Линеаментный анализ

innoter.com/articles/lineamentnyy-analiz

Аннотация

В данной статье рассматривается применение линеаментного анализа в контексте геологических и нефтегазовых исследований. Обсуждаются основные преимущества и возможности этого метода, а также его роль в понимании структур поверхности Земли её окружающей среды. Анализируются преимущества использования ДЗЗ в линеаментном анализе. Рассматриваются примеры применения линеаметрии в конкретных сценариях геологических и нефтегазовых исследований.

Введение

Линеаметрия в дистанционном зондировании земли (ДЗЗ) представляет собой метод анализа, направленный на обнаружение, классификацию и измерение линейных объектов на поверхности Земли с использованием спутниковых снимков. Линейные объекты могут включают в себя различные геологические элементы, такие как горные хребты, разломы, границы различных геологических формаций, лавовые потоки, русла рек и многое другое.

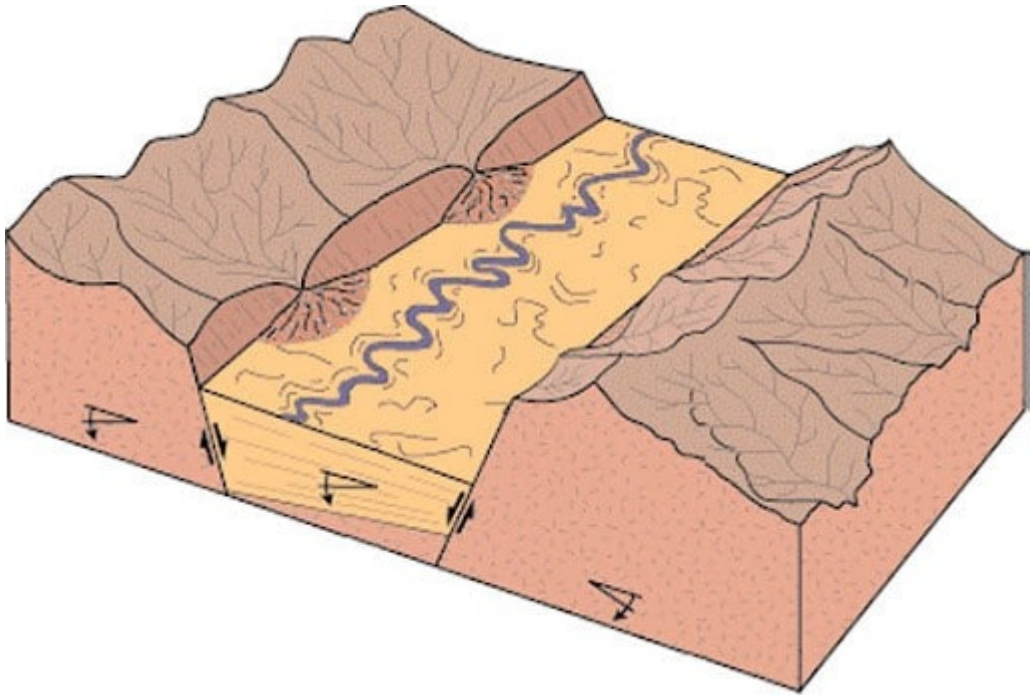

Рис. 1. Разломы земной коры

Области применения линеаментного анализа и роли

1. Линеаментный анализ используется для поиска месторождений полезных ископаемых, таких как металлы, нефть, газ, алмазы. Линейные структуры часто являются индикаторами возможных месторождений

