

Линеаментный анализ космических изображений сейсмоопасных территорий России

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

*Научно-исследовательский институт
аэрокосмического мониторинга «АЭРОКОСМОС»
105064, Москва, Гороховский переулок 4,
тел. 632-16-54, E-mail: office@aerocosmos.info*

На основе результатов многоуровневого линеаментного анализа космических изображений изучены особенности сейсмичности и геологического строения земной коры сейсмоопасных территорий: Северного Кавказа и Предкавказья; Байкальской рифтовой зоны; Камчатки; Сахалина. При тематической обработке космических изображений получены различные статистические показатели линеаментной тектоники на все выбранные участки. В результате проведенных исследований установлено, что наиболее информативными для решения поставленных задач являются: схемы сквозных линеаментов при разных порогах обработки изображений, общие и локальные розы-диаграммы, линии вытянутости локальных роз-диаграмм (отражают средние направления длинных осей роз-диаграмм линеаментов), поля суммарной плотности штрихов, а также количество (в пикселях) и суммарная длина (в км) штрихов разных направлений, проявленных при нулевом пороге.

Ключевые слова: космический мониторинг, сейсмоопасные территории, геодинамика, линеаменты.

Введение

Геологические критерии сейсмичности позволяют утверждать, что чаще всего очаги землетрясений приурочены к областям интенсивных и контрастных новейших тектонических движений коры. В общем случае это справедливо как по отношению к неглубоким, так и к глубоким коровым и подкоровым очагам, которые часто обнаруживают тесную связь с видимыми на поверхности линейными структурными элементами земной коры (Хаин, Михайлов, 1985).

Использование автоматизированных методов выделения линеаментов на космических изображениях открывает новые перспективы перед исследователями и практиками (Бондур, Зверев, 2004, 2005, 2007; Кац и др., 1986; Гафаров и др., 2010; Трофимов, 2010; Автоматизированный..., 1988). Это, в первую очередь, связано с достоверностью получаемых результатов, свободных от субъективных ошибок дешифрирования, что нередко приводило к прямо противоположным результатам разных дешифрировщиков при визуальном (или инструментально-визуальном) дешифрировании одного и того же космического изображения (Бондур, Зверев, 2005).

В данной работе выполнен автоматизированный многоуровневый линеаментный анализ космических изображений территории России при разной степени генерализации исходных космических изображений, полученных со спутника TERRA (аппаратура MODIS) и со спутника LANDSAT-7 (аппаратура ETM+).

Методика исследований

В работе использована модифицированная программа автоматизированного линеаментного анализа LESSA (Златопольский, 2011), которая позволяет получать схемы плотности элементарных (штрихов) линеаментов путем пороговой фильтрации выявлять протяженные (сквозные) линеаменты разных иерархических уровней.

Космические изображения поверхности Земли с разным пространственным разрешением позволили изучить локальные, региональные, континентальные и глобальные особенности развития геодинамических процессов, выявить взаимосвязи между ними, оперативно исследовать наиболее разрушительные сейсмические, вулканические и другие проявления внутренней геодинамики на поверхности планеты (Бондур и др., 2011).

Изменяя степень генерализации, т.е. уменьшая пространственное разрешение исходного космического изображения, можно добиться того, что исследуются все более крупные линейные элементы гидрографии и орографии, связанные уже не с локальным, а региональным планом расположения зон сжатия и растяжения (трещиноватости). А это позволяет изучать линеаменты разных иерархических уровней и выявит количественные соотношения линеаментов разных направлений 90° , 67° , 45° , 22° , 0° , 338° , 315° , 293° (осреднение составило $22,5^\circ$) (Бондур и др., 2007).

Статистические показатели линеаментных систем в настоящей работе были изучены на восьми уровнях генерализации космических изображений земной поверхности: на первых шести уровнях с использованием генерализованных изображений LANDSAT-7 с пространственным разрешением 30 метров (исходное изображение), 60, 90, 120, 150, 180 м/пиксель, на последних двух уровнях с использованием генерализованных изображений TERRA с пространственным разрешением 250 (исходное изображение) и 500 м/пиксель (Бондур и др., 2012). Это позволило изучить статистические характеристики линеаментных систем разных иерархических уровней, выявить их связи, закономерность развития и охарактеризовать особенности полей напряжений и деформаций разных регионов России.

Ниже рассмотрены результаты автоматизированного линеаментного анализа многозональных космических изображений с целью выявления геодинамических особенностей различных сейсмоопасных районов России и выделения потенциальных сейсмогенерирующих разломов.

Результаты исследований

Геодинамические особенности сейсмоопасных территорий России были изучены на примерах территории Ставропольского поднятия; Байкальской рифтовой зоны; Камчатки и Сахалина. С этой целью обработаны космические изображения, полученные аппаратурой MODIS (спутника TERRA) с пространственным разрешением 250 метров и изображения, полученные аппаратурой ETM+ (спутник LANDSAT-7), с более высоким пространственным разрешением (30 метров). Выбор данных районов обусловлен тем, что они характеризуют наиболее напряженные геодинамические режимы на территории России – рифтогенез, субдукцию и поперечное транскавказское поднятие, сопровождаемые высокой сейсмичностью. Результаты геодинамического анализа других регионов России (Кавказ, район Калининградского землетрясения, Западная Сибирь) и мира (Калифорния, Турция, Перу, Чили, Иран и др.) опубликованы ранее (Бондур и др., 2010, 2011, 2012).

