. 3 час.	11.11, 21:00	2, пятно, рш
19	5,9	25.11.2013	17	7	5 c.	21.11, 11:32	10
20	6,1	08.12.2013	7	4	6 с. 11 час.	02.12, 15:00	8
21	6,2	04.05.2014	7	3	11 час.	04.05, 16:15	5
22	6,2	22.11.2014	10	3	1 с. 9 час	$22.11,\ 06:57$	7

Табл. 2. Характеристики предвестников на снимках

площадь которой на 3 порядка выше наземного полигона. На мелкомасштабных спутниковых снимках отражается территория, охватывающая несколько тектонических плит, что позволяет следить за их взаимодействием. Анализ динамики ОА основан на сопоставлении последовательности спутниковых снимков одной и той же территории. Параметры землетрясений брались из каталога Геофизической службы РАН (http://www.ceme.gsras.ru).

В работе реализован авторский способ определения тектонической активности территории в реальном масштабе времени по спутниковым снимкам [Патент, 1994]. Суть его состоит в оперативном обнаружении сейсмоактивного региона по появлению над ним ЛОА за несколько часов-первых суток до землетрясения на заключительной стадии его подготовки.

При обнаружении начавшегося появления ЛОА в регионе их наносят на карту-снимок. Увеличение количества ЛОА 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. Схемы ЛОА позволяют оценить истинные размеры территорий, охваченных сейсмическим процессом.

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.

Результаты и их обсуждение

По базе данных спутниковых снимков была проанализирована динамика линейных облачных аномалий для 22 землетрясений Охотоморской плиты с $M \ge 5,9$ за период с 2007 по 2014 г. (Табл. 1). Пространственно-временные характеристики ЛОА в периоды подготовки этих землетрясений представлены в Табл. 2, на основе которой строились совмещенные схемы полей ЛОА и эпицентров землетрясений. Помещенные ниже примеры иллюстрируют содержимое Табл. 2, в которой обозначение РШ – радиошумы – полосы искажения изображения на снимке в регионе землетрясения.

В большинстве случаев ЛОА возникали над разломами северо-западных румбов. Разломы этих направлений являются сейсмогенными для всех регионов Евразии и Атлантического океана [*Мазарович, Соколов*, 2002; *Морозова*, 2007]. Преобладание ЛОА С-З румбов (более половины от общего количества ЛОА перед каждым землетрясением) наблюдалось в 59% случаев (13 ЗТ). Определяющим для сильного землетрясения на любом участке Охотоморской плиты является возникновение протяжённой ЛОА С-З направления над Охотским морем. Появление протяжённой ЛОА С-З румбов над Охотским морем в начале процесса предшествовало 16-ти (75%) сильным землетрясениям. На последней стадии подготовки землетрясения рои ЛОА возникали ближе к эпицентру. Площадь сейсмоактивной области, обозначенная на схе-

МОРОЗОВА: ПРЕДВЕСТНИКИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ



Рис. 1. Схема последовательного появления ЛОА перед землетрясением у о. Хонсю.

ме роем ЛОА (Рис. 1), на 3 порядка превышает площадь, рассчитанную И. П. Добровольским по магнитуде.

ЛОА являются краткосрочным предвестником, поскольку в 68% случаев появлялись в регионе сильных землетрясений менее чем за трое суток до толчка. Установленная закономерность позволяет обнаружить на снимках сейсмоопасный регион по скоплению здесь облачных аномалий. Обнаружение в процессе мониторинга спутниковых метеорологических снимков региона скопления трех и более ЛОА за период от нескольких часов до двух дней является сигналом сейсмической опасности – временем прогноза.

ЛОА являются краткосрочным предвестником, поскольку в 68% случаев появлялись в регионе сильных землетрясений менее чем за трое суток до толчка. Установленная закономерность позволяет обнаружить на снимках сейсмоопасный регион по скоплению здесь облачных аномалий. Обнаружение в процессе мониторинга спутниковых метеорологических снимков региона скопления трех и более ЛОА за период от нескольких часов до двух дней является сигналом сейсмической опасности – временем прогноза. В 18% случаев после исчезновения первых ЛОА отмечалось повторное образование их роя, поэтому мониторинг снимков должен осуществлять-



Рис. 2. Снимок с одной из первых трех ЛОА-1 на схеме: АБ – каньон.

ся непрерывно и прогноз является оперативным. Количество ЛОА в рое у эпицентра не показательно для определения магнитуды землетрясения.

Для каждого из 22 землетрясений Табл. 2 построены схемы суммарного количества ЛОА перед толчком, приведены снимки в момент появления первой ЛОА (6-й столбец Табл. 2) и во время дачи прогноза.