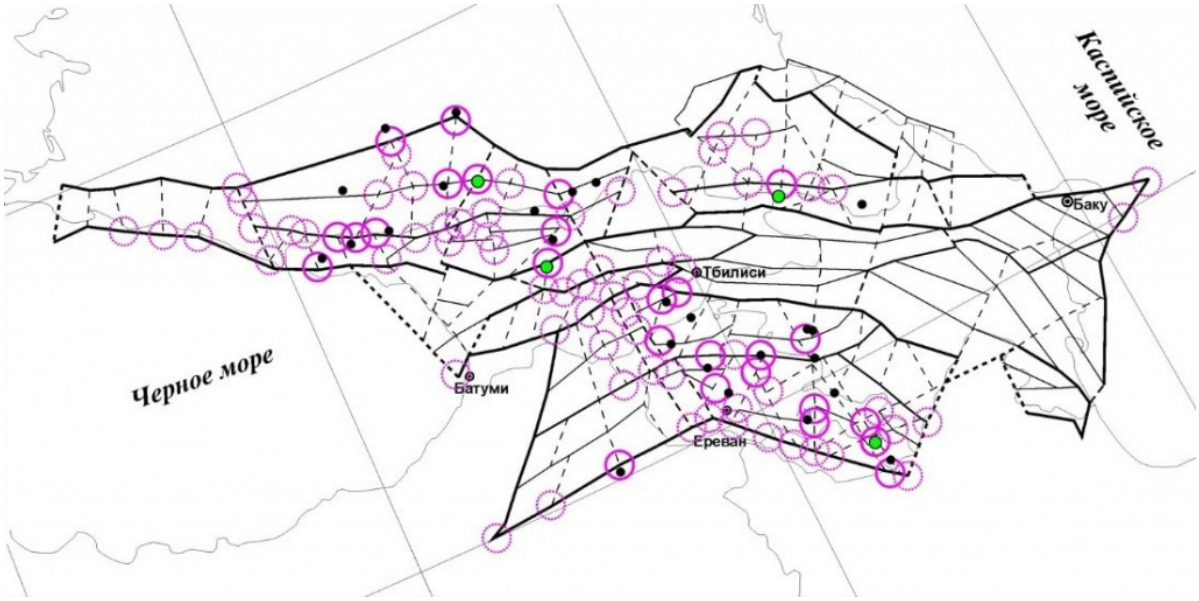

Рис. 2. Линеаментно-блоковое строение Кавказа и распознанные рудоносные узлы

2. Линеаментный анализ является важным компонентом для ГИС, позволяя создавать пространственные модели и карты, улучшая анализ и понимание геологических и геофизических карт.

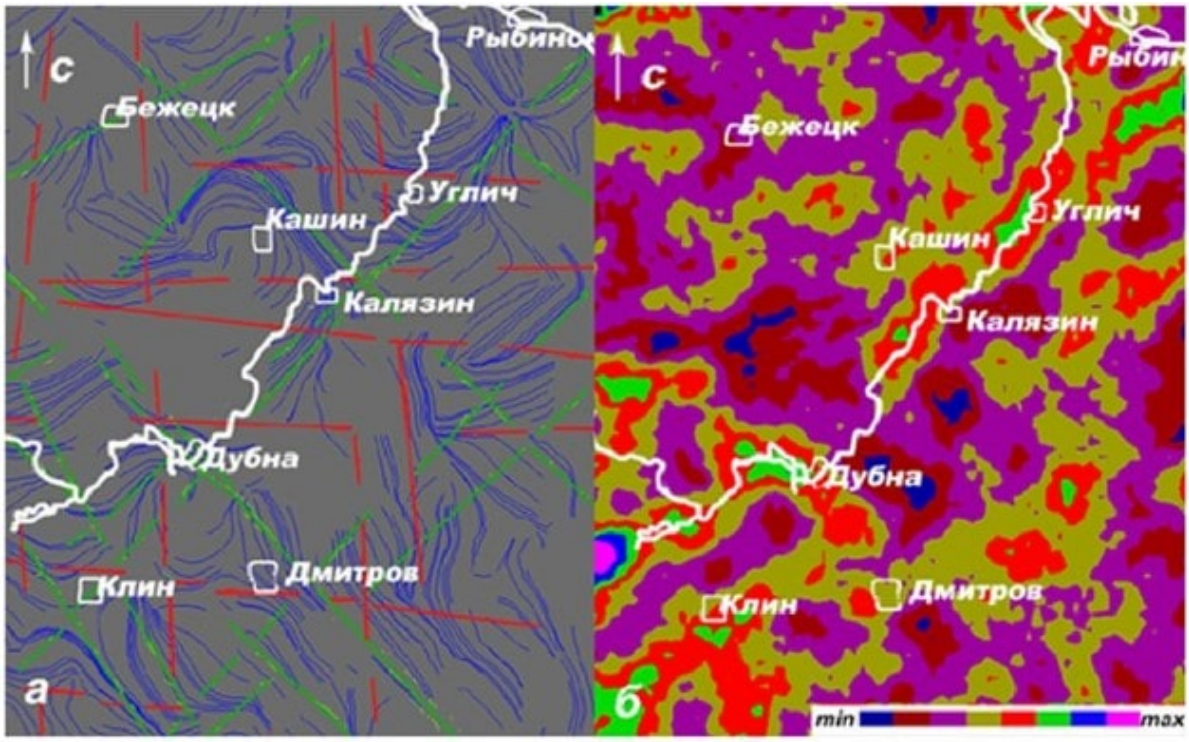

Рис. 3. Пример результата дешифрирования топокарты масштаба 1:100 000: слева – схема линеаментов ортогонального и диагонального простираний и линий вытянутости; справа – схема плотности линеаментов

3. В экологических исследованиях линеаментный анализ может использоваться для изучения влияния геологических структур на экосистемы и водные ресурсы, а также для прогнозирования естественных катастроф, таких как оползни и землетрясения. Также линеаментный анализ помогает в изучении деформаций земной коры, анализе сейсмической активности и прогнозирования опасных геологических явлений.

