

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛИНЕАМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ РАДАРНЫХ СНИМКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММА LESSA (НА ПРИМЕРЕ БУКАНТАУССКИХ ГОР)

**Асадов Акмал Рузимуродович**

*кандидат геолого-минералогических наук, доцент Университета геологических наук [akmal73@gmail.com](mailto:akmal73@gmail.com)*

**Аннотация:** Одним из основных методов автоматизированная дешифрирования космических снимков является линеаментный анализ. В данной работе линеаментный анализ произведен с применением программы LESSA. В результате получены статистические данные по линеаментам, такие как, розы, линии вытянутости, плотности линеаментов и составлена карта линеаментов Букантаусских гор. Эта карта позволяет детально изучить разрывные нарушение данного региона, связанные с зоной минерализации.

**Ключевые слова:** цифровые модели рельефа, бинарное изображение, LESSA, линеаменты, роза линеаментов, плотности линеаментов, карта линеаментов.

### ВВЕДЕНИЕ

На всех космических снимках (КС) независимо от геологического региона выделяются линейные объекты. Линейные объекты на КС называют линеаменстами. Линеаменты, в географическом отношении выделяемые как спрямленные участки водотоков, хребты водоразделов, в геологическом отношении являются зонами трещиноватости, разломами, т.е. участками тектонической нарушенности проницаемыми для магмы флюидов, а значит являющимися перспективными зонами для обнаружения месторождений полезных ископаемых.

Линеаменты как объекты геологического картирования обладают геологическими и геоморфологическими и др. признаками. Геологические признаки линеаментов представляют собой выходы на земную поверхность разрывных нарушений и их прямых картировочных признаков: собственно разломов и трещин, трещиноватых, рассланцеванных, кливажированных горных пород, даек и жил и т.п., трассирующиеся линеаменстами. К числу дополнительных геологических и гидрогеологических признаков, подтверждающих существование дизъюнктивов, относятся проявления магматитов (гипабиссальных, вулканитов), залежи гидротермально-метасоматических пород и руд, грязевые вулканы, источники термальных и минеральных вод, выходы подземных вод трещинного типа, которые образуют в плане пространственно обособленные линейные зоны распространения.

Геоморфологические признаки линеаментов – это следы дизъюнктивных дислокаций земной коры на ее поверхности, представленные пространственно упорядоченными линейно ориентированными формами рельефа. Преимущественно

это отрицательные формы рельефа – рифтовые континентальные и океанические впадины, эрозионно-структурные депрессии или их элементы, речные долины или их отрезки, каньоны, ложбины и овраги. К положительным формам рельефа, напрямую или косвенно, отражающим линейную ориентировку тектонических структур, относятся срединно-океанические хребты, сводово-глыбовые и ступенчатые поднятия, вытянутые в одном-двух направлениях цепочки вулканических островов, возвышенностей вулканического происхождения и гор-лакколитов, горные хребты и водоразделы, линейно ориентированные скальные останцы, уступы и т.п.

Линеаментный анализ – эффективный комплекс геоморфологических, геологических, дистанционных и других методов геологического картирования. Предметом линеаментного анализа обычно является схема линеаментов, представляющая собой множество отдешифрованных на материалах ДЗЗ линеаментов. Традиционно, схемы линеаментов строятся вручную, на основе визуального дешифрирования космических снимков.

В настоящее время существует широко распространённых программных комплексов ERDAS IMAGINE, ENVI, Geomatica и программы, разработанные ведущими специалистами, основанные на авторских технологических схемах, такие как, LESSA, LINEAMENT, ALINA для автоматизированного дешифрирования линеаментов с последующим упорядочением, объединением и статистическим анализом. Статистический анализ включает в себя построение набора карт статистик распределения линеаментов, таких как плотность, главные направления линеаментов и др [1-12].

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Алгоритм автоматического построения линеаментов является одним из алгоритмов распознавания образов, отличается сложностью и поэтому требует значительных вычислительных ресурсов. Упрощенная схема алгоритма такова - изображение бинаризуется (т.е. превращается в двухградационное черно-белое изображение), затем для каждой пары точек изображения строится отрезок, соединяющий их, собирается статистика по всем точкам изображения, принадлежащим этому отрезку, и, по определенным правилам принимается решение - является ли рассматриваемый отрезок линеаментом.

