

ВОСЬМАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ ОТКРЫТАЯ ЕЖЕГОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ



"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"

(Физические основы, методы и технологии мониторинга
окружающей среды, природных и антропогенных объектов)

Бондур В.Г., Зверев А.Т., Булатова А.Л., Гапонова Е.В.

ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЕРИОД ПОДГОТОВКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ЛИНИЙ ВЫТЯНУТОСТИ РОЗ-ДИАГРАММ ЛИНЕАМЕНТОВ

Научный центр аэрокосмического мониторинга
«АЭРОКОСМОС»

Россия, г.Москва, Гороховский пер., д.4, 105064
Тел.: 632-16-54, тел./факс: 632-11-78; E-mail:
office@aerocosmos.info





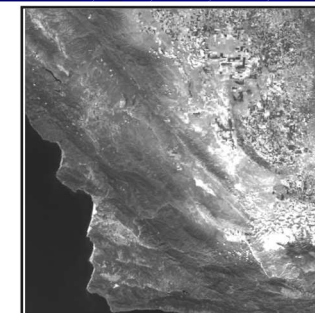
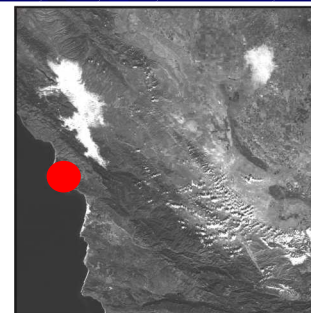
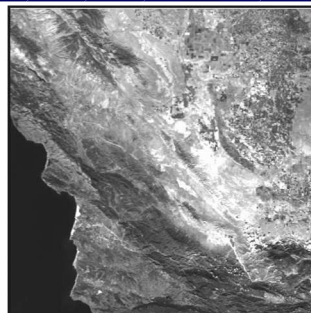
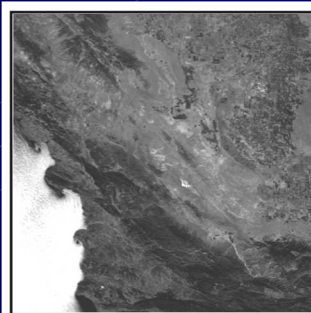
В научном центре аэрокосмического мониторинга «Аэрокосмос», начиная с 2003 года ведутся работы по разработке космического метода прогноза землетрясений на основе автоматизированной обработки космических изображений при помощи автоматизированного линеаментного анализа.

В качестве предвестника землетрясений используются розы-диаграммы направленности линеаментов, отношения линеаментов разных направлений, линии вытянутости роз-диаграмм линеаментов.

Выполненные исследования показали, что за 2-3 месяца до землетрясения начинает резко возрастать степень проявленности секущих (поперечных) линеаментов, достигающая максимума за 20 дней до события. Затем через 20 дней после землетрясения их количество начинает уменьшаться и через 2-3 месяца проявленность линеаментов возвращается к прежнему (фоновому) уровню.

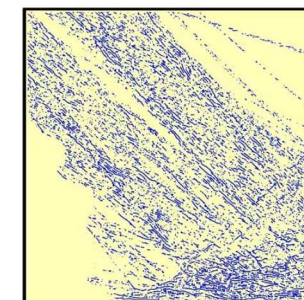
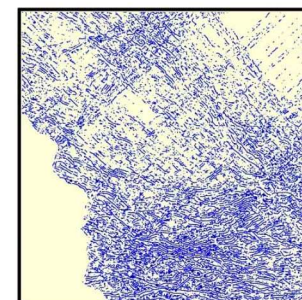
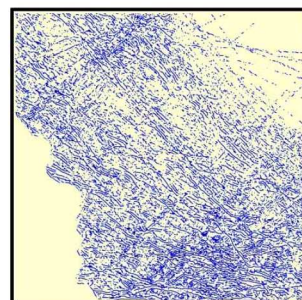
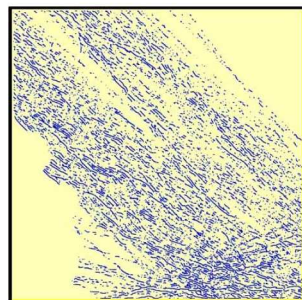
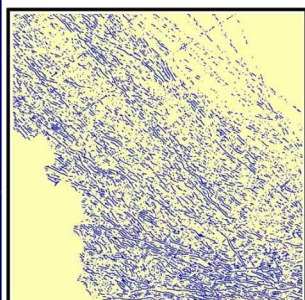
ПОСТРОЕНИЕ РОЗ-ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ СИСТЕМ ЛИНЕАМЕНТОВ

Землетрясение в Калифорнии (вблизи г. Сан-Симеон) 22 декабря 2003 г. (M=6.5)

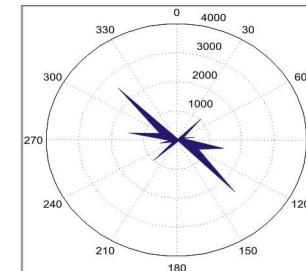
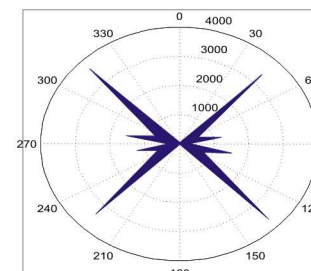
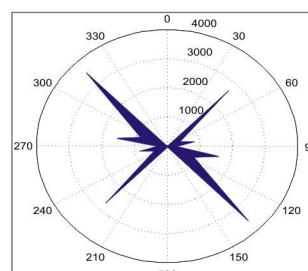
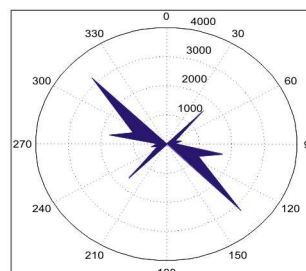
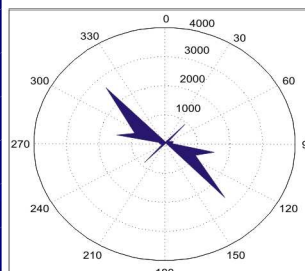


0 100

Фрагменты исходных изображений



Плотности линеаментов



Розы-диаграммы направленности линеаментов

21 октября 2003 г.
(за 2 месяца до
землетрясения)

22 ноября 2003 г.
(за месяц до
землетрясения)

25 ноября 2003 г.
(за 27 дней до
землетрясения)