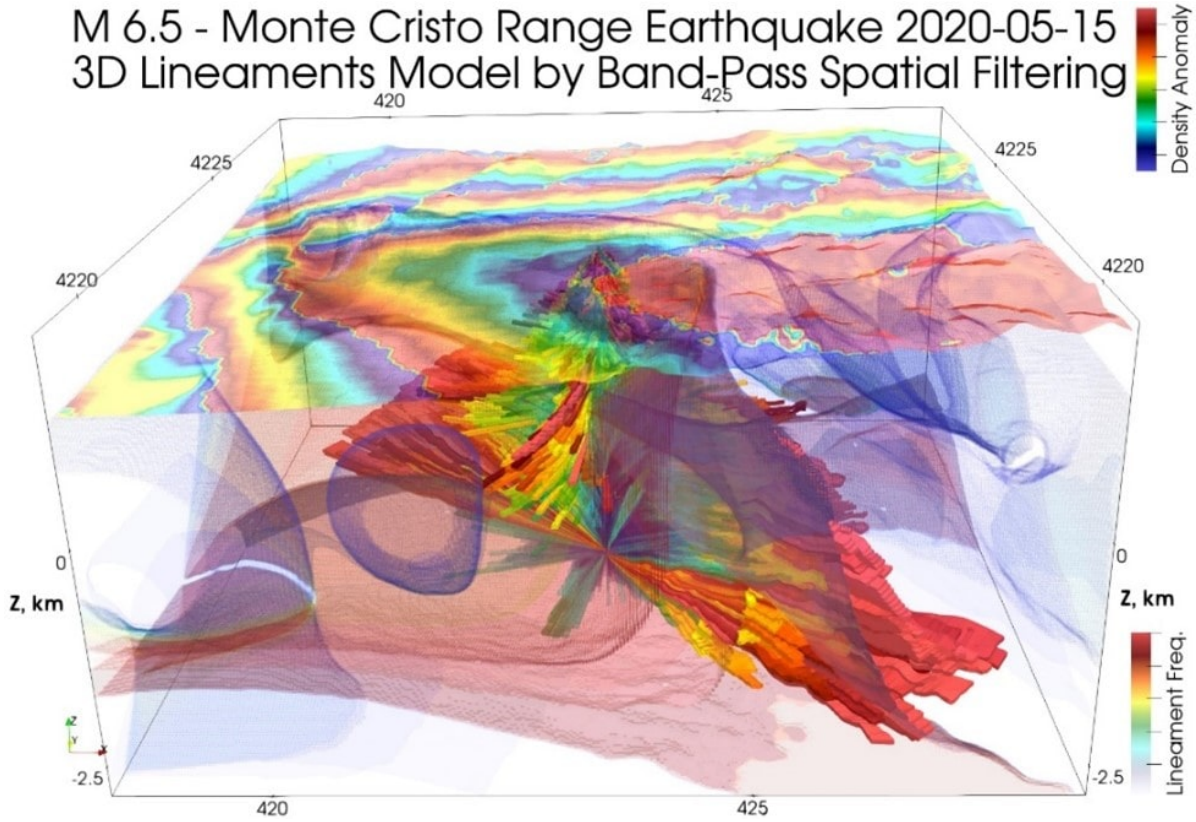

Рис. 4. 3D линеаментная геологическая модель землетрясения

4. В инженерной геологии линеаментный анализ помогает определять геологические риски при строительстве, планировании дамб, тоннелей и других инженерных объектов. Он также помогает в выборе оптимальных мест для размещения объектов инфраструктуры.