В таблице 1 приведены исходные данные для проведения многоуровневого автоматизированного линеаментного анализа. Для тематической обработки были выбраны изображения, полученные в 3-м канале 0.63-0.69 мкм (красная зона) и 4-м канале 0.75-0.90 мкм (ближний ИК-диапазон) аппаратуры спутника LANDSAT. При обработке изображений, полученных с борта спутника TERRA, были выбраны данные 1-го канала 0.63-0.69 мкм (красная зона).

Таблица 1. Сводная таблица данных для проведения многоуровневого автоматизированного линеаментного анализа космических изображений

№	Исследуемые районы	LANDSAT-7 (ETM+, 30 м)		TERRA (MODIS, 250 м)
		3-й канал 0.63-0.69 мкм (красная зона)	4-й канал 0.75-0.90 мкм (ближний ИК-диапазон)	1-й канал 0.63-0.69 мкм (красная зона)
		1, 2, 6 уровни генерализации космических изображений		1, 2 уровни генерализации космических изображений
1	Ставропольское поднятие	Западная часть Ставропольского свода		Ставропольский свод
		Восточная часть Ставропольского свода		
2	Территории Байкальской рифтовой зоны	Хребет Хамар-Дабан		Хребет Хамар-Дабан
		Становое нагорье		Становое нагорье
3	Территории Камчатки	Южная часть Срединного Хребта		Южная часть Срединного Хребта
		Район вулкана Шивелуч		Район вулкана Шивелуч
4	Территории Сахалина	Район г. Южно-Сахалинск		Район г. Южно-Сахалинск
		Центральный Сахалин		Центральный Сахалин

Ставропольское поднятие. При проведении автоматизированного многоуровневого линеаментного анализа космических изображений для территории Ставропольского свода было выбрано 3 тестовых участка, которые охватывают западную часть свода, восточную и всю территорию свода. В западной части Ставропольского свода соотношение суммарных длин локальных штрихов 1-го и 2-го уровней генерализации разных направлений в 3-ей и 4-ой зонах спектра аналогичны. Некоторые исключения составляют лишь наиболее слабо выраженные направления, характеризующиеся наименьшими суммарными длинами. Если расположить штрихи разных направлений в порядке убывания их суммарных длин, то для красной зоны (3 канал) они образуют следующий ряд: 45°, 315°, 90°, 338°, 0°, 293°, 67°, 22°, а для ближнего ИК (4 канал): 45°, 315°, 90°, 338°, 0°, 67°, 293°, 22°. То есть в этих двух зонах наибольшее распространение имеют штрихи С-В, Ю-З и широтных направлений. Далее по убывающей идут штрихи ССЗ, северных, ВСВ, ЗСЗ и ССВ направлений.

Таким образом, в западной части Ставропольского свода на 1-ом и 2-ом уровнях генерализации космических изображений земной поверхности главное значение имеет диагональная и широтная система штрихов (локальных линеаментов). Другие направления выражены слабее по сравнению с диагональными и широтными, но вместе с тем, так как различия их суммарных длин не очень сильно разнятся, то можно сделать вывод, что западная часть Ставропольского свода характеризуется достаточно плотной сетью локальных линеаментов разных направлений при некотором преобладании диагональной и широтной систем.

Схемы плотности штрихов имеют преимущественно мозаичный рисунок. Лишь в южной предгорной части и в центральной субширотной зоне наблюдаются субширотные ориентировки изменения величины плотности. В первом случае это обусловлено линеаментами Передовых хребтов Кавказских гор, а во втором случае субширотной ориентировкой долины реки Кубань и ее восточных притоков.

В восточной части Ставропольского свода суммарные длины штрихов разных направлений образуют следующий ряд по мере уменьшения их направленности (суммарной длины в км): 45°, 315°, 22°, 0°, 90°, 338°, 293°, 67°; 2 уровня генерализации: 22°, 45°, 338°, 315°, 0°, 293°, 90°, 67°; 6 уровня генерализации: 45°, 315°, 0°, 22°, 338°, 293°, 67°.

В целом по сравнению с западной половиной Ставропольского поднятия наиболее проявлена диагональная система линеаментов при несколько подавленном выражении субширотных направлений. При этом диагональная система линеаментов по сравнению с западной территорией в восточной половине более сжаты в меридиональном направлении, имея ветви, более развитые в направлениях близких к субмеридиональным.

Рисунок аномалий плотности линеаментов в восточной части, как и в западной, имеет в основном мозаичный характер. В центральной части территории намечается крупное кольцеобразное образование с глубоко изрезанными краями. Оно достаточно уверенно прослеживается на 6-ом уровне генерализации космического изображения.

Космические изображения, полученные со спутника TERRA (аппаратура MODIS), позволили изучить закономерности развития линеаментных систем на 7-ом и 8-ом уровнях генерализации космических изображений (1-ый и 2-ой уровни генерализации исходного изображения) для Ставропольского поднятия при разрешении 250 и 500 метров/пиксель соответственно, то есть на региональном уровне.

