

Генерализация космических снимков для повышения эффективности решения геологических задач методами линеаментного анализа

Б.С. Бусыгин, С.Л. Никулин

*Национальный горный университет
49005, Днепропетровск, Украина, пр. К. Маркса, 19
E-mail: busyginb@ntu.org.ua*

Рассмотрены вопросы повышения качества и достоверности результатов линеаментного анализа космических снимков путём применения методики поиска квазиоптимального уровня их генерализации. Представлен ряд практических примеров.

Ключевые слова: космические снимки, линеамент, геологическое строение, генерализация, оптимальный масштаб.

Введение

Всё возрастающее использование материалов космических съёмок в геологии связано, в частности, с постоянным снижением стоимости космических снимков (КС) при существующей тенденции повышения их пространственного и спектрального разрешения. Активно разрабатываются новые методы и методики, основанные на интерпретации космических материалов. Известно большое количество примеров успешного применения КС при решении разнообразных геологических задач [1-5]. Эффективность использования КС во многом определяется относительной простотой обнаружения и картирования приповерхностных объектов, в том числе и тех, которые, обладают большими размерами, но слабо проявляются на поверхности и могут быть пропущены при полевых геологических исследованиях. Вместе с тем, снимки земной поверхности несут полезную информацию и о глубинном строении территории, для извлечения которой требуется использование специальных методов обработки и анализа геоизображений.

В задачах изучения геологического строения важное место занимают методы линеаментного анализа, основанные на выделении и количественной обработке линейных, кольцевых, дуговых и радиально-кольцевых объектов на аэрокосмических снимках [1]. Спектр применения методов линеаментного анализа достаточно широк – ландшафтно-геологическое картирование [2, 3], поиск рудных и нерудных полезных ископаемых [4-6], прогноз сейсмоопасности [7-9] и т.п.

В настоящей работе рассматриваются вопросы повышения эффективности линеаментного анализа за счёт определения квазиоптимального разрешения используемых космических снимков, исходя из масштаба, иерархического уровня изучаемых объектов или явлений и характера их проявления на КС.

Постановка задачи

На результаты космогеологических исследований существенное влияние оказывает пространственное разрешение снимков. На снимках низкого разрешения наиболее отчётли-

во проявляются крупные геоструктурные комплексы, что связано с большей обзорностью и степенью генерализации изображений [10] по сравнению со снимками высокого разрешения, позволяющими получать информацию об отдельных объектах и разломных структурах, обычно связанных с новейшими тектоническими движениями [1]. Согласно [11], качественно новую информацию можно получить при изменении разрешения снимков в 3-5 раз.

Пространственное разрешение оказывает существенное влияние на результаты решения задач методами линеаментного анализа. На одной и той же территории на снимках с различным пространственным разрешением выделяются различные линеаменты, соответствующие геологическим комплексам и структурам различных пространственных рангов.

Естественно предположить, что наилучших результатов можно добиться, обрабатывая материалы некоторого «квазиоптимального» разрешения, при котором наиболее чётко выделяются линейные элементы, связанные с изучаемым явлением или процессом определённого иерархического уровня.

В последнее время всё большее распространение получают снимки высокого разрешения. Они, как правило, предназначены для решения задач городского и земельного планирования, прогноза урожайности сельхозкультур, мониторинга лесных насаждений, акваторий и т.п. Помимо этого они могут эффективно использоваться и для решения геологических задач, что, как правило, требует их генерализации с целью уменьшения пространственного разрешения.

Методика работ

Традиционный подход к выделению линеаментов на снимках заключается в визуальном анализе снимка и нахождении линейных объектов. Этот подход трудоёмок, сопряжен с риском пропуска протяженных, но слабо проявленных линеаментов и отличается определённой степенью субъективизма. В настоящее время известно несколько методик автоматического выделения линейных элементов на космоснимках [12, 13]. Авторами настоящей работы использовалась методика, реализованная в специализированной геоинформационной системе РАПИД [14]. Методика включает последовательное выполнение двух процедур:

1. Исходный снимок после предварительной обработки (устранение линейных объектов техногенного характера, повышение контрастности и т.п.) подвергается сегментации с целью выделения границ яркости, которые являются основной формой проявления линеаментов на КС. Используется математический аппарат «оптимального детектора» Кенни (Canny) [15], обеспечивающий уверенное выделение как сильно, так и слабо проявленных границ. В результате строится бинарная карта, на которой границам яркости соответствуют единицы.