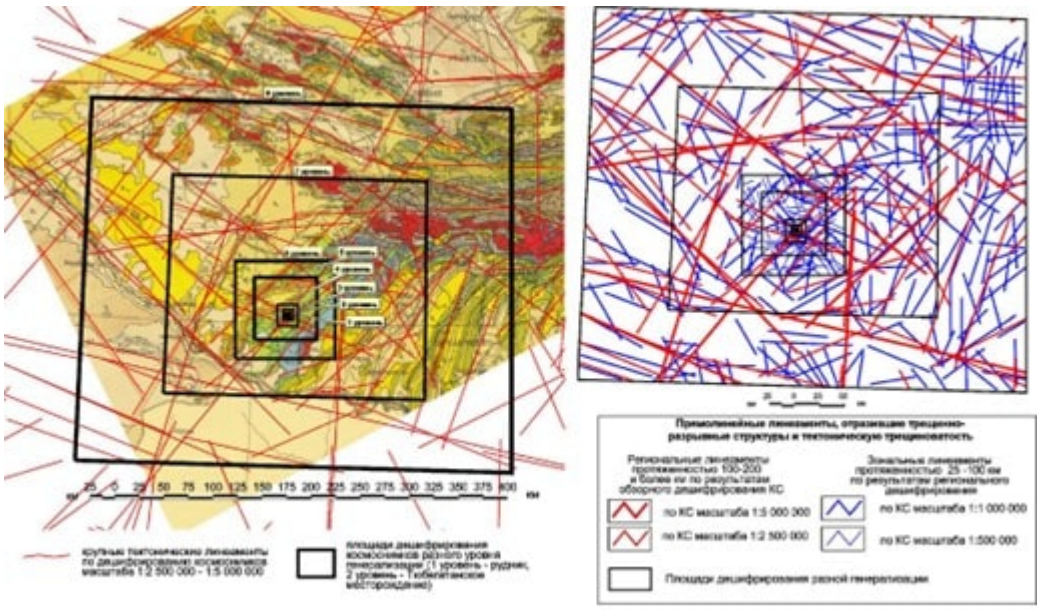

Рис. 5. Определение геологических рисков при строительстве с помощью линеаментного анализа

Линеаментный анализ в нефтегазовой промышленности

Линеаментный анализ в нефтегазовой промышленности с применением методов дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) является важным инструментом для изучения структурной геологии и поиска перспективных месторождений углеводородов. Использование аэрокосмических методов для обнаружения и исследования месторождений нефти и газа основано на уникальных особенностях земной поверхности. Так, вертикальное движение пластовых жидкостей, включая углеводороды, наиболее активно происходит в областях разломов и участков с повышенной трещиноватостью, которые могут проявляться как линеаменты и кольцевые структуры. Эти особенности могут быть выявлены с помощью многоспектральных и гиперспектральных космических изображений.

Процесс линеаментного анализа в нефтегазовой отрасли начинается с получения мультиспектральных снимков или гиперспектральных изображений с поверхности Земли. Эти данные представляют собой многомерные массивы, содержащие информацию о спектральных характеристиках поверхностей различных типов, включая горные породы, почвы, водные объекты и растительный покров.

На космических изображениях путем структурно-морфологического анализа выделяются геологические особенности, проявляющиеся в виде систем прямых и дугообразных линеаментов, а также овально-кольцевых образований. Структурноморфологические характеристики линеаментой сети, регистрируемые на

космических изображениях, отражают особенности глубинного строения литосферы. Они являются информативными признаками для оценки перспективных нефтегазоносных структур и оценки их углеводородного потенциала

Рис. 6. Характеристики штрихов Центрального Сахалина

Для автоматического выявления линейных структур и овально-кольцевых образований на космических изображениях часто используются методы компьютерного анализа линеаментов с применением различных программных инструментов, таких как LESSA(WinLESSA) от Александра Златопольского, pyLEFA (Lineament Extraction and Fracture Analysis), PCI Geomatics (CATALYST), Rockworks, и другие. Этот подход позволяет эффективно обрабатывать данные и выделять характерные признаки геологических структур под нефтегазовую и иную промышленность.

Линеаментный анализ в геологоразведке

Линеаментно-геодинамический анализ включает использование разнообразных методов, таких как геологическое и геоморфологическое картографирование, анализ дистанционных данных и другие методы для изучения полей тектонических трещин и геодинамической активности.

Процесс анализа начинается с создания исходной модели линейных объектов путем интерпретации данных многоспектральной аэрокосмической съемки. Затем проводится аппроксимация расчетных данных и ранжирование территории в зависимости от степени геодинамической активности. Далее строятся картографические модели с разным уровнем детализации.

Компьютерное космогеологическое дешифрирование снимков и обработка данных осуществляется на базе программного обеспечения ESRI – ARC GIS и его модулей. Сама методика заключается в выявлении по характеру фотоизображения различно ориентированных линеаментов, картировании неотектонических блоковых структур и морфоструктур с последующим сопоставлением их с геолого-геофизическими материалами. Компьютерное дешифрирование выполняется путём системного анализа разного масштаба от мелкого – к крупному.