Результаты расчета суммарных длин линеаментов разных направлений образуют следующий ряд на 1-ом уровне генерализации исходного изображения (в км): 315°, 45°, 90°, 0°, 293°, 22°, 338°, 67°; на 2-м уровне генерализации: 315°, 45°, 90°, 293°, 0°, 22°, 338°, 67°. То есть, как и ранее при более низких уровнях генерализации космических изображений земной поверхности, наиболее распространена диагональная и широтная системы линеаментов.

Результаты расчетов характеристик штрихов, полученные путем автоматизированного линеаментного анализа для всей территории Ставропольского свода приведены на рис. 1. Схемы плотности линеаментов, розы-диаграммы и линии вытянутости роз-диаграмм линеаментов построены по космическому изображению, полученному со спутника TERRA (аппаратура MODIS).

Выполненный линеаментный анализ космических изображений Ставропольского свода разных уровней генерализации показал достаточно устойчивую картину преобладания диагональной и субширотной системы локальных и региональных линеаментов на большей площади свода. Ветви диагональной системы образуют угол около 90°, а субширотная система линеаментов в наиболее полной мере выражена в северной части свода.

Блоки земной коры, характеризующиеся разным напряженно-деформированным состоянием, разграничиваются разрывными нарушениями, которые в сейсмических районах являются потенциально сейсмогенерирующими, к которым можно отнести и Ставропольский свод с землетрясениями с магнитудами 4–5. В данном случае это относится к субмеридиональной осевой части Ставропольского свода. Кроме того ранее было установлено, что общей закономерностью развития сильных землетрясений на Кавказе является их приуроченность к узлам пересечения диагональных и субширотных зон (Уломов 2006, 2007). В связи с этим потенциальным сейсмогенерирующим разломом в западной половине свода является зона пересечения развитых здесь субширотной и диагональной систем, а так же субширотной и северо-западной ветвью диагональной системы, имеющей общекавказское направление, которое является для данного региона наиболее сейсмоопасным.

Байкальская рифтовая зона. В Байкальской рифтовой зоне с целью изучения линеаментной тектоники и ее связи с сейсмичностью были выбраны два тестовых участка, расположенных в северной части Байкальской рифтовой зоны (Становое нагорье), и южной (хребет Хамар-Дабан). Расположение тестового участка, захватывающего хребет Хамар-Дабан и территории, расположенные к югу от него.

На хребте Хамар-Дабан суммарные длины (в км) штрихов разных направлений образуют следующий ряд по мере уменьшения величины длины: в красной зоне — 45°, 315°, 22°, 90°, 0°, 67°, 293°, 338°; в ближнем ИК-диапазоне — 45°, 315°, 22°, 0°, 90°, 67°, 338°, 293°. Как видим, обработка разных зон дала примерно одинаковые результаты. Преобладающие