В данном исследовании произведена апробация методики автоматизированного выделения линеаментов Букантауских гор с применением программа LESSA. В качестве исходных данных использовались радарные космические снимки Aster DEM (рис.1).

Входными данными могут быть полутоновые изображения, бинарные изображения и цифровые модели рельефа в виде радарные снимки (Aster DEM). Анализ построен на выявлении линейных элементов рельефа – штрихов. Для полутоновых изображений штрихами будут границы однородных областей, для цифровых моделей рельефа – оси долин и хребтов. Программа выделяет штрихи

восьми различных простираний. Есть два пути для их дальнейшего анализа. Первый – статистический анализ штрихов. Он позволяет строить псевдоцветные изображения (поля) плотности штрихов различных простираний, вытянутость роз-диаграмм штрихов, близость роз-диграмм к кресту, отличие друг от друга и тд. Второй – построение протяженных линеаментов. Полученные штрихи объединяются в спрямленные линии в зависимости от их простирания.

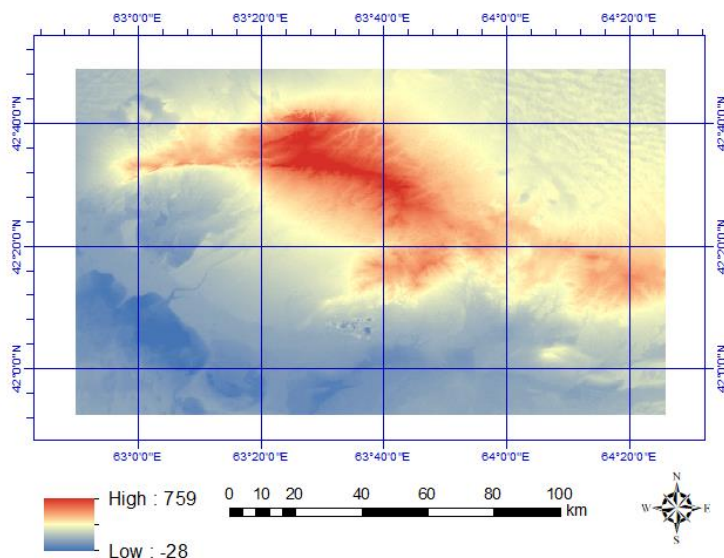


Рис.1. Цифровая модель рельефа Букантаусских гор по Aster DEM

Однако, полученные таким образом линии требуют дальнейшей экспертной оценки, и являются не более чем подсказкой о расположении линеаментов.

Основу линеаментного анализа составляют линейные элементы изображения (штрихи). Программа LESSA автоматически выявляет их и определяет направление (8 направлений). В бинарном изображении штрихи - это границы однородных областей и/или линии, которые должны быть достаточно длинные и прямые. В цифровых моделях рельефа определяются и анализируются оси долин и хребтов. Существенная особенность работы с ЦМР состоит в том, что в анализе участвуют только элементы рельефа и исключены яркостные аномалии, обусловленные другими источниками (растительность, техногенные объекты) (рис2.).

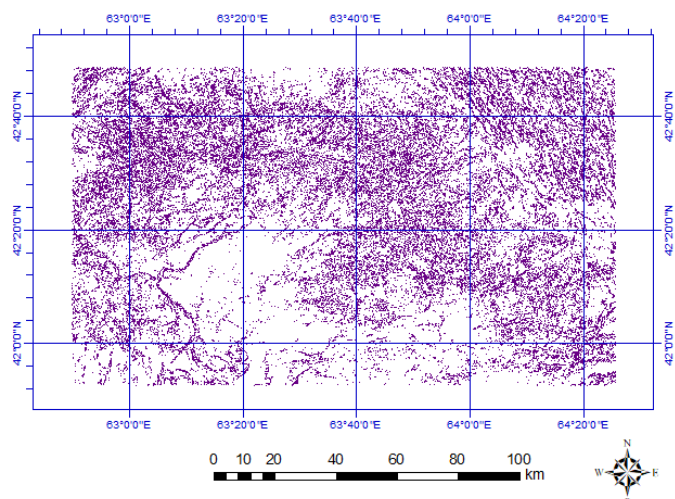


Рис.2. Линеаменты короткие (штрихи)

Сквозные линеаменты, линии вытянутости и роз-диаграмм соответствуют морфоструктурным линеаментам 1-го и 2-го рангов соответственно. Для выявления разломов и блоков более высоких рангов целесообразно использовать поля роз-диаграмм штрихов и плотности штрихов различных простираний (рис.3 и 4).