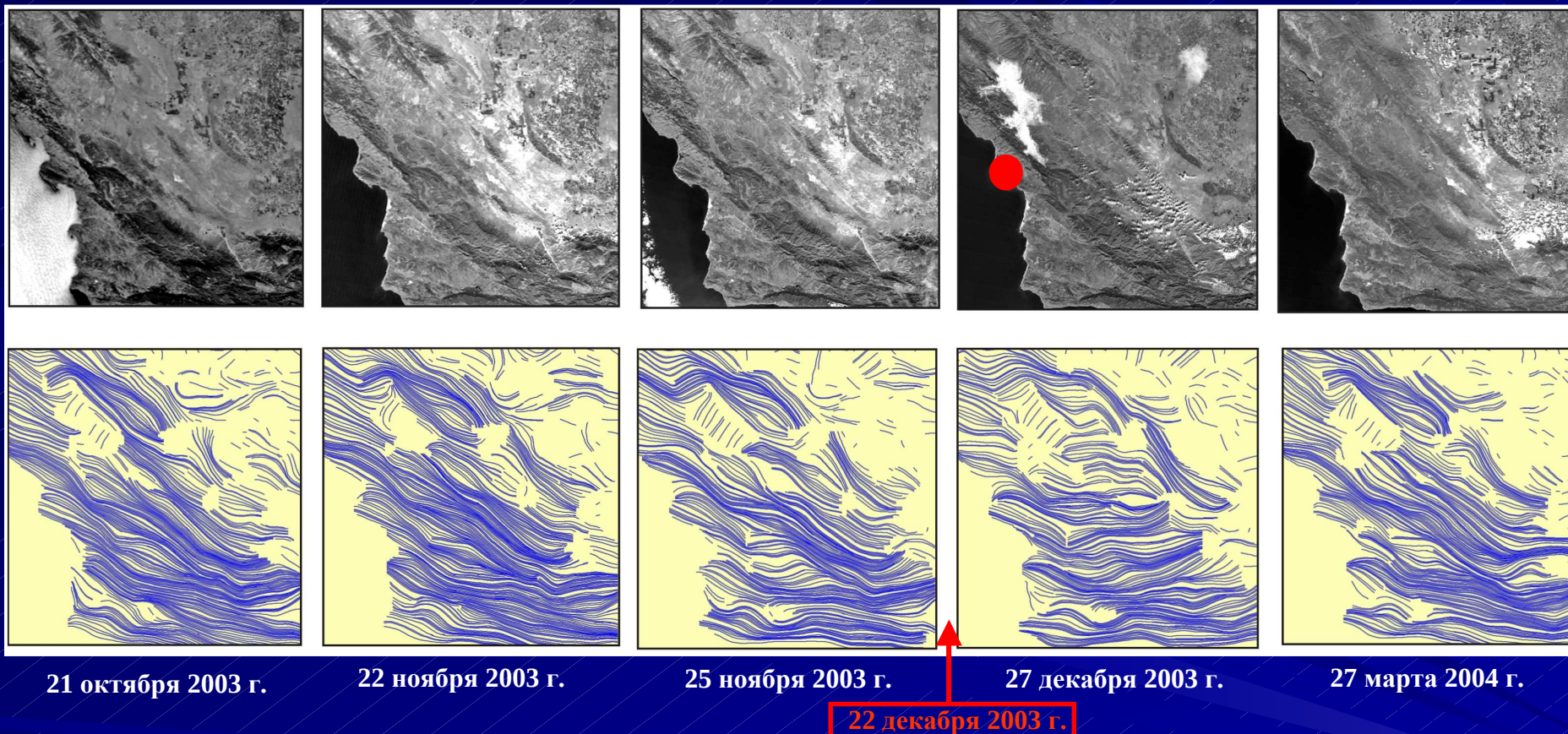
27 декабря 2003 г.
(через 5 дней после
землетрясения)

27 марта 2004 г.
(через 3 месяца после
землетрясения)

землетрясение
22 декабря 2003 г.

ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИЙ ВЫТЯНУТОСТИ РОЗ-ДИАГРАММ ШТРИХОВ

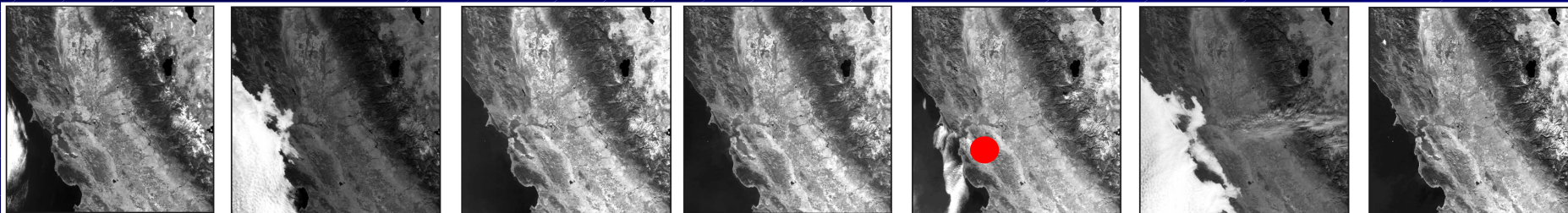
Землетрясение в Калифорнии (вблизи г. Сан-Симеон) 22 декабря 2003 г. ($M=6.5$)



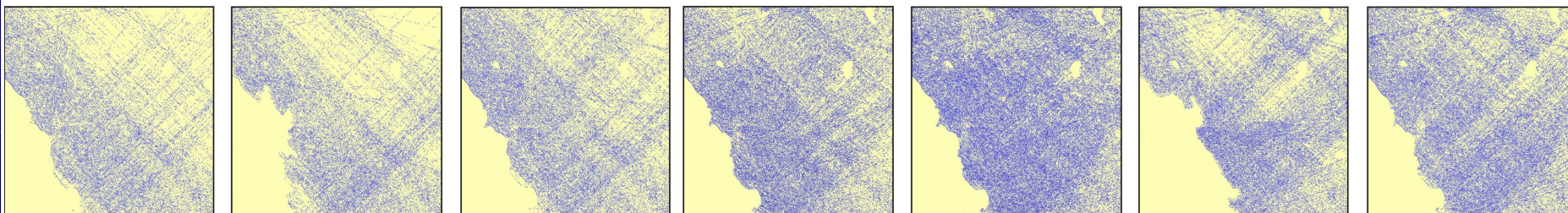
Анализ схем линий вытянутости роз-диаграмм штрихов, показал значительную перестройку плана деформаций при подготовке землетрясения. Наиболее заметно это выражено на схемах, полученных при обработке космических изображений 25 ноября и 27 декабря, особенно в южной и центральной частях района, где господствующее ЮВ-СЗ направление линий вытянутости роз-диаграмм штрихов сменилось на субширотное и ЮЗ-СВ, согласное с направлением Поперечных Хребтов и разрывом Горлока соответственно.

ПОСТРОЕНИЕ РОЗ-ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ СИСТЕМ ЛИНЕАМЕНТОВ

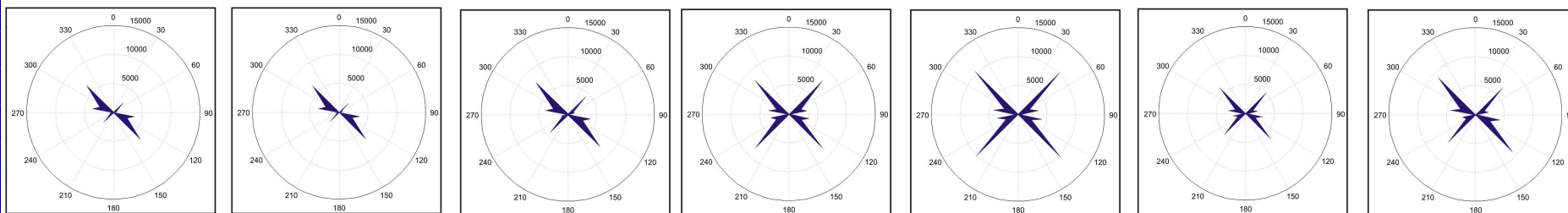
Землетрясение в Калифорнии (район г. Сан-Хосе) 31 октября 2007 г. (M=5.6)



Фрагменты исходных изображений



Плотности линеаментов



Розы-диаграммы направленности линеаментов

7 октября 2007 г.

14 октября 2007 г.

22 октября 2007 г.

23 октября 2007 г.

2 ноября 2007 г.