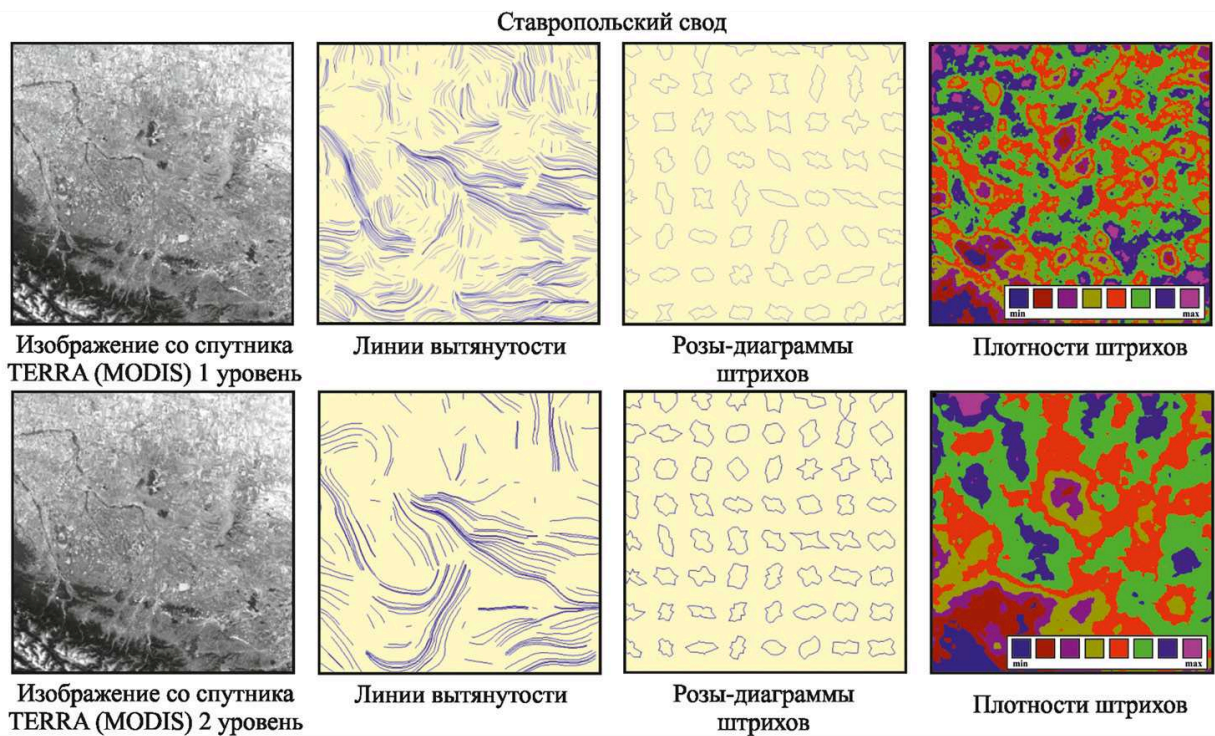


Рис. 1. Характеристики штрихов: схемы плотности штрихов, розы-диаграммы и линии вытянутости роз-диаграмм штрихов для 2-х уровней генерализации тестового участка Ставропольского свода

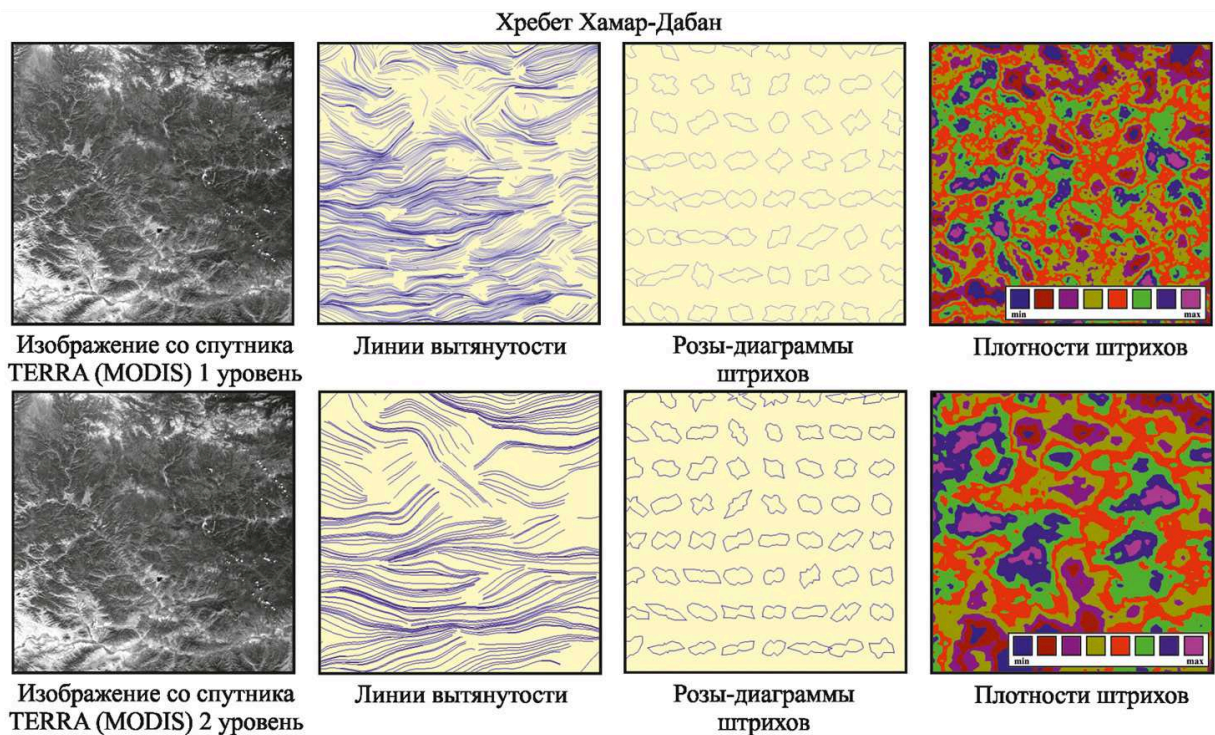


Рис. 2. Характеристики штрихов: схемы плотности штрихов, розы-диаграммы и линии вытянутости роз-диаграмм штрихов для 2-х уровней генерализации тестового участка, захватывающего хребет Хамар-Дабан

направления ориентировок штрихов 45° и 315° , то есть преобладает диагональная система штрихов. За ними идут ориентировки северо-северо-восток (22°), субмеридиональная (0°) и субширотная (90°) ориентировки.

Анализ суммарных длин штрихов, выполненный при разных уровнях генерализации космических изображений земной поверхности для южной части Байкальской рифтовой зоны, показал, что по мере увеличения степени генерализации уменьшается проявленность штрихов северных направлений на фоне устойчивого преобладания диагональной системы (45°, 315°). Аномалии плотности образуют мозаичный рисунок без особых, ярко выраженных предпочтительных ориентировок. Это свидетельствует о том, что в пределах тестового участка Хамар-Дабан аномалии штрихов распределены достаточно равномерно.

На схемах роз-диаграмм штрихов и линий вытянутости, полученных при обработки космического изображения, со спутника TERRA (аппаратура MODIS), заметное преобладание имеют субширотные ориентировки штрихов (рис.2).

