

КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Институт геологии и нефтегазовых технологий
Кафедра геофизики и геоинформационных технологий

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ
ЛИНЕАМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ**

Учебно- методическое пособие

**Казань
2012**

УДК 550.8

Авторы-составители

канд. геол. мин. наук, доц. И.Ю. Чернова
асс. И.И. Нугманов,
апс. Р.И. Кадыров

Научный редактор

доктор геол. мин. наук, проф. Д.К. Нургалиев

Рецензент

канд. геол. мин. наук, доц. Д.И. Хасанов

Название: Учебно-методическое пособие «Автоматизированный
линеamentный анализ» / И.Ю. Чернова, И.И. Нугманов, Р.И. Кадыров
– Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2012. –
38 с.

Методическое пособие предназначено магистров института геологии и нефтегазовых технологий КФУ по направлению 020700 - Геология. Пособие может быть использовано при проведении практических занятиях по курсам «Геоморфологический и космогеологический анализ» и «Основы обработки ДДЗ». В пособии представлены теоретические основы линеamentного анализа, описаны основные этапы традиционной (визуальной) методики дешифрирования линеamentов и мегатрещин. Далее дана детальная инструкция по применению ПО LESSA для автоматизированного линеamentного анализа. Предполагается, что студенты уже изучили курс «Геоинформационные системы в геологии» и владеют базовыми понятиями ГИС, а также знакомы с интерфейсом и основными функциями ГИС ArcGIS.

© Казанский федеральный
университет, 2012

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛИНЕАМЕНТНОГО АНАЛИЗА

Определения.

Линеаментный анализ – эффективный комплекс геоморфологических, геологических, дистанционных и других методов геологического картирования и мониторинга опасных геологических процессов.

Базовыми объектами анализа является линеаменты. Термин «линеамент» (от лат. *lineamentum* - линия, черта, контур) был введен в литературу американским геологом У. Хоббсом в 1911 г. для обозначения вытянутых в одном направлении линейных элементов рельефа и геологической структуры. В настоящее время в геологической и геоморфологической литературе наиболее часто встречаются следующие определения линеаментов:

- 1) крупнейшие линейные или дугообразные элементы рельефа, генетически связанные с глубинными разломами [1];
- 2) региональные линейно ориентированные элементы структуры и рельефа земной коры, длина которых во много раз превышает ширину [2];
- 3) линейно ориентированные формы рельефа и другие элементы ландшафта, соответствующие обычно зонам повышенной трещиноватости в отложениях осадочного чехла и разломам в фундаменте [2];
- 4) выдержанные по направлению прямолинейные элементы рельефа и ландшафта, обычно связанные с трещинами и разломами в земной коре [3].

К линеаментам следует относить мысленно проводимые по набору диагностических признаков линии, соответствующие линиям пересечения плоскостей разрывных нарушений с выбранными плоскостями сечения на геолого-геоморфологических картах, разрезах, блок-диаграммах, схемах и моделях.

Диагностические признаки и классификация линеаментов

Линеаменты – объекты геологического картирования. Они обладают набором диагностических признаков: прямых геологических и геоморфологических, дополнительных геологических, гидрогеологических, геохронологических, геофизических, косвенных физико-географических, геохимических, ботанических и др.

Геологические признаки линеаментов представляют собой выходы на земную поверхность разрывных нарушений и их прямых картировочных признаков: собственно разломов и трещин, бластомилонитов, трещиноватых, рассланцеванных, кливажированных горных пород, даек и жил и т.п., трассирующиеся линеаментами. 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, увалы и водоразделы, линейно ориентированные скальные останцы, уступы (эскарпы) и т.п [4-5].

Крупные разломы земной коры на дневной поверхности проявляют себя в физических полях линейными и линейно-кольцевыми аномалиями, а также минералогическими, литохимическими, гидро- и атмохимическими аномалиями. В условиях слабой обнаженности и выраженности в ландшафте разломы в прилегающих к ним геологических блоках сопровождаются выходами разнофациальных (по литологическому составу, глубине образования) и разновозрастных горных пород. В относительно однородных осадочных толщах прослеживаются по нарушенному, смещенному или опрокинутому залеганию слоев с определенными типоморфными видами палеонтологических остатков, а в «немых» магматических или метаморфических породах наличием полос с мусорными включениями, аномальными акцессориями и новообразованными гидротермальными минералами, существенными разбросами данных радиологических датировок пород и т.п. В перекрывающих элювиальных и делювиальных образованиях сопровождаются шлиховыми ореолами типоморфных минералов зон разрывной тектоники и сопутствующих им метаморфических образований.