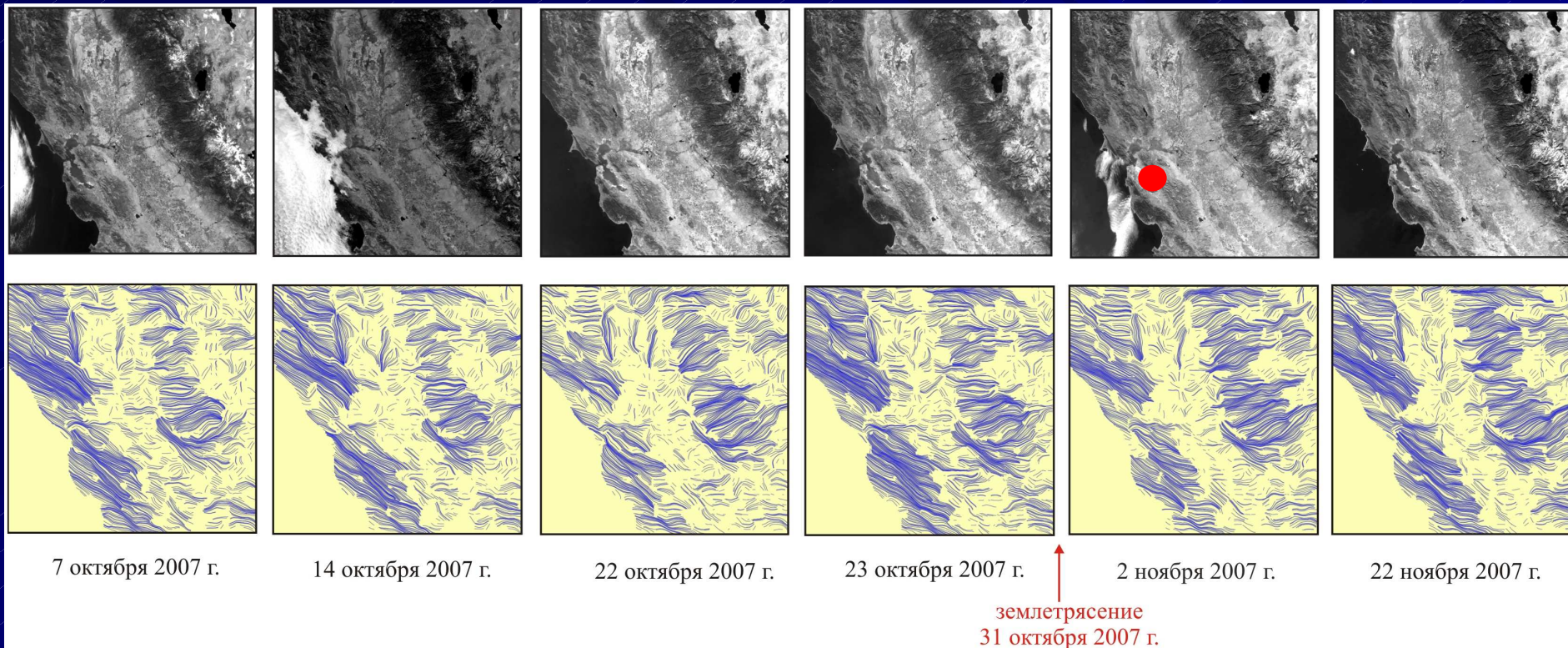
6 ноября 2007 г.

22 ноября 2007 г.

↑
землетрясение
31 октября 2007
03:04:54 UTC
(M=5.6)

ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИЙ ВЫТЯНУТОСТИ РОЗ-ДИАГРАММ ШТРИХОВ

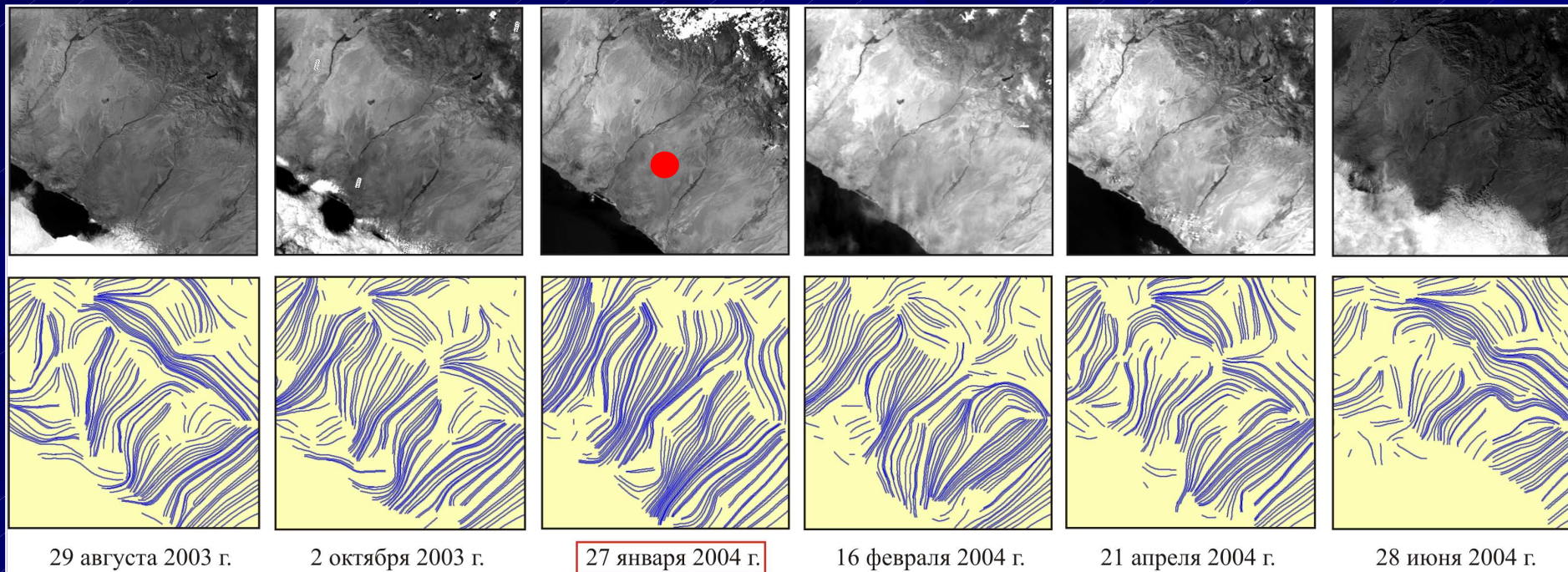
Землетрясение в Калифорнии (район г. Сан-Хосе) 31 октября 2007 г. в (M=5.6)



Результаты анализа схем линий вытянутости роз-диаграмм штрихов подтверждают выводы, сделанные по розам-диаграммам сквозных линеаментов, о том, что в период подготовки землетрясения начинает увеличиваться роль (степень проявленности) поперечных по отношению к разрыву Сан-Андреас региональных и локальных линеаментов. Наиболее наглядно это проявляется при сравнении схем, полученных на 7 октября и 2 ноября

ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИЙ ВЫТЯНУТОСТИ РОЗ-ДИАГРАММ ШТРИХОВ