Лишь в северной части данного тестового участка преобладает диагональная система ориентировок. Из этого следует, что на региональных уровнях генерализации (размер пикселя на местности 250 и 500 м, то есть при размере штрихов 2,5 и 5 км соответственно) в южной части Байкальской рифтовой зоны лучше проявлены штрихи, направления которых согласуются с развитыми здесь в изобилии субширотными разломами и господствующими направлениями расположения горных хребтов. В то же время, на локальном уровне генерализации штрихов, выявленных по изображениям, полученным со спутника LANDSAT-7 (ETM+), преобладают северо-восточные общесибирские направления.

На тестовом участке Становое нагорье суммарная длина штрихов (в км), на 1-6 уровнях генерализации, убывает в следующей последовательности: в красной зоне — 45°, 315°, 0°, 22°, 90°, 67°, 293°, 338°; в ближнем ИК — 45°, 315°, 90°, 22°, 67°, 0°, 293°, 338°. То есть наиболее распространена диагональная система штрихов. Все остальные направления проявлены значительно меньше и по суммарной длине штрихов отличаются незначительно.

На 7 и 8-ом уровнях генерализации (изображение со спутника TERRA, аппаратура MODIS) суммарная длина (в км) убывает в следующем порядке: 45°, 315°, 90°, 67°, 293°, 22°, 0°, 338°; на 2-ом уровне — 45°, 315°, 67°, 90°, 22°, 293°, 0°, 338°. На региональном уровне, так же как и на локальном лучше проявлена диагональная система, но в отличие от нее менее проявлено субмеридиональное направление (0°).

Таким образом, локальные и региональные поля штрихов на Становом нагорье имеют примерно одни и те же закономерности расположения и ориентировок штрихов, выраженные в полях плотности и роз-диаграммах.

Камчатка. Для территории Камчатки выполнен автоматизированный линеаментный анализ космических изображений тестовых участков, расположенных в районе вулкан Шивелуч и южной части Срединного хребта. В районе вулкана Шивелуч суммарные длины штрихов разных направлений образуют следующий ряд в порядке их убывания на 1-ом уровне генерализации: в красной зоне — 45°, 315°, 90°, 67°, 22°, 0°, 293°, 338°; в ближнем ИК-диапазоне - 45°, 315°, 90°, 67°, 22°, 0°, 293°, 338°. На 2-ом уровне генерализации: в красной зоне - 45°, 315°, 90°, 67°, 22°, 293°, 0°, 338°; в ближнем ИК-диапазоне — 45°, 315°, 90°, 67°, 22°, 293°, 0°, 338°. На 6-ом уровне генерализации: в красной зоне — 45°, 315°, 90°, 293°, 67°, 22°, 0°, 338°; в ближнем ИК-диапазоне — 45°, 315°, 90°, 67°, 293°, 22°, 0°, 338°.

При всех уровнях генерализации в красной зоне и ближнем ИК-диапазоне преобладают штрихи северо-западных, северо-восточных и широтных направлений, а минимальное развитие имеют штрихи северных направлений (22°, 0°, 338°). При этом северо-западные (45°) направления по суммарной длине значительно превосходят все остальные направления, даже ближайšie к ним по распространенности северо-восточные и субширотные штрихи. При увеличении уровня генерализации эта разница в целом увеличивается, достигая максимума в ближнем ИК-диапазоне.

Таким образом, исследование тестового участка в районе вулкана Шивелуч показало, что на локальном плане проявленности линеаментов преобладают штрихи направлений 45°,

315°, 90°; на региональном 315°, 45°, 90°. При этом главные направления (на локальном уровне — 45°, на региональном — 315°) нередко значительно (по суммарной длине штрихов) преобладают над остальными направлениями.

В пределах тестового участка выделяются три субмеридиональных блока, отличающихся напряженно-деформированным состоянием и разделенных разломами (рис.3). Сейсмогенерирующими, т.е. местами разрядки внутренних напряжений, являются узлы пересечения диагональных и субширотных систем линеаментов и разломы, разделяющие субмеридиональные блоки земной коры.