2. На карте методом Хафа (Hough) [16] выделяются линейные элементы снимка. Указанное преобразование позволяет находить на бинарном изображении прямые линии, имеющие протяжённость, превышающую некоторое пороговое значение. Преобразование Хафа основано на анализе изображения в пространстве параметров a и b , представляющих собой коэффициенты уравнения прямых $y_i = ax_i + b$, проходящих через пиксели с единичными значениями и координатами x_i, y_i . Каждому пикселю в пространстве параметров соответствует одна кривая, причём кривые, отвечающие пикселям, находящимся в плоскости x_u на одной линии, в пространстве параметров a и b пересекаются в одной точке. Точки пересече-

ния наибольшего числа кривых позволяют найти наиболее протяжённые линейные элементы. Выделенные линеаменты переводятся в векторную форму; в результате формируется карта распределения линеаментов на исследуемой территории.

Следует отметить, что существующие автоматические методы не всегда обеспечивают выделение всех присутствующих на снимках линеаментов. Дело в том, что эти методы ориентированы на выделение чётких прямолинейных элементов изображения. При решении геологических задач прямых линеаментов не существует – все они, а особенно крупные, в различной степени деформированы более поздними тектоническими движениями, выветриванием и обычно перекрыты осадочным чехлом. Это затрудняет их автоматическое выделение на снимках, особенно высокоточных, где нечётко проявляемые границы крупных линеаментов могут отклоняться от прямой линии на расстояние до десятков пикселей. Обычно такие объекты достаточно уверенно выделяются на снимках с меньшим разрешением, однако на последних не проявляются более мелкие линеаменты. Поэтому особую актуальность приобретает вопрос выбора снимка с разрешением, которое было бы наилучшим с точки зрения решения конкретной задачи.

Для выбора такого квазиоптимального разрешения необходимо иметь серию разномасштабных снимков территории, полученных примерно в одно и то же время. Поскольку это условие на практике трудновыполнимо (в т.ч. и по экономическим соображениям), можно ограничиться генерализацией имеющегося снимка путём его разрежения в 2, 3, 4 и более раз. Разрежение может производиться различными способами, в том числе простым отбрасыванием строк и столбцов, кратных коэффициенту разрежения $k = 2, 3, 4 \dots$. На рис. 1 приведены примеры разрежения фрагмента панхроматического КС в 2, 4, 6 и 8 раз. Рисунок демонстрирует достаточно типичную ситуацию, когда границы яркости, соответствующие крупной линейной структуре, более уверенно проявляются на разрежённых снимках.

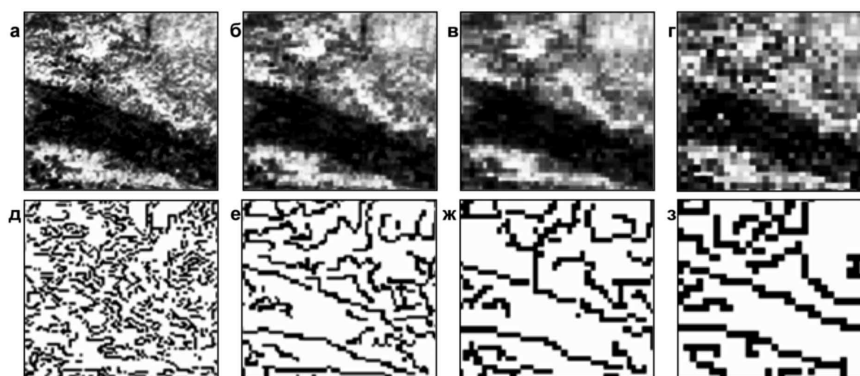


Рис. 1. Фрагмент космического снимка и выделенные на нём границы яркости при разрежении в 2 (а,д), 4 (б,е), 6 (в,ж) и 8 (г,з) раз

После выделения линеаментов на генерализованных снимках проводится их анализ с нахождением коэффициента разрежения и, соответственно, разрешения снимка, при котором пространственная связь выделенных линеаментов с распределением искомым или изучаемых объектов (например, эпицентров землетрясений, геологических границ, рудных тел и т.п.) является наиболее тесной. При этом предполагается, что природным объектам определенного типа соответствуют линеаменты одного пространственного ранга (размера).