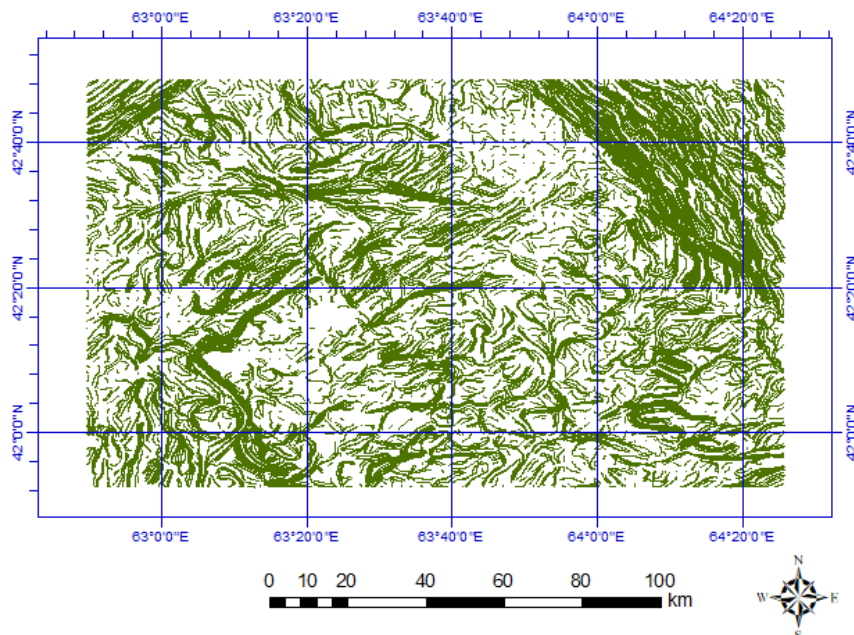


Рис.3. Линии вытянутости линеаментов

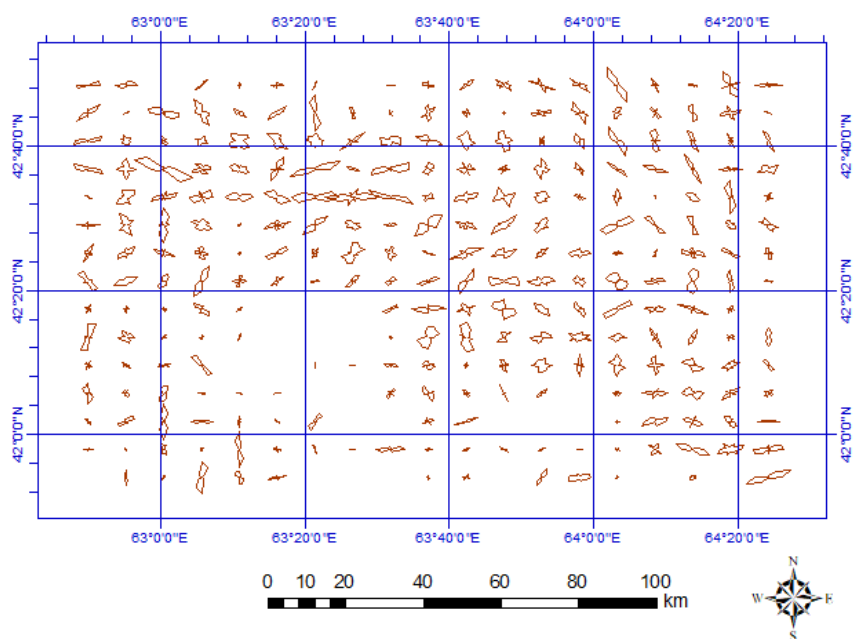


Рис.4. Роза диаграмма линеаментов

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате автоматизированного линеаментного анализа радарной снимки выявлено статистические показатели линеаментов и проведен сравнительный анализ результатов. Построена карта плотности линеаментов как для общей (по всем простираниям), так и для каждого простирания отдельно. На рисунке 5 показана плотность линеаментов исследуемой территории. Цветовая шкала интенсивности

соответствует переходам от максимальной интенсивности (190-260), присутствующей на данном изображении, к минимальной (1-47).