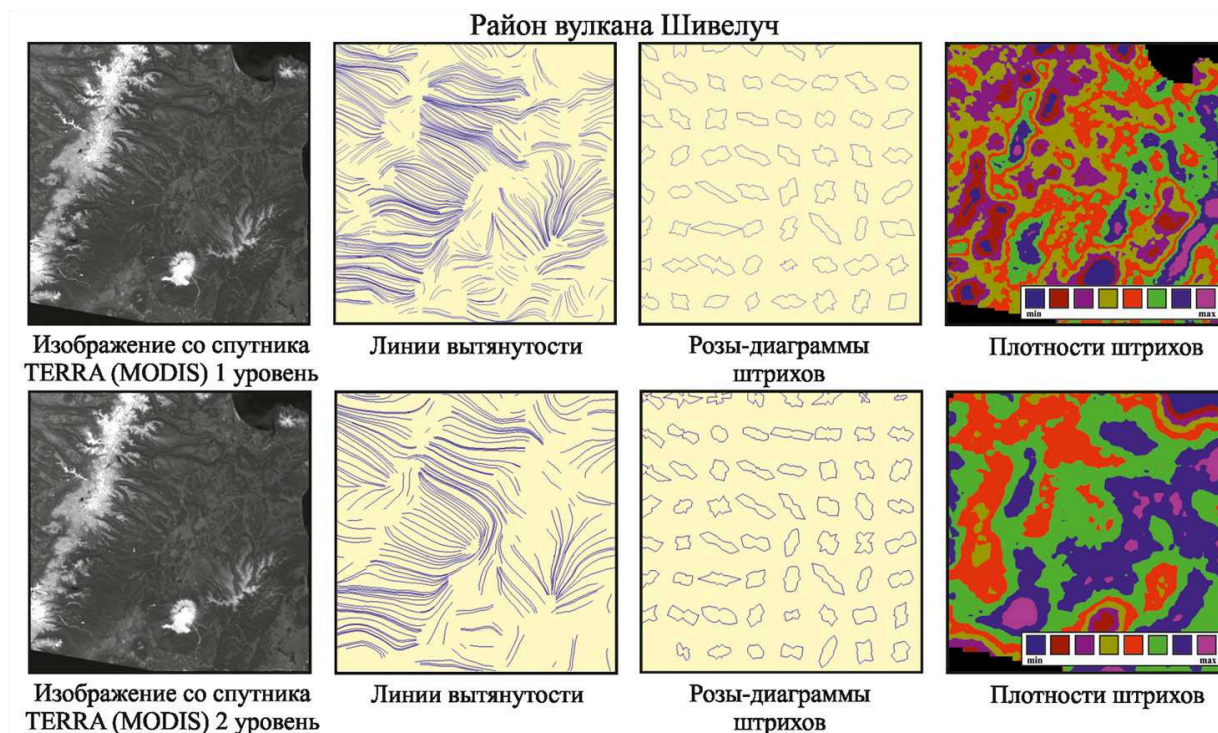


Рис. 3. Характеристики штрихов: схемы плотности штрихов, розы-диаграммы и линии вытянутости роз-диаграмм штрихов для 2-х уровней генерализации тестового участка, захватывающего район вулкана Шивелуч

В южной части Срединного хребта суммарные длины штрихов разных направлений образуют следующий ряд в порядке убывания их величины: на 1-ом уровне генерализации в красной зоне (3-й канал) — 45°, 315°, 0°, 22°, 90°, 67°, 338°, 293°; в ближнем ИК-диапазоне (4-й канал) — 45°, 315°, 22°, 90°, 67°, 0°, 293°, 338°. На 2-ом уровне генерализации в красной зоне — 45°, 315°, 0°, 22°, 90°, 67°, 338°, 293°; в ближнем ИК-диапазоне — 45°, 315°, 22°, 90°, 67°, 0°, 293°, 338°. На 6-м уровне генерализации в красной зоне — 45°, 315°, 22°, 90°, 0°, 67°, 293°, 338°; в ближнем ИК-диапазоне — 45°, 315°, 22°, 67°, 0°, 90°, 338°, 293°.

Таким образом, наибольшее распространение имеют штрихи северо-восточных (45°) и северо-западных (315°) направлений. За ними идут в красной зоне субмеридиональные (0°) штрихи, а в ближнем ИК-диапазоне — северо-северо-восточные (22°) и субширотные (90°). Наименьшее распространение имеют направления 293° и 338°.

Как и на севере в районе вулкана Шивелуч на региональном плане развития западный и восточный блоки в южной части Срединного хребта характеризуются развитием преимущественно субширотных ориентировок штрихов, а центральный блок — отсутствием явного преобладания каких-либо направлений. Географически западный блок соответствует Срединному Хребту, центральный — долине реки Камчатки, а восточный — хребту Восточному.

Сахалин. На тестовом участке в Центральном Сахалине суммарные длины (в км) штрихов разных направлений образуют следующий ряд в порядке уменьшения суммы: в красной зоне (3-й канал) – 45°, 315°, 0°, 22°, 90°, 67°, 338°, 293°; в ближнем ИК (4-й канал) — 45°, 315°, 67°, 22°, 0°, 90°, 338°, 293°. На 6-м уровне генерализации наблюдалось также значительное преобладание северо-восточных направлений штрихов. Анализ результатов показал, что на локальном уровне генерализации штрихов, выявленных по космическому изображению, полученному со спутника LANDSAT-7 (ETM+), преобладают северо-восточные направления, а на региональном, выявленных по космическому изображению, полученному со спутника TERRA (MODIS), преобладают северо-западные. Общесахалинские субмеридиональные (северо-северо-западные и северные) направления проявлены слабее (рис.4).