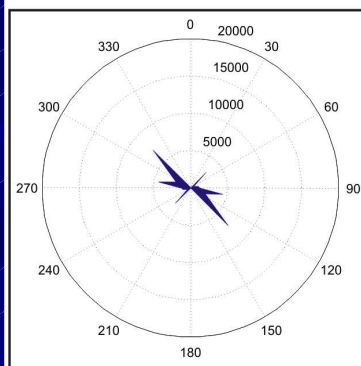
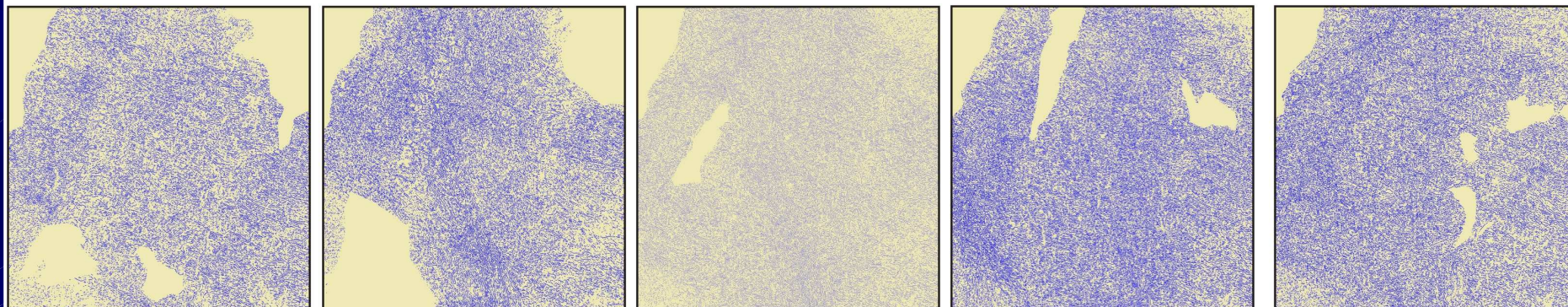
Землетрясение в Перу (в углу Арики) 27 января 2004 г. ($M=5.2$)



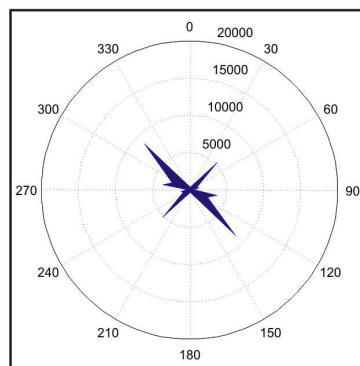
Распределение линий вытянутости роз-диаграмм штрихов при землетрясении в Перу 27 января 2004 г. показывает, что в пределах исследованного региона до начала землетрясения (схемы на 29 августа и 2 октября 2003 г.) четко выделялись два блока земной коры – Ю-З с господствующим ЮЗ-СВ направлением штрих-линеаментов и С-З с преобладающим ЮВ-СЗ направлением штрихов. В день землетрясения (27 января 2004 г.) блоки земной коры выступали как единое целое с ЮЗ-СВ преобладающим направлением штрих-линеаментов. После землетрясения постепенно восстановилась прежняя картина с разделением коры на два разнородных блока с разными полями напряжений и обусловленных ими разноориентированными линиями вытянутости роз-диаграмм штрихов.

ПОСТРОЕНИЕ РОЗ-ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ СИСТЕМ ЛИНЕАМЕНТОВ

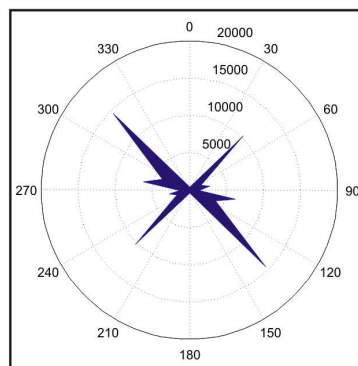
Землетрясение в Чили (у центрального побережья) 27 февраля 2010 г. (M=8.8)



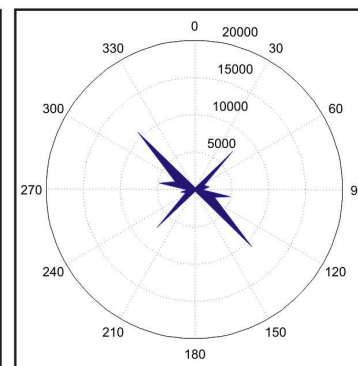
15.02.2010 г.



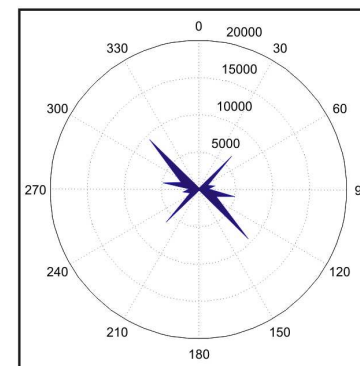
19.02.2010 г.
20.02.2010
(M=4.9)



27.02.2010 г.
M=8.8



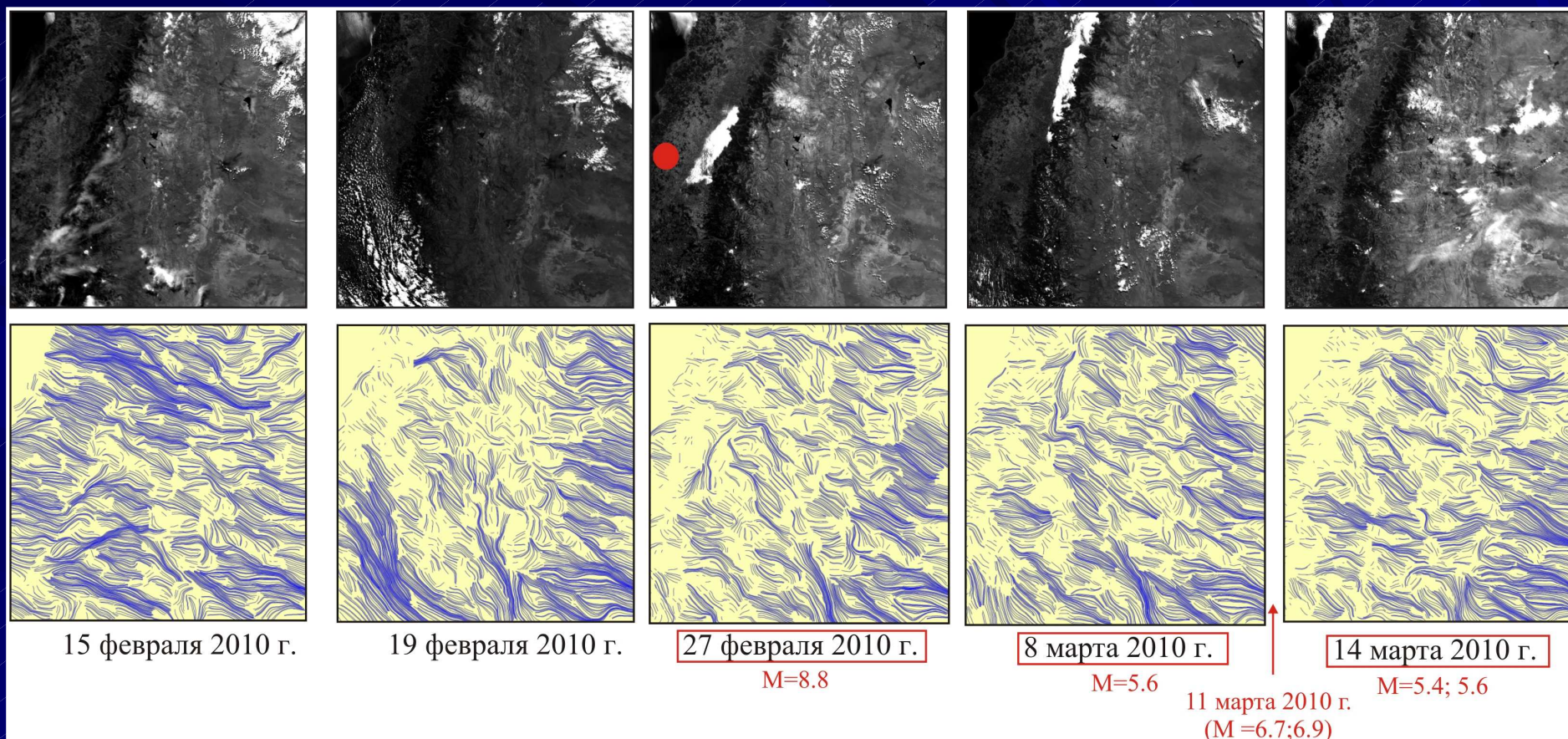
08.03.2010 г.
M=5.6



14.03.2010 г.
M=5.4; 5.6

ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИЙ ВЫТЯНУТОСТИ РОЗ-ДИАГРАММ ШТРИХОВ