Рассмотрим пример дешифрирования многоспектральных аэрокосмических снимков на территории Пермского Приуралья, где обнаружена сеть основных прямолинейных линейных структур различных направлений. Данные структуры отражают активизированные в последнее время узкие субвертикальные зоны трещинно-разрывных структур и области тектонической трещиноватости в палеозойском осадочном чехле и фундаменте. Всего выделено 48 946 линейных структур, которые по длине разделены на 5 таксономических уровней.

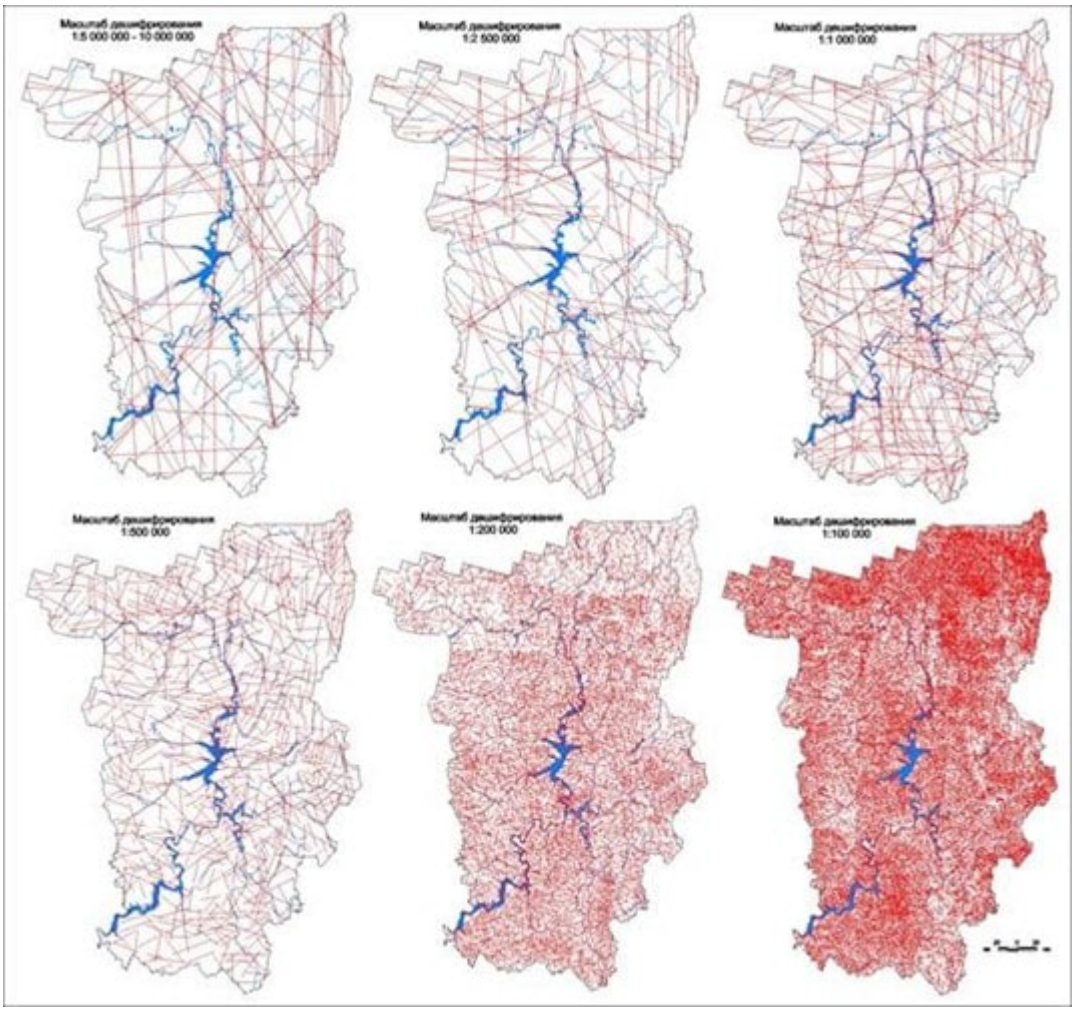

Рис. 7. Схемы линеаментных полей разного масштаба Пермского Урала и Приуралья

Ранги линеаментов	Протяженность прямолинейных линеаментов, км	Масштаб дешифрирования КС	Количество линеаментов
региональные большой протяженностью	200-1110	1:10 000 000 1:5 000 000	143
региональные значительной протяженностью	100-200	1:2 500 000	196
зональные	25-100	1:1 000 000 1:500 000	1400
локальные	5-25	1:200 000	7056
локальные и короткие	1-5 (до 10)	1:100 000	40151