Теснота связи между линеаментами и искомыми объектами может быть оценена различными способами. Так, если изучаемые объекты представляются точками, то наиболее просто оценить процент их попадания в зоны аномальных значений карты плотности линеаментов. Например, известно, что эпицентры землетрясений, а также многие рудные

объекты тяготеют к участкам повышенной плотности линеаментов. Определив процент известных объектов, попавших в зоны положительных аномалий плотности, можно априори оценить достоверность результатов линеаментного анализа космического снимка определенного разрешения. Рассчитав процент попавших в аномальные зоны объектов для снимков различной разреженности, можно выбрать один, отражающий наиболее тесную связь между линеаментами и искомыми объектами. Дальнейшие процедуры линеаментного анализа целесообразно применять именно к выбранному снимку.

Практические результаты

1. Прогнозирование землетрясений на территории Забайкалья.

Изучаемая сейсмоопасная территория, на которой в 2004-2008 года произошло несколько десятков землетрясений силой с магнитудами 2.0 и выше, занимает площадь более 260000 км². В качестве исходного использовался снимок одного из каналов спутника TERRA MODIS с пространственным разрешением 500 м (рис. 2,а), сделанный в июне 2007 года. Хорошо видно, что эпицентры землетрясений не рассеяны хаотично, а приурочены к относительно узким линеаментным зонам и, особенно, узлам их сочленений. Таким образом, имеется возможность оценить качество автоматического выделения линеаментов на КС путём подсчёта количества эпицентров, попадающих в зоны повышенной концентрации линеаментов. Для этой цели использовались эпицентры землетрясений, произошедших в период с января 2004 по июнь 2007 года.

Исходный снимок подвергся разрежению в 2, 3, 4 и 5 раз, после чего на соответствующих изображениях выделялись линеаменты и строились соответствующие карты плотности (рис. 2, б-е). Установлено, что количество эпицентров, попавших в зоны наибольшей плотности линеаментов, достигает максимума при использовании 4-кратно разрежённого снимка, что соответствует пространственному разрешению 2000 м. Выделенные на нём линеаменты, подвергались дальнейшей обработке. В скользящей окрестности размером 30км×30км рассчитывались различные пространственные характеристики – средняя длина линеаментов, количество их направлений, разнообразные статистики роз-диаграмм и др. [17]. Далее анализировалась теснота связи характеристик с эпицентрами землетрясений. Наибольшей она оказалась для характеристики, отражающей среднюю длину линеаментов линеаментов внутри окрестности. Карта распределения этого параметра характеризует общую сейсмоопасность территории и, как следствие, риск возникновения новых землетрясений (рис. 2, ж).

Возможность использования полученной карты для прогнозирования землетрясений подтверждается следующим фактом. Эпицентры землетрясений, отмеченные на рис. 2,а темными кружками, произошли после июня 2007 г, когда был сделан исходный космический снимок. Они не использовались при создании карты сейсмоопасности (рис. 2, ж), но практически все попадают в пределы её повышенных значений плотности, соответствующих потенциально сейсмоопасным участкам.

2. *Прогноз золоторудных объектов в Западном Узбекистане.* Изучаемое рудное поле, расположенное в условиях среднегорья, сложено, в основном, породами палеозойского возраста и характеризуется малой мощностью осадочной толщи. В пределах рудного поля площадью 98 км² известно более трех десятков рудных тел, имеющих промышленное значение. В качестве исходного использовался панхроматический снимок со спутника SPOT-4 с пространственным разрешением 10 м (рис. 3,а).

Ранее проведенные исследования [18] показали, что в пределах изучаемого рудного поля рудные тела тяготеют к участкам пересечения линейных разломных структур, в особенности, с азимутами 45 и 90°. Этот факт определяет возможность и целесообразность использования методов линеаментного анализа при поиске новых рудных объектов.

По описанной выше методике исходный снимок был разрезен в 2, 3 и 4 раза (рис 3, б-д). Анализ плотности линеаментов, выделенных на полученных изображениях, свидетельствует о предпочтительности использования снимка трехкратного разрежения, что соответствует пространственному разрешению в 30 м. В этом случае зоны повышенных значений плотности линеаментов контролируют максимальное число рудных тел несмотря на то, что площадь этих зон меньше, чем получаемая при других разрешениях (рис 3, г).

В дальнейшем выбранный снимок был, наряду с геолого-геофизическими материалами, использован при выполнении прогноза золоторудных объектов.