Землетрясение в Чили (у центрального побережья) 27 февраля 2010 г. (M=8.8)

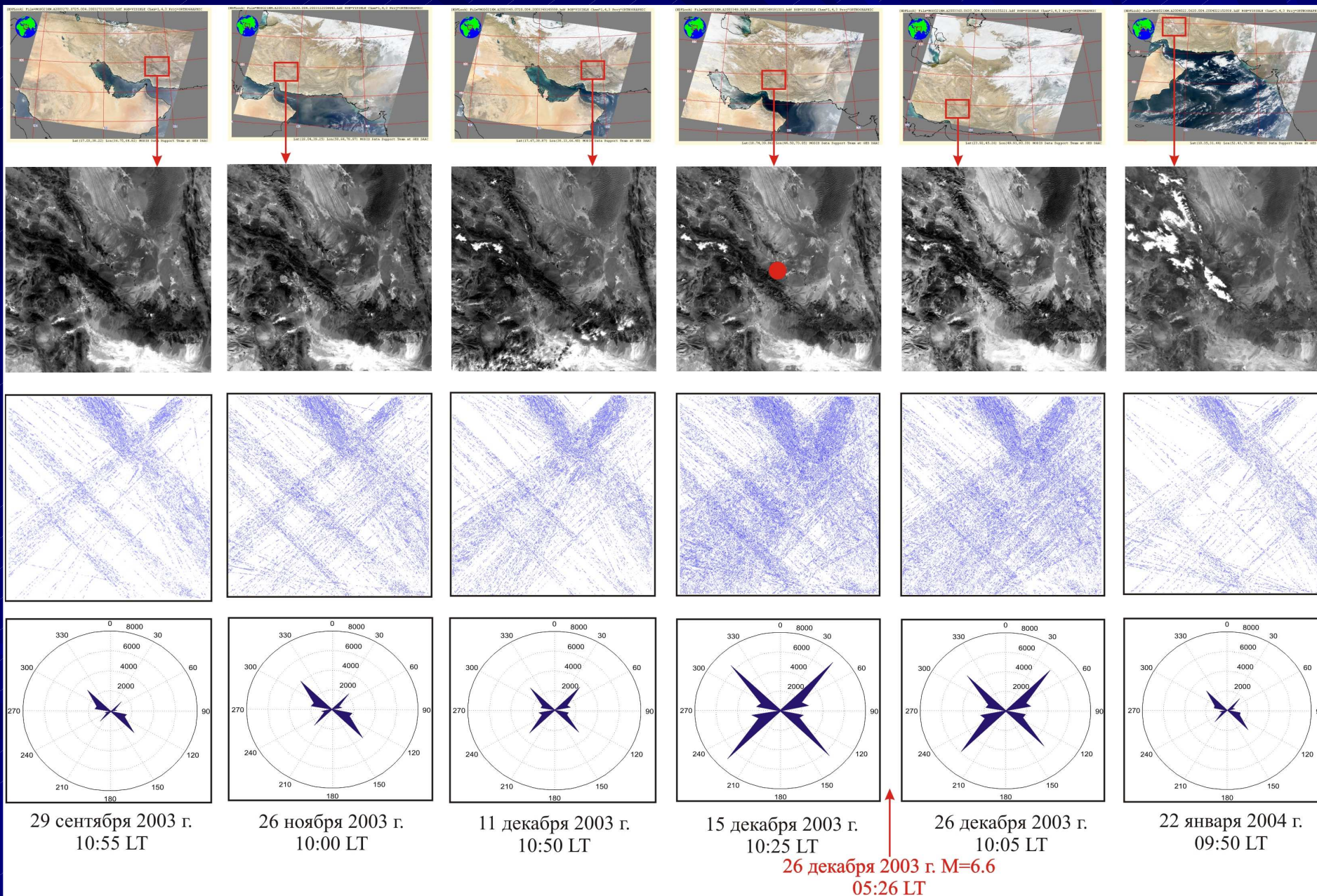


На схеме линий вытянутости роз-диаграмм штрихов, выявленных при автоматизированном линеamentном анализе космического изображения, 15 февраля 2010 г. розы-диаграммы вытянуты в основном в направлении ВЮВ-ЗСЗ, а в день землетрясения, 27 февраля 2010 г., они развернулись больше к северу, приобретая ориентировку ЮВ-СЗ и даже ССЗ-ЮЮВ. После землетрясения розы-диаграммы штрихов (штрих-линеamentов) вновь вернулись на прежнее направление ЗСЗ-ВЮВ.

Таким образом, при Чилийском землетрясении проявлено предвестниковое изменение региональных и локальных систем линеamentов. При этом локальный план деформаций в период подготовки землетрясений претерпел большие изменения.

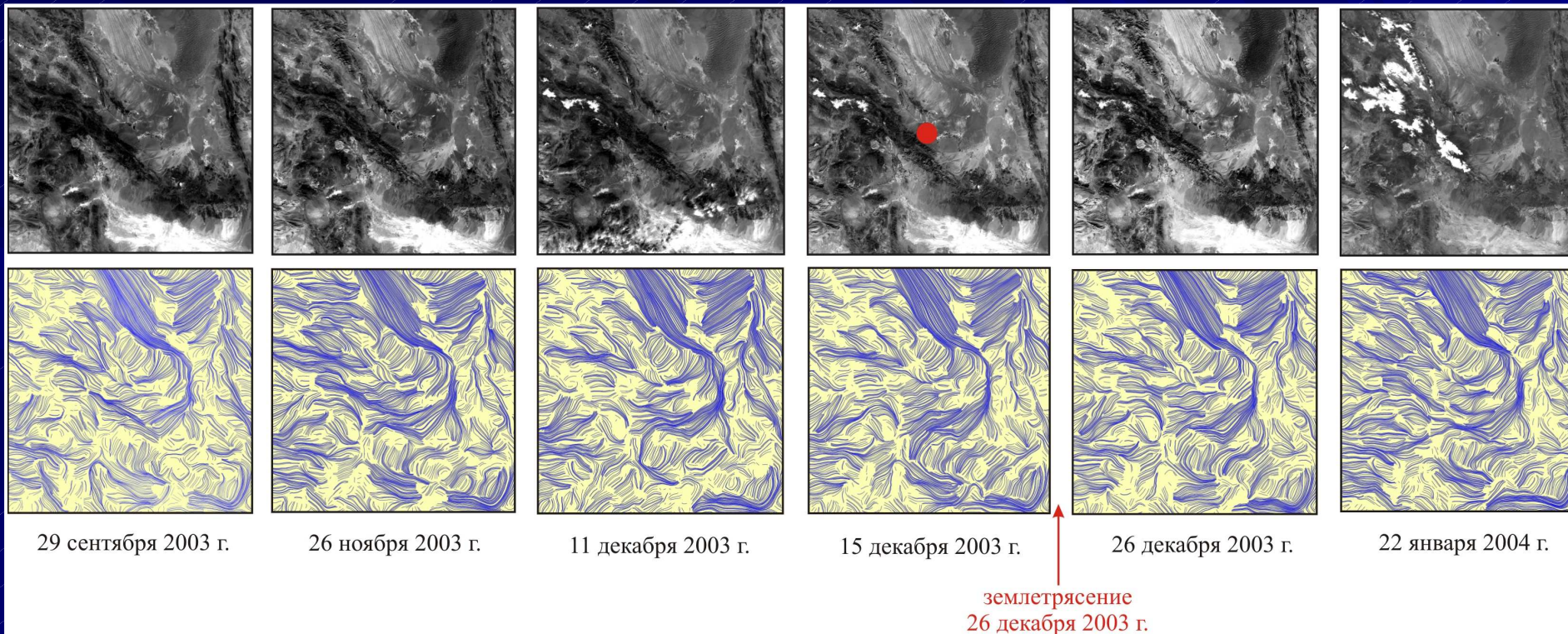
ПОСТРОЕНИЕ РОЗ-ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ СИСТЕМ ЛИНЕАМЕНТОВ