Рис. 8. Результаты дешифрирования линеаментов на территории Пермского края

Далее, при оценке геодинамической активности территории, учитывается плотность линеаментов и мегатрещиноватости, ранжированные на 6 градаций с учётом баллов статистического распределения по интенсивности. Неоднородность в данном показателе обусловлена блоковой тектоникой и дифференцированными неотектоническими движениями. Имеются многочисленные небольшие по площади аномалии с повышенной и высокой степенью интенсивности, характерные для участков границ неотектонических блоковых структур. Большинство глубинных разломов проявляются на космических снимках линеаментами, они пространственно совпадают с их осевыми линиями, либо параллельны им. Можно выделить четко выраженную систему из пяти основным субмеридиальных разломов Пермского Приуралья и Урала, включая Главный Уральский разлом.

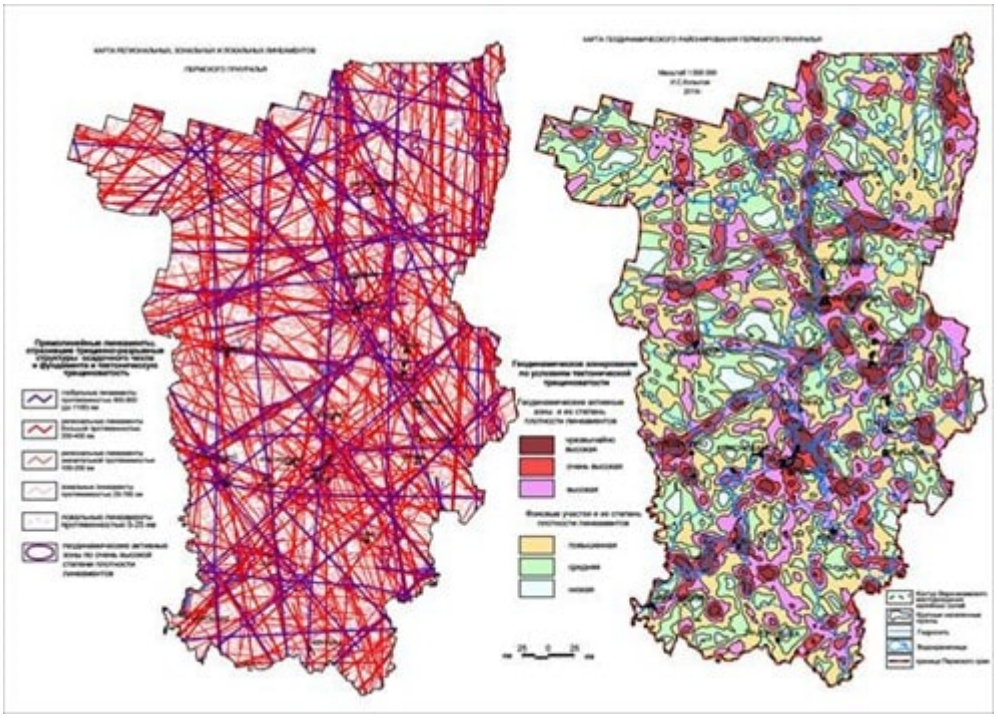

Рис. 9. Пример линеаментно-геодинамического анализа Пермского Урала и Приуралья

Полученные результаты имеют большое значение для оценки геологической безопасности городов и горнопромышленных районов с подработанными участками, районов карстовой безопасности, где геодинамическая активность наиболее опасна.

Как проходит процесс линеаментного анализа

Процесс линеаментного анализа начинается с получения спутниковых снимков или изображений с помощью средств дистанционного зондирования, таких как спутники Landsat, Sentinel, Modis и другие. Эти снимки могут быть мультиспектральными или гиперспектральными, что позволяет исследователям получать информацию о различных типах поверхностей и материалов.

Далее с использованием специализированных программных средств LESSA(WinLESSA) и алгоритмов обработки изображений проводится выделение и классификация линейных геологических объектов на изображении. Это включает в себя выделение границ горных хребтов, определение линий разломов, лавовых потоков, русел рек и других геологических структур.