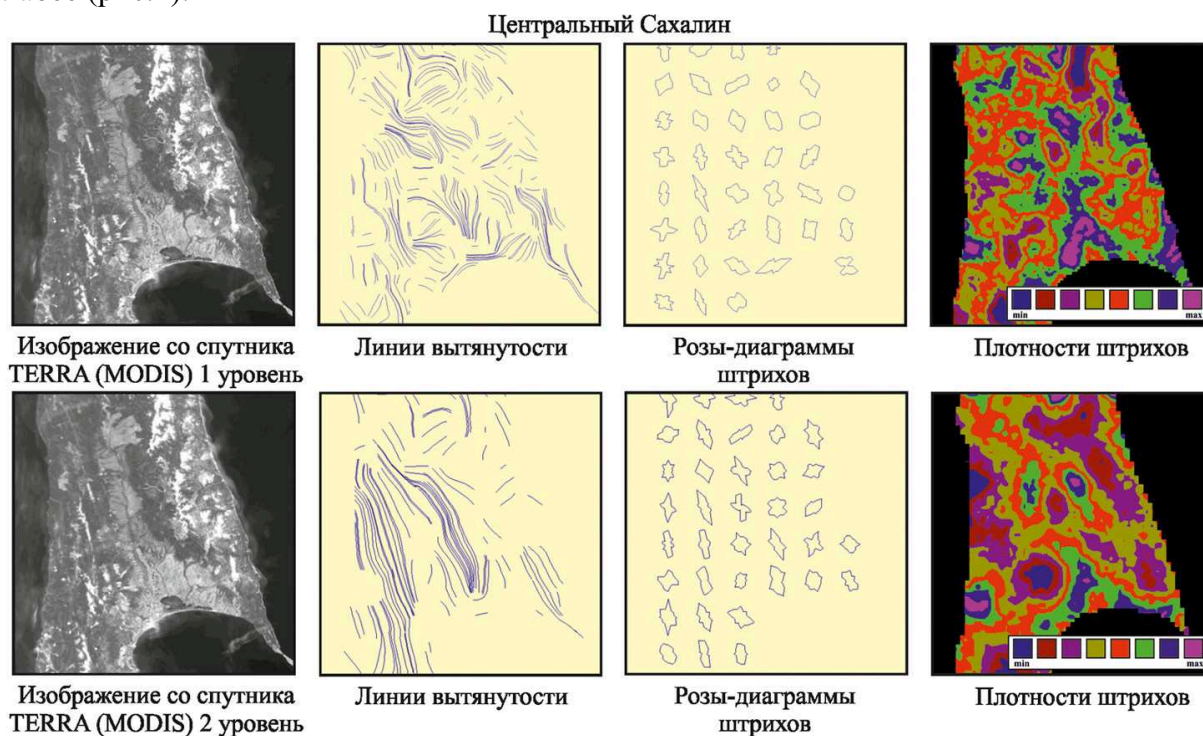


Рис. 4. Характеристики штрихов: схемы плотности штрихов, розы-диаграммы и линии вытянутости роз-диаграмм штрихов для 2-х уровней генерализации тестового участка, охватывающего центральный Сахалин

На тестовом участке вблизи г. Южно-Сахалинск наблюдалась следующая последовательность убывания суммарных длин штрихов: в красной зоне — 45°, 315°, 22°, 67°, 90°, 0°, 338°, 293°; в ближнем ИК — 45°, 315°, 22°, 0°, 67°, 90°, 338°, 293°.

Результаты анализа суммарных длин штрихов разных направлений на тестовом участке в районе города Южно-Сахалинск, как и в центральном Сахалине, показали преобладание на локальном уровне генерализации северо-восточных ориентировок, а на региональном — северо-западных.

Анализ характеристик штрихов (схем плотности, роз-диаграмм и линий вытянутости), построенных по результатам обработки космического изображения, полученного со спутника LANDSAT-7 (ETM+), показал, что в районе города Южно-Сахалинск, как и в центральном Сахалине, наблюдалось полосчатое расположение аномалий плотности и концентрации линий вытянутости роз-диаграмм штрихов, обусловленное тектоническим строением, преобладание северо-восточных ориентировок штрихов на локальном уровне и северо-западных — на региональном.

При анализе характеристик штрихов (схем плотности штрихов, роз-диаграмм и линий вытянутости роз-диаграмм штрихов), выявленных при обработке космического изображения, полученного со спутника TERRA (аппаратура MODIS), так же наблюдалось полосчатое расположение аномалий плотности и концентрации линий вытянутости, обусловленное тектоническим строением, преобладание северо-восточных ориентировок штрихов на локальном уровне и северо-западных — на региональном.

Заключение

Для изучения особенностей сейсмичности, геологического строения земной коры и выявления потенциальных сейсмогенерирующих разломов на территории России применялся многоуровневый автоматизированный линеаментный анализ космических изображений.

По результатам исследований проведенных для территории Северного Кавказа и Предкавказья отмечено, что на большей площади Ставропольского свода преобладают диагональная и субширотная системы локальных и региональных линеаментов, к которым приурочено развитие сильных землетрясений на Кавказе. В связи с этим потенциальным сейсмогенерирующим разломом является зона пересечения развитых здесь систем.

При анализе полученных результатов для территории Байкальской рифтовой зоны выявлено, что на всех уровнях генерализации космических изображений земной поверхности в количественном отношении преобладает диагональная система штрихов.

Результаты многоуровневого автоматизированного линеаментного анализа космических изображений тестовых участков в северной и южной частях Камчатки показали, что в этом регионе нашли отражение как региональные черты тектонического строения Камчатки, которые определяются развитием Срединного и Восточного Хребтов и разделяющего их грабена, так и локальные особенности их напряженно-деформированного состояния, выявляемые при сравнительном анализе систем штрихов (линеаментов) при разных уровнях их генерализации. Местом разрядки внутренних напряжений и сейсмогенерирующих разломов, являются разломы, разграничивающие блоки земной коры и узлы пересечения линеаментов (систем штрихов) северо-восточных, северо-западных и субширотных направлений.