Появление на снимках 8 марта двух ЛОА-1 над Охотским морем (Рис. 1) и одной (каньона) к востоку от побережья Камчатки С-З румбов (Рис. 2) в качестве предвестника предшествовало мегаземлетрясению 11 марта 2011 г. в Японии M = 9, 0. Рой из четырех ЛОА-2,3 возник во вторую половину суток 8 марта над северной половиной о. Хонсю перед форшоком 9 марта (Рис. 1). В столбце на схеме слева указаны даты и время снимков с ЛОА. Число у конца линии ЛОА означает порядковый номер снимка. При появлении 10 марта в регионе эпицентра пятой ЛОА с высокой степенью вероятности следовало давать прогноз сильного землетрясения в северной части о. Хонсю (Рис. 3).

Динамика ЛОА до и после землетрясения показана в статье автора [*Морозова*, 2011] или на сайте: http://sciencefirsthand.ru/c40 05 01 morozova.shtml.

В данном исследовании впервые был проверен новый



Рис. 3. Время прогноза землетрясения – появление пятой ЛОА (каньона) у о. Хонсю.



Рис. 4. Начало процесса: ЛОА и пятно над эпицентром.



Рис. 6. Снимок 16.11.2012 г.

предвестник – тёмные пятна на снимке – области размывания облачности над эпицентром или вблизи него, более точно определяющие положение будущего эпицентра. Их природа аналогична размыванию облачности над ядерным полигоном после подземного ядерного взрыва [*Морозова*, 2014]. Полосы искажения изображения – радиошумы в 91% случаев возникали в регионе подготовки землетрясения, повышая вероятность прогноза [*Морозова*, 2008]. Обобщение результатов последнего столбца Табл. 2 – трёх предвестников показало, что учет возник-



Рис. 5. Полоса радиошумов через эпицентр. Снимок со спутника Aqua-MODIS, 12.11.2013 г. в 03:15.

новения роя ЛОА, безоблачных пятен и полос искажения изображения на снимке повышает вероятность прогноза до 82%.

Корреляция появления безоблачных пятен в сейсмоактивных областях с последующими землетрясениями позволила выявить их прогностическую значимость. Рассмотрим это утверждение на примере сильных землетрясений в Тихом океане.

На снимке за 27 часов до землетрясения M = 6,5 на Камчатке 12 ноября 2013 г. помимо короткой ЛОА над полуостровом зафиксировано и безоблачное пятно в облаках у Кроноцкой сопки в непосредственной близости от эпицентра (Рис. 4). Полоса радиошумов через эпицентр на снимке возникла за 4 часа до толчка (Рис. 5).

Задолго до землетрясения M = 7,4 у северо-восточного побережья о. Хонсю 7.12.2012 г., а именно 16 ноября, над Японским морем стали образовываться безоблачные пятна неправильной формы, занимающие половину пространства морского дна (Рис. 6).

После землетрясения пятна возникли снова, но уже к востоку от о. Хонсю: над эпицентром и вблизи него (Рис. 7). Ярко выраженный узкий каньон к северо-востоку от о. Хонсю наблюдался за 3 часа 17 мин до землетрясения в непосредственной близости от него (Рис. 8). Над Японским морем в этот период эти аномалии уже не возникали. На происхождение ЛОА, обусловленное энергетической и тектонической активизацией разломов перед землетрясением, указывает факт их возникновения перед сейсмическими событиями в регионе.

Положение этих пятен и некоторых у Курильских островов соответствует обнаруженным военными моряками местам излучения из океана вертикальных столбов яркого света в ночное время. Известно, что светящиеся атмосферные объекты обусловлены электромагнитными излучениями земной коры и сопровождают землетрясения.

Выделение облачных предвестников по $M \ge 6,0$ неправомочно, поскольку и для землетрясений с M > 5,6 дей-



Рис. 7. Снимок после ЗТ, 7.12.2012 г. в 23:00.



Рис. 9. Схема ЛОА перед землетрясением на Курильских островах.

ствует та же схема появления ЛОА: первоначальное образование одной или нескольких протяжённых ЛОА С-З румбов над Охотским морем, иногда даже пересекающих Курильские о-ва, с последующим образованием роя коротких ЛОА.

О природе ЛОА. Что касается принятой рабочей гипотезы о возникновении линейных облачных аномалий над активизировавшимися разломами, в данный момент она подвергается сомнению. Как было показано в предыдущих работах [*Морозова* 1993, 1998, 2007, 2012], отдельные линейные облачные аномалии из их скопления отмечались над картированными разломами различной





Рис. 8. Снимок 7.12.2012 г. в 05:30.

глубины заложения: Уральского хребта, Малой и Центральной Азии, а также востока Азиатского континента, причём большая часть их не соответствовала известным разрывным нарушениям.

Пролить свет на природу ЛОА и их связь с разрывными нарушениями земной коры помогло сопоставление схемы ЛОА перед землетрясением 25.11.2013 г. M = 5,9 на Курилах, №19 в Табл. 2 (Рис. 9), со схемой из статьи *Рогожина* [2013, рис. 2].

Землетрясение 2013 г. имеет схему линейных облачных аномалий, совпадающих по направлению и области их сгущения с горизонтальными проекциями осей сжатия на схеме Е. А. Рогожина. Прямолинейность ЛОА более согласуется с осями сжатия, чем с отдельными участками разломов. Точками 22, 24 на схеме обозначены слабые землетрясения, предшествующие основному. Вероятнее всего, ЛОА образуются над разломами Охотского моря только в случаях их совпадения с осями сжатия



Рис. 10. Облачная струя, обусловленная сейсмическим процессом. Снимок 22.11 в 20:00. Точка – эпицентр землетрясения.