Землетрясение на юго-востоке Ирана (г. Бам) 26 декабря 2003 г. (M=6.6)



ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИЙ ВЫТЯНУТОСТИ РОЗ-ДИАГРАММ ШТРИХОВ

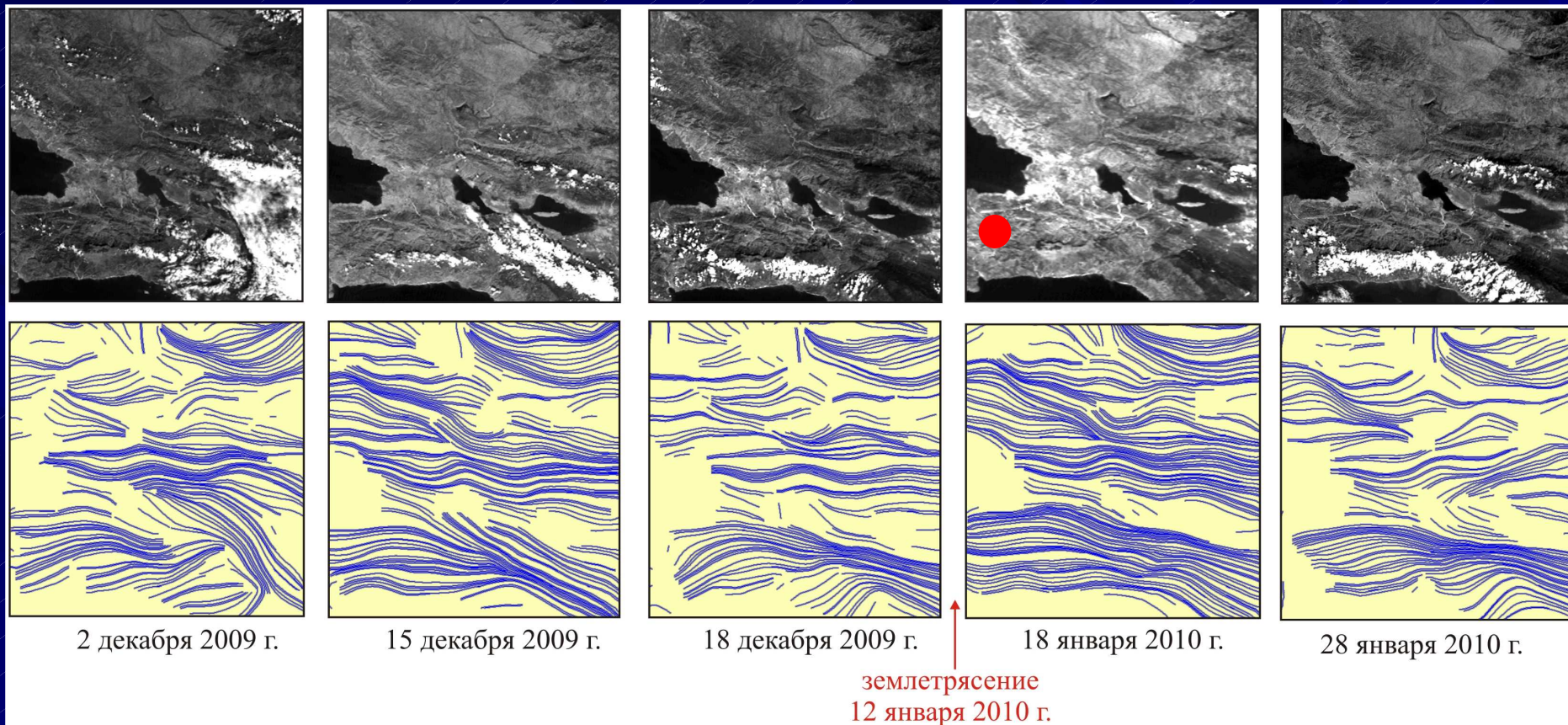
Землетрясение на юго-востоке Ирана (г. Бам) 26 декабря 2003 г. ($M=6.6$)



Локальные системы линеаментов более устойчивы (стабильны) по сравнению с региональными. На это указывает относительно незначительные изменения ориентировок линий вытянутости роз-диаграмм штрихов. Данное обстоятельство, видимо, обусловлено тем, что сейсмические деформации земной коры активизировали в основном региональную систему линеаментов, имеющую более глубокое заложение.

ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИЙ ВЫТЯНУТОСТИ РОЗ-ДИАГРАММ ШТРИХОВ

Землетрясение на острове Гаити 12 января 2010 г. (M=7.0)



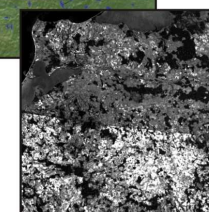
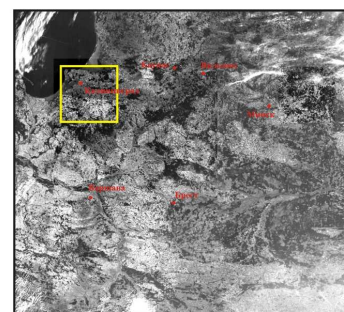
Изучено сильное землетрясение, произошедшее на острове Гаити 12 января 2010 г. (M=7.0). Преобладающей системой является диагональная (по отношению к оси вращения Земли) система линеаментов.

Изменение линий вытянутости роз-диаграмм штрих-линеаментов более закономерно при приближении к дате землетрясения постепенно увеличивается степень упорядоченности их ориентировок. Если за 40 дней до толчка (2 декабря 2009 г.) их ориентировка нередко менялась, то вблизи дня землетрясения (18 января 2010 г.) они приобрели явно преобладающую субширотную ориентировку, которая в дальнейшем (28 января 2010 г.) постепенно вернулась к предыдущему плану.

РАСЧЕТ ОТНОШЕНИЙ ДЛИН ЛИНЕАМЕНТОВ РАЗНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ

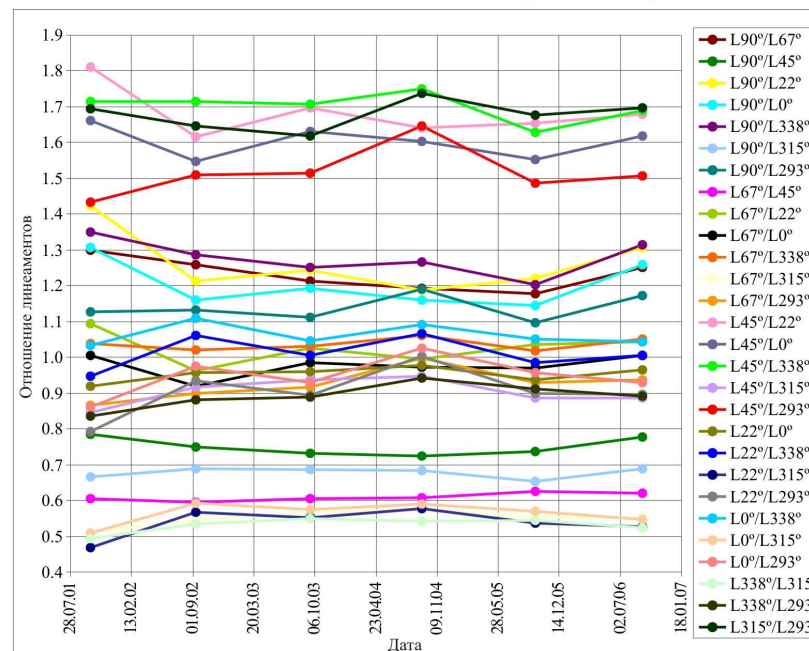
Землетрясение в Калининграде 21 сентября 2004 г. (M=4.8; 5.0)