При анализе результатов полученных для сейсмоопасной территории Сахалина выявлено, что расположение аномалий плотности, роз-диаграмм и линий вытянутости контролируется тектоническими структурами. В районе Центрального Сахалина наиболее хорошо развита северо-восточная ветвь диагональной системы, а на региональном — северо-западная. Обе ветви отвечают основным направлениям расположения цепочек эпицентров землетрясений и сейсмогенерирующих разломов. В районе города Южно-Сахалинск, как и в Центральном Сахалине, наблюдается полосчатое расположение аномалий плотности и концентрации линий вытянутости, обусловленное тектоническим строением, преобладание северо-восточных ориентировок штрихов на локальном уровне и северо-западных — на региональном. Однако имеются и некоторые различия в строении линеаментных систем в этих двух районах. Наиболее отчетливо это проступает на схемах сквозных линеаментов. Если в Центральном Сахалине главное значение имела диагональная система сквозных линеаментов, то в районе города Южно-Сахалинск существенное значение приобретает северо-северо-западная, общесахалинская ориентировка.

Литература

1. *Бондур В.Г., Зверев А.Т.* Метод прогнозирования землетрясений на основе линеamentного анализа космических изображений // ДАН. 2004. Т. 402. № 1. С. 1-8.
2. *Бондур В.Г., Зверев А.Т.* Космический метод прогноза землетрясений на основе динамики систем линеamentов // Исследование земли из космоса. 2005. № 3. С. 1-16.
3. *Бондур В.Г., Зверев А.Т.* Механизмы формирования линеamentов, регистрируемых на космических изображениях при мониторинге сейсмоопасных территорий // Исследование Земли из космоса. 2007. № 1. С. 47-56.
4. *Бондур В.Г., Зверев А.Т., Булатова А.Л., Гапонова Е.В., Цидилина М.Н.* Автоматизированная обработка временных рядов космических изображений для исследования динамики линеamentов с целью прогноза землетрясений // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2010. № 4. С. 69-77.
5. *Бондур В.Г., Зверев А.Т., Зима А.Л., Гапонова Е.В.* Выявление деформационных волн-предвестников землетрясений путем линеamentного анализа разновременных космических изображений // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2011. № 5. С. 34-42.
6. *Бондур В.Г., Зверев А.Т., Гапонова Е.В., Зима А.Л.* Исследование из космоса предвестниковой цикличности при подготовке землетрясений, проявляющейся в динамике линеamentных систем // Исследование земли из космоса. 2012. № 1. С. 3-20.
7. *Гафаров Н.А., Баранов Ю.Б., Ванярко М.А., Филатов Д.М., Денисевич Е.В., Кантемиров Ю.И., Кулапов С.М., Фейгин А.Е., Горянов М.С., Киселевский Е.В., Никифоров С.Э.* Использование космической информации в газовой промышленности. М.: «Газпром экспо», 2010. 132 с.
8. *Златопольский А.А.* Новые возможности технологии LESSA и анализ цифровой модели рельефа. Методический аспект // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 3. С. 38-46.
9. *Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева Э.Ф.* Основы линеamentной тектоники. М.: Недра, 1986. 140 с.
10. *Трофимов Д.М.* Аэрокосмические исследования на поисковом этапе геологоразведочных работ на нефть и газ. М.: ИПК «Лаватера», 2010. 308 с.
11. *Уломов В.И., Данилова Т.И., Медведева Н.С., Полякова Т.П.* О сейсмогеодинамике линеamentных структур горного обрамления Скифско-Туранской плиты // Физика Земли. № 7. 2006. С. 17-33.
12. *Уломов В.И., Данилова Т.И., Медведева Н.С., Полякова Т.П., Шумилина Л.С.* К оценке сейсмической опасности на северном Кавказе // Физика Земли. 2007. № 7. С. 31-45.
13. *Хаин В.Е., Михайлов А.Е.* Общая геотектоника. М.: «Недра», 1985. 326 с.
14. Автоматизированный анализ природных линеamentных систем. Л.: ВСЕГЕИ, 1988. 131 с.

Geodynamic features of seismic areas of Russia, based on lineament analysis

V. G. Bondur, A. T. Zverev, E. V. Gaponova

Research Institute of Aerospace Monitoring "Aerocosmos"
105064, Moscow, Gorokhovskiy, 4
tel. 632-16-54, E-mail: office@aerocosmos.info

Based on the result of multilevel lineament analysis of satellite images were studied the features of seismicity and geological structure of the earth seismic areas: Caucasus; Baikal rift zone, Kamchatka, Sakhalin. In thematic processing of satellite imagery received various statistical indicators lineament tectonics on all test sites. The main information was carried from schemes of cross-cutting lineaments at different thresholds of image processing, general and local Rose-diagrams, lines elongation of local Rose-diagrams (reflect the average direction of the long axes of Rose-diagrams of lineaments), the field total density of lines, the quantity (in pixels) and total length (km) lines in different directions, identified at zero threshold.

Key words: satellite monitoring, seismic hazard areas, geodynamics, lineaments.