при тектонических процессах взаимодействии Охотоморской и Тихоокеанской плит [*Морозова* 1998, 2003]. Ранее в работе, посвящённой анализу сейсмичности Альпийско-Гималайского складчатого пояса, также было отмечено совпадение проекций ЛОА на землю с разломами в случае совмещения их с осями сжатия [*Морозова*, 1993].

В данном исследовании впервые был обнаружен природный феномен – истечение металлизированных флюидов повышенной концентрации из эпицентральной области землетрясения M = 6, 2 с образованием облачной струи после толчка 22.11.2014 г. Облако распространялось с востока на запад над Японским морем (Рис. 10). Процесс продолжался с 17 до 22 часов 22 ноября.

Заключение

Предвестником сильных землетрясений на Охотоморской плите является образование протяженной ЛОА северо-западных румбов над Охотским морем или прилегающей территорией. Регион будущего эпицентра определяет положение сформировавшегося позже роя ЛОА, под которым он будет находиться. Точно указать его положение по ЛОА невозможно. Появление на снимках роя из трех и более ЛОА, либо еще и безоблачного пятна и полосы радиошумов на снимке, повышает вероятность землетрясения до 82%.

Ближайшая цель, достижение которой усовершенствует методику предсказания землетрясений, – организация синхронной регистрации и совместной обработки ЛОА и сейсмических полей.

Существующее ранее представление об отождествлении положения разлома на местности с линейной облачной аномалией над ним и возможности картирования по ЛОА разломов на дне акваторий, выявлении их активизации в реальном времени не подтвердилось, поскольку ЛОА образуются над осями сжатия земной коры, лишь иногда совпадающими с разломами.

Благодарность. Автор благодарит чл.-корр. РАН Алексея Всеволодовича Николаева – Председателя Экспертного Совета по прогнозу землетрясений РАН за многолетнюю поддержку своих исследований.

Литература

- Киссин, И. Г. (2013), О системном подходе в проблеме прогноза землетрясений, *Физика Земли*, No. 4, 145–160. doi:10.7868/S0002333713040054
- Мазарович, А. О., С. Ю. Соколов (2002), Разломные зоны северо-западного простирания Центральной Атлантики, *Геотектоника*, No. 2, 3–14.
- Морозова, Л. И. (1993), Облачные индикаторы геодинамики земной коры, Физика Земли, No. 10, 108–112.
- Морозова, Л. И. (1998), Спутниковые метеорологические снимки как носители информации о сейсмических процессах, *Тихоокеанская геология*, 17, No. 2, 136–140.
- Морозова, Л. И. (2001), Отражение динамики разломов системы Танлу и Курило-Камчатской островной дуги в облачных полях на спутниковых снимках, Вулканология и сейсмология, No. 3, 76–80.
- Морозова, Л. И. (2003), Отражение сейсмичности полуострова Камчатка и острова Хонсю в динамике облачных аномалий на космических снимках Земли, Исслед. Земли из космоса, No. 4, 78–83.
- Морозова, Л. И. (2007), Опыт использования предвестников на спутниковых снимках в анализе землетрясений, 132 сс., Дальнаука, Владивосток.
- Морозова, Л. И. (2008), Полосы помех на спутниковых снимках Земли как предвестник землетрясения, Исследование Земли из космоса, No. 3, 88–92.
- Морозова, Л. И. (2011), Облака предвестники землетрясений, *Наука из первых рук, 4 (40)*, с. 104–115, СО РАН, ИНФОЛИО, Новосибирск.
- Морозова, Л. И. (2012), Проявление геодинамической активности земной коры в облачных полях, *Геология и геофизика*, 53, No. 4, 541–550.
- Морозова, Л. И. (2014), Воздействие ядерного взрыва и пуска ракеты в Северной Корее на литосферу, Инженерная экология, No. 3, 53–61.
- Патент 11-2084. 51-5 G 01 V 9/00. 21-І НДР 9400316.1 (22) (1994), Способ определения тектонической активности территории в реальном масштабе времени, Бюллетень № 3(5), с. 115, Республика Узбекистан, Ташкент.
- Рогожин, Е. А. (2013), Применение тектонофизических подходов в решении сейсмотектонических задач (на примере Симуширских землетрясений 15 ноября 2006 г. и 13 января 2007 г. на Средних Курилах), Физика Земли, No. 5, 47–57. doi:10.7868/S0002333713050062
- Уломов, В. И. (1998), Синергетические явления в литосфере и синоптический прогноз сейсмической погоды, Структурная организация и взаимодействие упорядоченных социоприродных систем, с. 151–166, Дальнаука, Владивосток.

Л. И. Морозова, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Проспект Академика Коптюга, 3, г. Новосибирск, 630090, Россия. (nefgeo@yandex.ru)