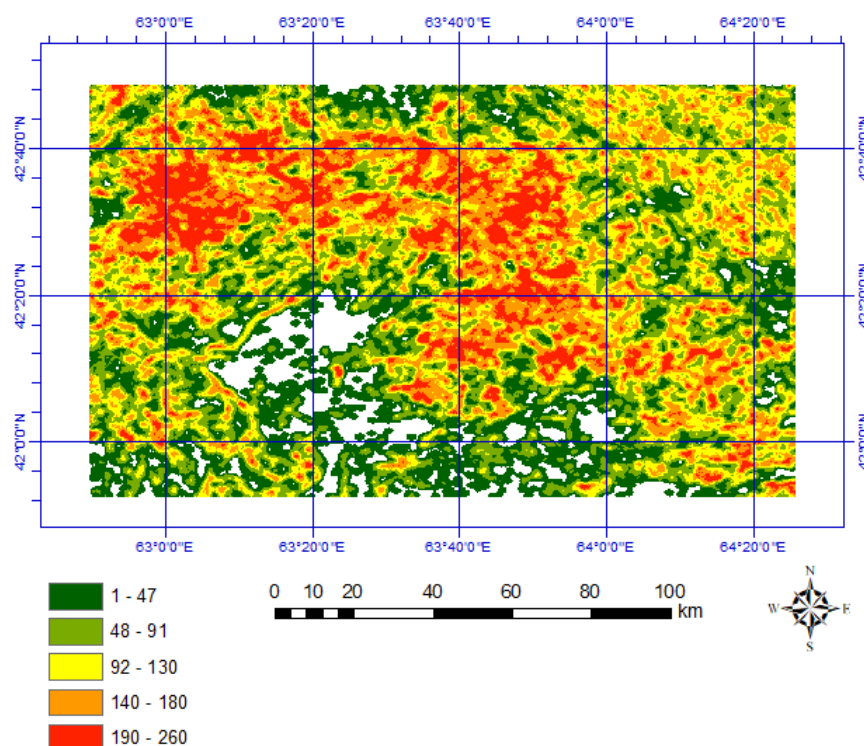


Рис.5. Карта плотности линеаментов

Карта построена по принципу топографической поверхности - то есть границы только соседних интенсивностей друг друга, подобно картам на изолиниях. Таким образом, можно использовать прямые участки с большими уклонами. интерпретируются как тектонические нарушение. Участки с максимальной интенсивностью соответствуют либо областям поднятия с интенсивно врезанные небольшие ручьи или сильно изрезанные горные хребты, сохранившиеся от эрозии. Провисающие фрагменты территории, покрытый аккумулятивными отложениями, характеризуются минимальные значения полос.

При анализе полученных данных были выделены линейные элементы изучаемого региона, представляющие собой разломы разных порядков, зоны региональной и локальной трещиноватости. На рисунке представлена карта линеаментов Букантаусских гор. Большинство линеаментов имеют широтное направление, что соответствует ориентации разломов, представленных на геологических и других картах региона.