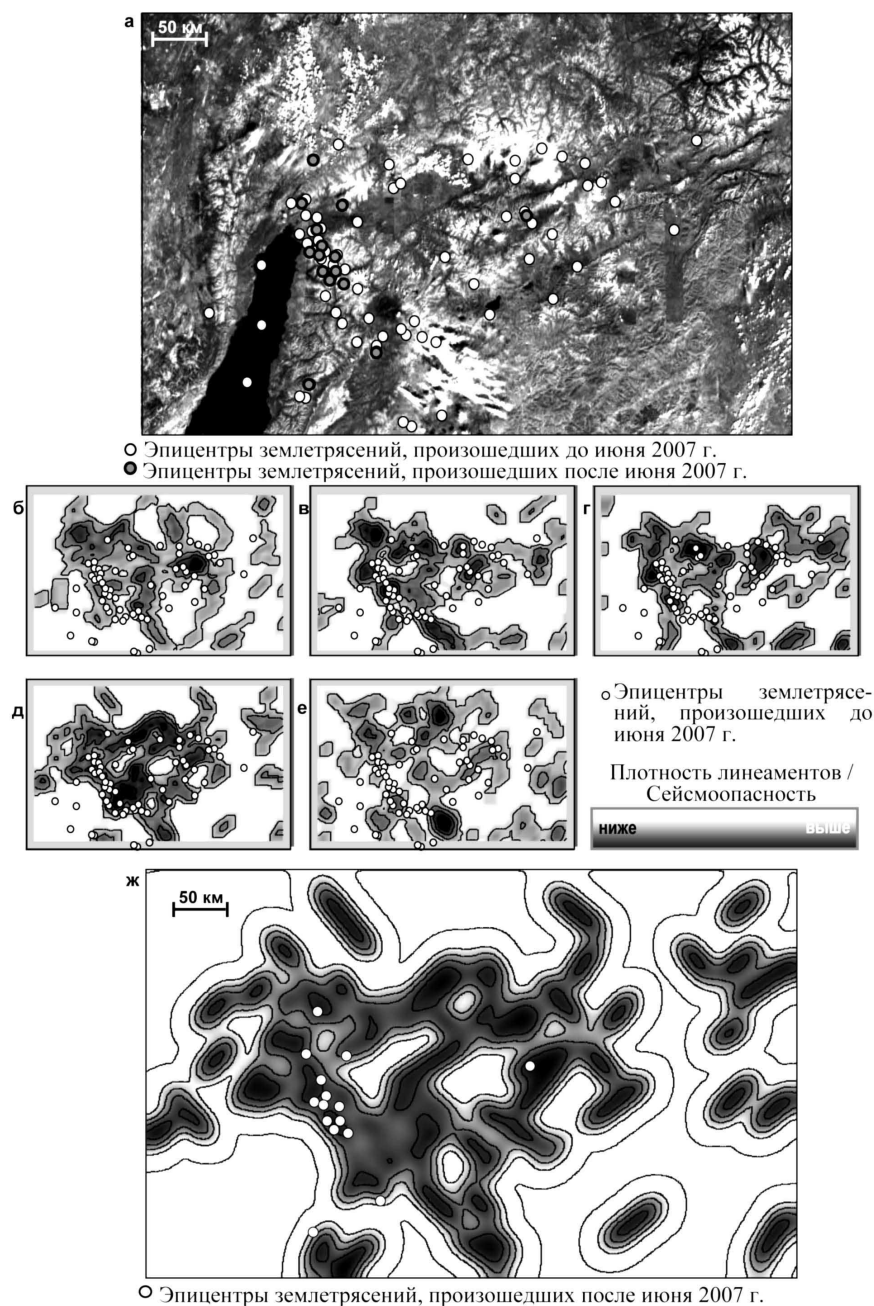


Рис. 2. Космический снимок (а), карты плотности линеаментов, выделенных на исходном (б) и разреженном в 2(в), 3(г), 4(д) и 5(е) раз снимке, и карта сейсмоопасности территории (ж)

Заключение

Анализ полученных результатов позволил сделать несколько выводов:

- при разных уровнях генерализации космического снимка выделяются различные линейные элементы, но распределение плотности линейных элементов при последовательном разрежении снимка в 2, 3, 4 и более раз изменяется не хаотически, а с определённой закономерностью;
- разрежение космических снимков и анализ получаемых изображений позволяет определить уровень генерализации, при котором взаимосвязь между выделяемыми линейными элементами и изучаемыми объектами максимальна;
- описанная методика позволяет эффективно изучать крупные геологические структуры, не имеющие на высокоточных космических снимках чётких яркостных границ;
- предварительный поиск квазиоптимального разрешения КС должен быть обязательным этапом выполнения линейного анализа, что позволит предотвратить потерю части полезной информации и снижение достоверности получаемых результатов.