LESSA(WinLESSA) - это одна из программ, с помощью которой производится автоматизация линеаментного анализа в геологических исследованиях разного типа – изображений, схем, цифровых моделей рельефа. Данный инструмент позволяет получить численное описание текстуры этих данных.

Первым шагом работы в программе является загрузка исходных данных. Далее пользователь вводит необходимые расчёты и параметры, затем выполняются расчёты. После выделения и классификации линейных объектов происходит их анализ и измерение. Это может включать в себя определение длины, ширины, ориентации, уклона и других характеристик геологических структур. Эти изображения можно просматривать по отдельности, накладывать друг на друга, либо на другое добавленное в программу растровое изображение.

Процесс включает несколько ключевых этапов:

1. Бинаризация изображений. Преобразование изображений в черно-белые по экстремумам яркости для упрощения анализа. Это помогает выделить контрастные области, которые могут указывать на линейные структуры.
2. Фильтрация. Применение фильтров, таких как фильтр Собеля или Канни, для выявления границ и контуров объектов. Эти фильтры анализируют градиенты яркости на изображении, помогая выделить линейные объекты.
3. Выделение контуров. Алгоритмы компьютерного зрения идентифицируют линейные структуры, такие как разломы, на основе контрастов и текстурных особенностей изображения. Это может включать применение методов анализа текстур и морфологических операций для выделения линейных элементов.

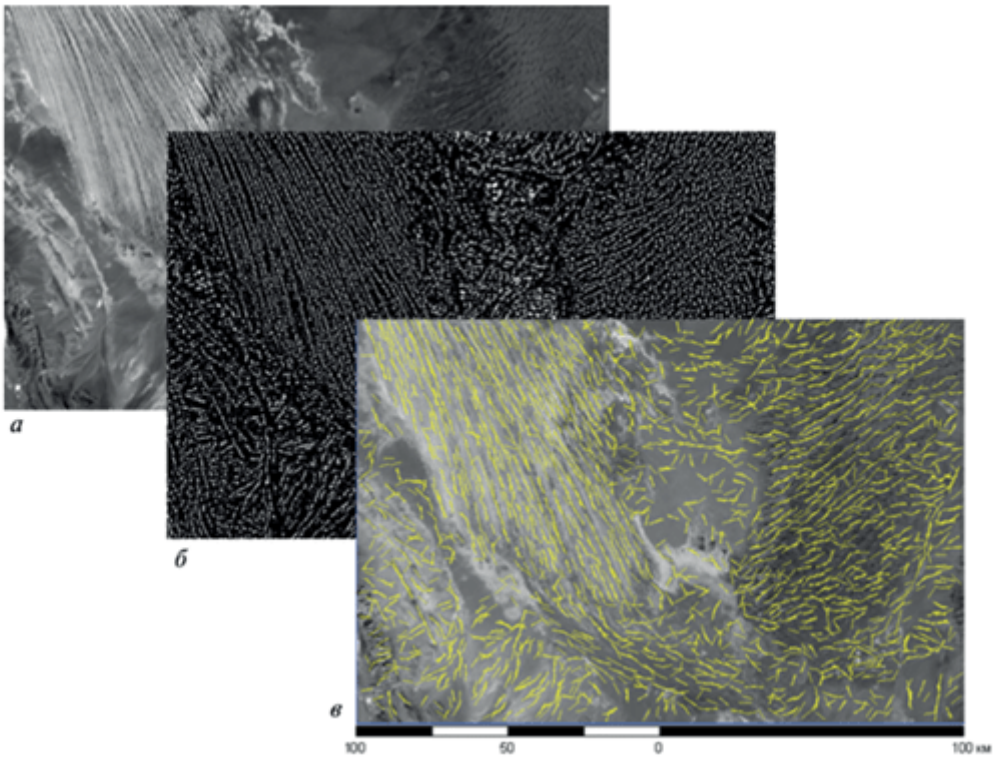

Рис. 10. Исходное изображение Modis (а), бинаризация по экстремумам яркости (б), схема выделенных линейных элементов (в)

После выделения линейных объектов происходит их анализ и измерение:

1. Ориентация: вычисляется на основе угла наклона линейных объектов к северу.
2. Длина: определяется с помощью геометрических методов, измеряя протяженность линейных структур.
3. Ширина: оценивается по ширине градиентов яркости.
4. Угол наклона: вычисляется по отношению к горизонтальной плоскости, используя данные цифровой модели рельефа.

После выполнения расчётов создаётся маска из нарисованных областей, а также из областей, автоматически созданных по диапазону яркости. Окончательный результат настраивается индивидуально, в зависимости от нужной яркости, плотности и остальных параметров.