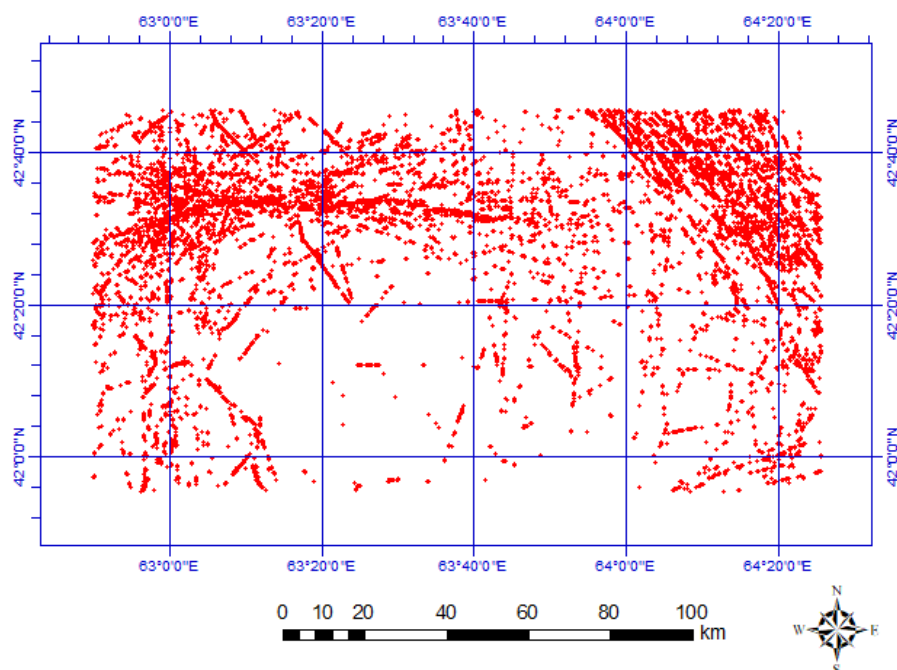


Рис.6. Карта линеаментов Букантаусских гор

Линеаменты, ориентированные в направлениях северо-юг и северо-запад, указывают на блоковое строение исследуемой территории и требуют дальнейшего детального изучения.

Таким образом, в результате автоматизированного анализа ЦМР и космических изображений выявляются линеаменты разных типов. При использовании ЦМР выявляются в основном продольные линеаменты. При использовании космических изображений по ландшафтным индикаторам выявляются в основном секущие линеаменты, осложняющие основные геологические структуры.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Asadov A.R. Lineament analysis of the DEM in Auminzatau mountains using the LESSA program // *ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal*. <https://saarj.com> Vol. 11, Issue 2, February 2021. P. 1360-1367.
2. Asadov A.R. Methodology of obtaining and estimation of temperature image of the Bukantau mountains // *ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal*. <https://saarj.com> Vol. 10, Issue 12, December 2020. P.814-821.
3. Asadov A.R., Akhmadov Sh.I., Tulyaganova N.Sh., Almardonov A.R. Creation of the GIS Project of Bukantau Mountains (Uzbekistan) // *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*. Vol. 7, Issue 2, February 2020. P. 12901-12906.
4. A.R. Asadov, SH.I. Akhmadov, A.B. Goipov, Z.M. Musakhonov, A.R. Almardonov. Creation of a spectral library of rocks and minerals of the Bukantau mountains (Central Kyzilkum). DOI 10.5281/zenodo.7271174. *The Seybold Report Journal (TSRJ)*. 17 (№10(2022).), P.1856-1864.

5. Asadov A.R., Tulyaganova N.Sh. // Using Hough Transformation for Detection of Linear Geological Structures in Satellite Images // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 6, Issue 12, December 2019. P. 11942-11946
6. Кац, Я.Г. Основы линейной тектоники [Текст] / Я.Г. Кац, А.И. Полетаев, Э.Ф. Румянцева // М.: Недра. – 1986. – 144 с.
7. Zlatopolsky A.A. // Description of texture orientation in remote sensing data using computer program LESSA // Comput. Geosci. – 1, Vol. 23. – 1997. -pp. 45–62.
8. A.A. Zlatopolsky // Program LESSA (Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis) automated linear image features analysis-experimental results // Comput. Geosci. -9, Vol. 18. – 1992. pp. 1121–1126.
9. Златопольский А.А., Малкин Б.В. // Автоматизированный анализ ориентационных характеристик данных дистанционного зондирования (программа “LESSA”) - «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» // - М. -2006. - стр. 188-195.
10. А.А. Златопольский // Методика измерения ориентационных характеристик данных - Пятая Юбилейная Открытая Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, ИКИ РАН, 12-16 ноября 2007
11. Златопольский А.А. // Особенности определения направления естественных объектов и текстур по растровым дистанционным данным - «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Т. 4. // – М. : -2007. - стр. 52–56.
12. М.М.В. Щепин // ALINA Автоматизированный анализ изображений аэрокосмических фотопланов // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса: Сборник научных статей. - Т. 3. - стр. 143–146.