В засушливых регионах разрывные нарушения в неглубоко залегающих от земной поверхности скальных породах прослеживаются полосами относительно густой растительности, а в регионах с умеренно влажным климатом – полосами густой растительности с преобладанием влаголюбивых растений, нередко с резкой сменой видов растительности, типов почв, ареалов обитания некоторых видов животных и насекомых. В ряде случаев разломы в ландшафте выражены прямолинейными отрезками русел ручьев и рек современной и древних речных систем, проявлениями суффозии и карста.

Активные разрывные нарушения также трассируются линейно ориентированными зонами сосредоточения гипоцентров и эпицентров землетрясений, динамичными изменениями фототона на космоснимках, теплового и радиационного полей, разрывными деформациями зданий, сооружений и элементов коммуникаций, участками обрушений, подтоплений

и выбросов газов в горных выработках и т.п. В качестве дополнительных признаков наличия тектонических нарушений на определенных площадях могут быть использованы исторические сведения о землетрясениях и разрушениях зданий и сооружений, горных обвалах, провалах и появлении трещин на земной поверхности; в качестве косвенных признаков – следы тектонических деформаций и разрушения археологических объектов, наличие глубоких колодцев в засушливой местности, следы древних разработок гидротермальных руд и залежей драгоценных камней и т.п.

Главным классификационным признаком линеаментов является их принадлежность к разрывным структурам земной коры. Исходя из комбинации тех или иных диагностических признаков, линеаменты, можно классифицировать на два класса – с установленной и предполагаемой связью с разрывными структурами и их следующие главные разновидности:

- 1) линеаменты, отвечающие разломам I-III порядков, прослеженные на всем протяжении по прямым геолого-геоморфологическим признакам и подтвержденные данными геологоразведочных работ;
- 2) линеаменты, выражающие собой разломы высоких порядков и трещинные зоны, что фиксируется их диагностическими признаками и результатами геологоразведочных работ.
- 3) линеаменты, предположительно совпадающие с разломами разных порядков, прослеженные по геофизическим и геологическим данным на поверхностях маркирующих слоев, пачек и горизонтов, в кровле скальных осадочных пород и цоколе кристаллического фундамента;
- 4) линеаменты, по набору прямых и дополнительных признаков, предположительно маркирующие разломы I-III порядков или их отрезки, детальное геологическое изучение которых ранее не проводилось;
- 5) линеаменты, по прямым и дополнительным признакам, для которых предполагается связь с разломами высоких порядков и трещинными зонами;
- 6) предполагаемые линеаменты, выделяющиеся по дополнительным и косвенным признакам, требующие заверки с применением детального

геолого-геоморфологического картирования, геофизических, горно-буровых и других видов геологоразведочных работ.

7) границы морфоструктур, осевые линии водоразделов, гор-лакколитов и вулканических построек, кольцевых морфоструктур, речных долин и погребенных форм палеорельефа, могущие совпадать на всем протяжении или отдельных отрезках с линеаментами (разломами), требующие дешифрирования и дальнейшей проверки полевыми наблюдениями.

Методика традиционного (визуального) линеamentного анализа

Линеamentный анализ, как комплекс методов геологического картирования, основан на интеллектуальной обработке информации, которая по способам получения и формату данных, ранжируется, минимум, на три класса: материалы дистанционных аэрокосмических исследований, топографические карты и карты геологического содержания, прочие геологические, геофизические и иные данные. Ранжированность информационной базы, широкий набор диагностических признаков и разновидностей линеamentов обуславливает разнообразие методологических подходов к их изучению.