Полученные данные используются для создания геологических карт и моделей рельефа, а также для прогнозирования геологических процессов, таких как обвалы, сейсмическая активность и т.п.

Преимущества линеаментного анализа при использовании ДЗЗ

- Современные спутниковые снимки обладают высоким разрешением, что позволяет с высокой точностью обнаруживать нужные объекты и проводить их анализ.

- ДЗЗ позволяет получать данные о линеаментах на больших территориях, что делает этот метод идеальным для глобального мониторинга и анализа.
- Использование ДЗЗ для линеаметрии позволяет сократить время и затраты на полевые исследования, что делает процесс более эффективным и экономически выгодным. Это важно при сравнении результатов и выполнении многократных измерений на различных временных интервалах.
- Данные ДЗЗ помогают выявлять линейные структуры, такие как разломы, складки, гряды и другие структурные элементы. Это важно для понимания геологической и тектонической истории регионов.
- ДЗЗ обеспечивает возможность мониторинга изменений в линейных структурах со временем. Это полезно для анализа динамики геологических процессов, таких как землетрясения, оползни и другие геологические явления.
- Данные ДЗЗ могут быть объединены с другими источниками геологической информации, например, с геофизическими данными или с геологическими картами для создания более полной картины геологических особенностей региона.

Текущие ограничения линеаментного анализа

1. Даже с высоким разрешением изображений ДЗЗ, точность привязки данных может оставаться на относительно невысоком уровне, что ограничивает точность и надежность выявления линейных структур. Несмотря на значительное улучшение в разрешении современных снимков ДЗЗ, некоторые мелкие линейные структуры могут оставаться незамеченными из-за ограничений в разрешающей способности.
2. Рельеф местности и наклон поверхности могут создавать искажения на изображениях, что затрудняет корректное выделение и интерпретацию линейных структур. ДЗЗ не всегда может чётко разграничить природные линейные структуры, например, геологические разломы, от путей, дорог и других антропогенных объектов.
3. Несмотря на достижения в области машинного обучения и автоматизации анализа изображений, полностью автоматическое выделение и классификация линейных структур всё еще представляет вызов, особенно в случае геологической обстановки. Результаты, полученные в результате линеаментного анализа по данным ДЗЗ, обычно требуют верификации и уточнения на местности для подтверждения их природы и значения.

Перспективы применения в будущем

1. Линеаментный анализ применяется для поиска полезных ископаемых, таких как золото, медь, нефтегазовые и другие ресурсы. Линейные структуры служат важными путеводными маяками для геологоразведочных работ.
2. Линеаментный анализ может помочь в поиске месторождений горячих источников, что имеет большое значение для производства чистой и экологичной энергии.

3. Линейные структуры могут быть важны для инженерных и строительных работ, позволяя учитывать геологические особенности при проектировании и строительстве инфраструктуры.
4. Анализ линеаментов помогает понять динамику земной коры, возможные тектонические процессы и сейсмическую активность.
5. Линеаментный анализ может использоваться для мониторинга и предсказания влияния природных катастроф, например, оползней, землетрясений, на окружающую среду.

Заключение

В заключение к статье на тему «Линеаментный анализ» можно подчеркнуть важность этого метода и его широкий спектр применения в различных областях науки и промышленности. Линеаментный анализ является мощным инструментом для выявления и анализа линейных структур в геологических образцах или на поверхности Земли. От геологии и геоинформационных систем до инженерных и экологических наук, линеаментный анализ играет ключевую роль в понимании структурной геологии, поиске ресурсов, оценке рисков и оптимизации строительных проектов.

Современные методы обработки данных и технологии геоинформационных систем делают линеаментный анализ более точным, эффективным и доступным для исследователей и инженеров. Дальнейшее развитие линеаментного анализа позволит углубить понимание геологических процессов, повысить эффективность поиска ресурсов, минимизировать риски при проектировании инфраструктуры и улучшить стратегии охраны окружающей среды.

Специалисты ООО «ГЕО Иннотер» как правило не ограничиваются одним линеаментным методом при решении геологических задач, и используют его в совокупности с другими методами. Ключевая экспертиза на начальном этапе – сбор материалов для анализа. Неоптимально подобранные материалы ДЗЗ изначально ограничат потенциальный результат дешифрирования и тематического анализа. Команда ИННОТЕР с 2000г осуществляет подбор данных ДЗЗ и их дешифрирование в интересах конечных Заказчиков, а также множества партнеров в отраслях геологоразведки и анализа сейсмической активности.