Дата	30.09.01	12.09.02	21.09.03	19.09.04	26.09.05	13.09.06
Линеаменты						
L90°/L67°	1.299	1.260	1.213	1.193	1.179	1.252
L90°/L45°	0.786	0.750	0.732	0.724	0.737	0.778
L90°/L22°	1.424	1.212	1.244	1.188	1.221	1.307
L90°/L0°	1.307	1.159	1.194	1.161	1.145	1.260
L90°/L338°	1.349	1.286	1.251	1.266	1.202	1.315
L90°/L315°	0.665	0.688	0.687	0.685	0.654	0.690
L90°/L293°	1.127	1.132	1.111	1.191	1.097	1.172
L67°/L45°	0.605	0.595	0.604	0.607	0.625	0.621
L67°/L22°	1.095	0.962	1.025	0.996	1.035	1.044
L67°/L0°	1.006	0.920	0.985	0.973	0.971	1.006
L67°/L338°	1.038	1.021	1.031	1.061	1.019	1.051
L67°/L315°	0.512	0.546	0.566	0.574	0.555	0.551
L67°/L293°	0.867	0.899	0.916	0.999	0.930	0.936
L45°/L22°	1.811	1.617	1.698	1.641	1.655	1.680
L45°/L0°	1.662	1.547	1.631	1.604	1.553	1.619
L45°/L338°	1.716	1.716	1.707	1.750	1.630	1.691
L45°/L315°	0.846	0.917	0.938	0.947	0.887	0.887
L45°/L293°	1.433	1.510	1.516	1.646	1.488	1.506
L22°/L0°	0.918	0.957	0.960	0.977	0.938	0.964
L22°/L338°	0.948	1.061	1.006	1.066	0.985	1.006
L22°/L315°	0.467	0.567	0.552	0.577	0.536	0.528
L22°/L293°	0.792	0.934	0.893	1.003	0.899	0.896
L0°/L338°	1.032	1.109	1.047	1.091	1.050	1.044
L0°/L315°	0.509	0.593	0.575	0.590	0.571	0.548
L0°/L293°	0.862	0.976	0.930	1.026	0.958	0.930
L338°/L315°	0.493	0.535	0.549	0.541	0.544	0.525
L338°/L293°	0.835	0.880	0.888	0.941	0.913	0.891
L315°/L293°	1.694	1.646	1.618	1.739	1.677	1.698



Землетрясение в Калининграде 21 сентября 2004 г.
Размер изображения 125*125 км
(500*500 пикселей)

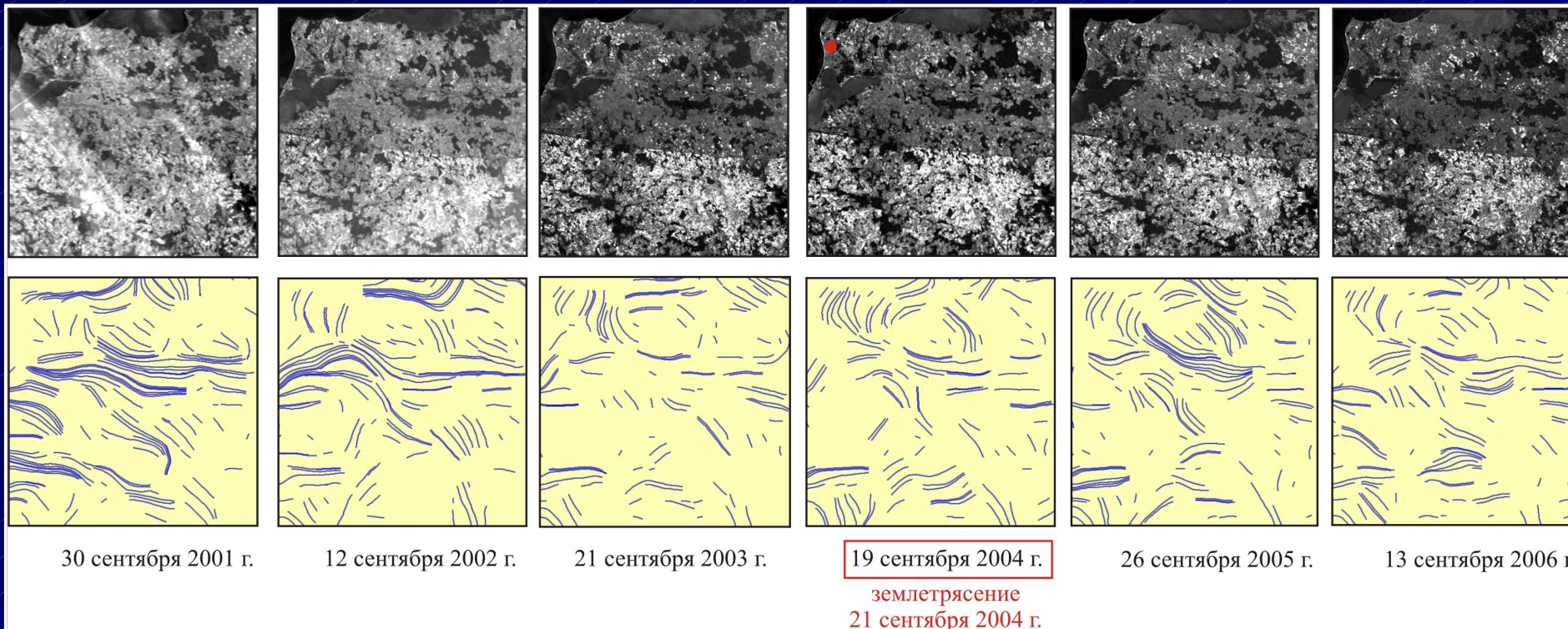
Величина отношения длин линеаментов разных направлений



Закономерное изменение (предвестниковая цикличность) величины отношения суммарных длин наблюдается у 10 пар систем линеаментов из 28 возможных их сочетаний, у которых величина отношения растет (или уменьшается) при приближении к моменту землетрясения, а после него уменьшается (или увеличивается).

ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИЙ ВЫТЯНУТОСТИ РОЗ-ДИАГРАММ ШТРИХОВ

Землетрясение в Калининграде 21 сентября 2004 г. (M=4.8; 5.0)

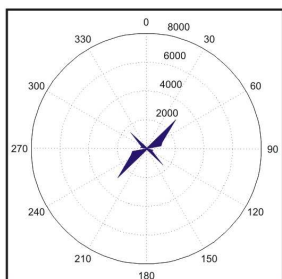
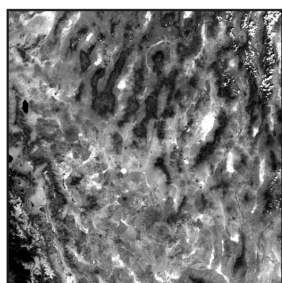


На схемах линий вытянутости роз-диаграмм штрихов хорошо заметно изменение плана локальных деформаций с 30 сентября 2001 г. по 19 сентября 2004 г. (год землетрясения), который лишь частично восстановился после землетрясения в 2005 и 2006 гг. В районе эпицентра землетрясения вместо субширотных стали преобладать субмеридиональные направления линий вытянутости. Появились очень интересные кольцевые образования, не выраженные в явной форме на поверхности Земли. Возможно это системы неоднородностей (систем трещин) над структурой фундамента изометричной формы.