Литература

1. Космическая информация в геологии // Под ред. В.Г. Трифонова, В.И. Макарова, Ю.Г. Сафонова, П.В. Флоренского. М.: Наука, 1983. 370 с.
2. Трегуб А.И. Разрывные нарушения в фундаменте и осадочном чехле территории Воронежского кристаллического массива (ВКМ) // Вестн. Воронеж. ун-та. Геология, 2000. Вып. 5(10), С. 7-15.
3. Короновский Н.В., Златопольский А.А., Иванченко Г.Н. Автоматизированное дешифрирование космических снимков с целью структурного анализа // Исследования Земли из космоса. 1986. №1. С. 111-118.
4. Busygin B., Nikulin S. The methodology of oil and gas deposits prognosis by space and geophysical data // 71st EAGE conference, 2009. – Amsterdam, The Netherlands. – 4 p.
5. Бусыгин Б.С., Никулин С.Л., Залесский В.В. Компьютерная технология поисков золота на юго-западном склоне Украинского щита // Наука та інновації. 2006. №3. С.80-91.
6. Иванов В.А., Полетаев А.И. Опыт линейного и палеотектонического анализов размещения бокситовых месторождений (на примере Северной части Туранской плиты)// Изв. ВУЗов. Геол. и разведка. 1988. №1. С.131–136.
7. Bondur V.G., Kuznetsova L.V. Satellite Monitoring of Seismic Hazard Area Geodynamics Using The Method Lineament Analysis // Proc. of 31 Int. Symp. on Remote Sensing of Environment, St.Petersburg. 2005.
8. Бондур В.Г., Зверев А.Т. Метод прогнозирования землетрясений на основе линейного анализа космических изображений // Докл. Академии наук. 2005. Т. 402, № 1. С. 98-105.
9. Гвишиани А.Д. Формализованный анализ линейных элементов в связи с задачей прогноза землетрясений / Экспериментальная сейсмология. // М.: Наука, 1983. С. 181-190.
10. Розанов Л.И. Геодинамический подход к дешифрированию космоснимков при решении задач нефтегазовой геологии // Геология нефти и газа. 1982. №6.
11. Корчуганова Н.И. Геологические структуры на космических снимках // Соросовский Образовательный Журнал. 1998. N10. С.60-67.
12. Zlatopolsky A.A. Texture orientation description of remote sensing data using LESSA (Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis) // Computers & Geosciences. 1997. vol. 23, № 1. P. 45-62.
13. Загубный Д.Г. Новая программа обработки векторных и растровых дистанционных материалов для ГИС // Исследование Земли из космоса. 2004. №5. С.21-27.
14. Пивняк Г.Г., Бусыгин Б.С., Никулин С.Л. ГИС-технология интегрированного анализа разнородных и разноуровневых геоданных // Докл. НАН Украины. 2007. №6. С.121-128.

15. *Canny J.* A Computational Approach to Edge Detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. Vol. PAMI-8. No. 6. P. 679-698.
16. *Duda R., Hart P.* Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures // Communications of the ACM. 1972. V. 15/1. P.11-15.
17. *Бусыгин Б.С., Никулин С.Л., Бойко В.А.* ГИС-технология поисков золота в Западном Узбекистане // Геоинформатика. 2006. №1. С.44-49.
18. *Бусыгин Б. С., Никулин С. Л., Бойко В.А.* Применение ГИС РАПИД для прогнозирования золоторудной минерализации по материалам космических съемок // Космическая наука и технология. 2008. Т. 14. С. 47-55.

Generalization of space images for increasing efficiency of geological problems solution using lineament analysis

B. Busygin, S. Nikulin

*National Mining University
49005, Dnepropetrovsk, Ukraine, K. Marx av., 19
E-mail: busyginb@nmu.org.ua*

The problem of quality and reliability improvement of space images lineament analysis results using a technique for discovering of quasi-optimal level of their generalization are considered. A number of practical examples of application of a technique are presented.

Keywords: satellite image, lineament, geological structure, generalization, optimum scale.