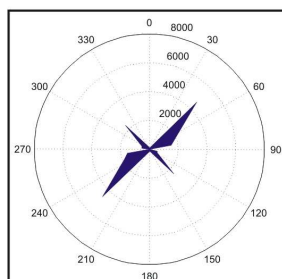
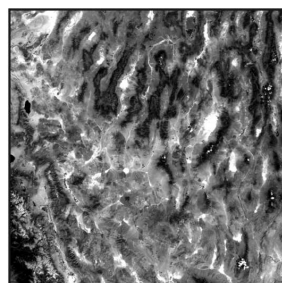
**РАСПОЛОЖЕНИЕ ТЕСТОВОГО УЧАСТКА ДЛЯ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
(СЕНТЯБРЬ 2007 г. – ДЕКАБРЬ 2007 г.) В ПРЕДЕЛАХ БОЛЬШОГО БАССЕЙНА**



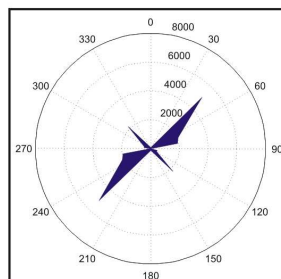
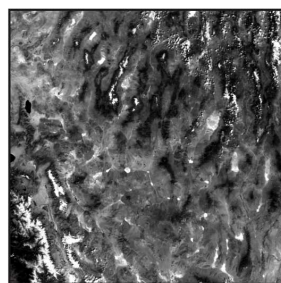
РЕЗУЛЬТАТЫ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ПРЕДЕЛАХ БОЛЬШОГО БАССЕЙНА



5 сентября 2007 г.

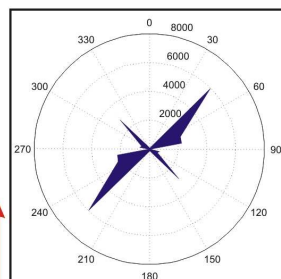
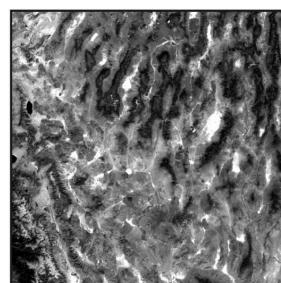


8 сентября 2007 г.

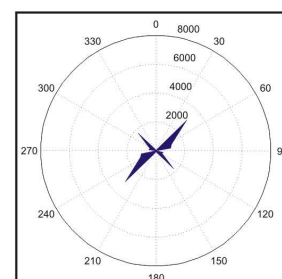
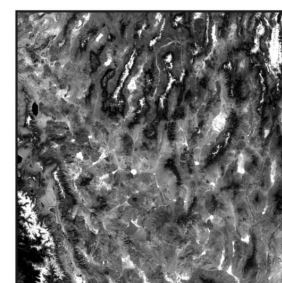


24 сентября 2007 г.

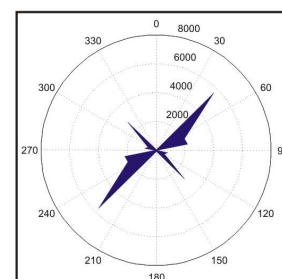
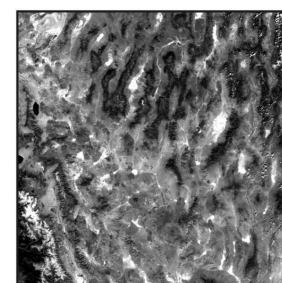
28.09.07 (M=4.1)



3 октября 2007 г.

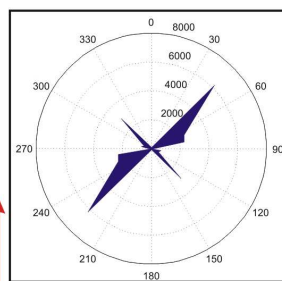
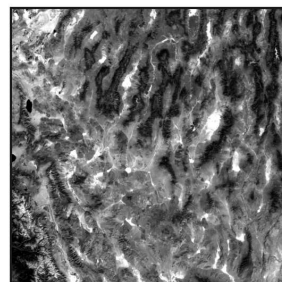


7 октября 2007 г.



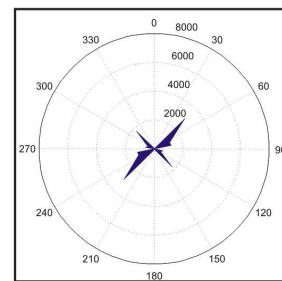
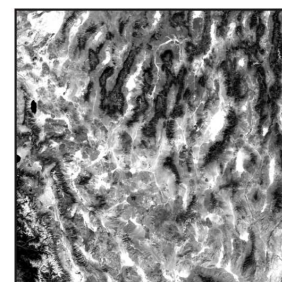
14 октября 2007 г.

16.10.07 (M=4.2)



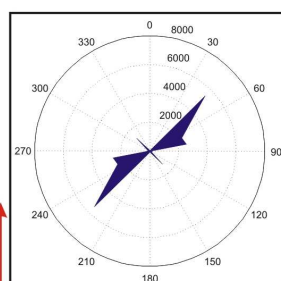
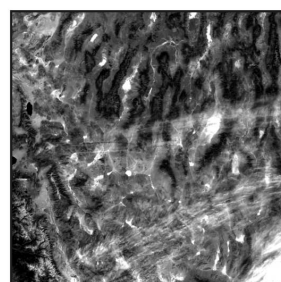
19 октября 2007 г.

16.10.07 (M=4.2)

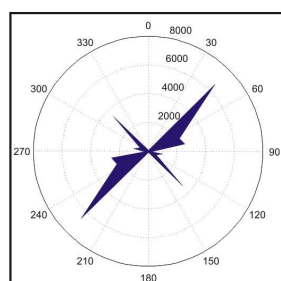
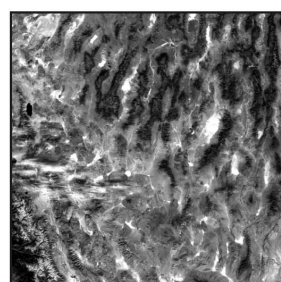


23 октября 2007 г.

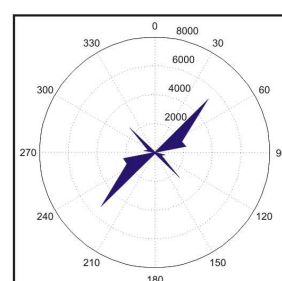
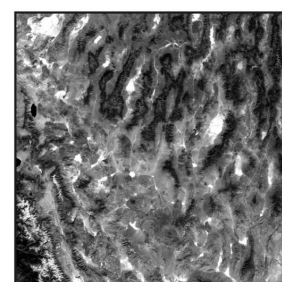
24.10.07 (M=4.3)



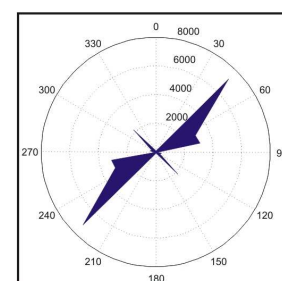
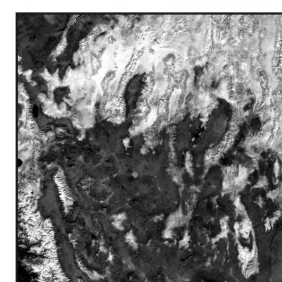
2 ноября 2007 г.



6 ноября 2007 г.



24 ноября 2007 г.



10 декабря 2007 г.