Главным критерием эффективности методик линеamentного анализа является достоверность полученных результатов – подтверждаемость геологическими наблюдениями прямой связи линеamentов с разрывными нарушениями в земной коре. Наш опыт в области геолого-геоморфологического картирования для решения геолого-поисковых задач на площадях с низкой обнаженностью кристаллических пород показал недостаточность применения одного-двух методов для надежной и достоверной интерпретации информации и необходимость использования комплекса методов геометризации и дешифрирования линеamentов.

Как любое геологическое исследование, линеаментный анализ осуществляется в нескольких этапах: подготовительный, картографический, интерпретационный и заключительный.

Подготовительный этап в линеаментном анализе имеет определяющее значение, даже в большей мере, чем собственно геометризация линеаментов. На этом этапе выполняется наиболее трудоемкий комплекс работ:

- обеспечение копиями топографических карт и аэрокосмических снимков широкого масштабного ряда и максимально высокого разрешения (пикселизации) на электронных и бумажных носителях;
- составление карт ландшафтных условий работ, геологической изученности и т.п.; оконтуривание опорных площадей, участков, объектов;
- сбор и систематизация материалов структурно-геологических, геоморфологических, дистанционных, геофизических, гидрогеологических, геохимических, геологоразведочных и др. работ прошлых лет; копирование картографических материалов предшественников; составление электронной базы данных по элементам залегания ранее установленных разломов, систем трещин и кливажа, линеаментов, геоморфологических границ;
- критический анализ материалов предшествующих исследований с составлением макетных морфоструктурных схем, роз-диаграмм и круговых диаграмм достоверно установленных разломов, систем трещин и кливажа, роз-диаграмм линеаментов и геоморфологических элементов;
- рекогносцировочные маршруты с геолого-структурным обследованием опорных участков, разрезов и пунктов;
- обобщение результатов камеральных подготовительных и рекогносцировочных работ в виде классификации признаков разрывных нарушений и обоснованного выбора комплекса методов

картирования линеаментов с учетом геологических и ландшафтных условий местности.

Картографический этап заключается в геометризации линеаментов с составлением карт распределения линеаментов на подготовленной морфоструктурной (геолого-структурной) основе и включает следующие главные способы решения данной задачи:

- дешифрирование элементов ландшафтов на аэрокосмических снимках земной поверхности с применением современных технических средств (стереоскопов и сканеров, компьютеров с соответствующим программным обеспечением);
- геометризация линеаментов на топографической основе широкого масштабного ряда с определением пространственной упорядоченности и изменчивости простирающихся типоморфных форм рельефа (качественный анализ), морфометрических параметров (количественный анализ) – геометрических, частот, плотностей, гипсометрических параметров и т.д.;
- выделение типоморфных элементов палеорельефа, зон нарушения геоморфологических поверхностей, вариации фаций и мощностей рыхлых отложений; отбраковка эрозионных и литоморфных эрозионно-структурных форм рельефа;
- выделение линеаментов по данным интерпретации геоиндикационных, сейсмических, геофизических, гидрогеологических, инженерно-геологических, минералогических, геохимических и других карт;
- анализ пространственного распределения деформаций зданий и коммуникаций на территориях населенных пунктов, устойчивых во времени и не зависящих от литологического состава и свойств грунтов основания; аварий трубопроводов, в подземных коммуникациях и горных выработках, не вызванных однозначно действием исключительно экзогенных процессов или человеческим фактором.

- обобщение результатов подготовительного и картографического этапов работ в виде графических материалов на геолого-структурной основе.

Интерпретация полученных линий, по комплексу признаков, характеризующих линеаменты, в общих чертах, заключается в следующем:

- в различении собственно линеаментов от элементов ландшафта, имеющих нетектоническое происхождение (например, сугубо эрозионное, не имеющее вообще какой либо связи с геологическими структурами);
- в проверке и уточнении полученных результатов, в том числе полевыми наблюдениями (особенно при сопряженности исследований с геологосъемочными, геологоразведочными, геофизическими, инженерно-геологическими и др. изысканиями);
- в ранжировании линеаментов и их окончательном картографическом оформлении с помощью набора условных обозначений.

На заключительном этапе исследований проводится статистическая обработка количественных данных, их сравнительный анализ с материалами геолого-структурных наблюдений разломов, систем трещиноватости, жильных тел, элементов залегания тектонитов и интерпретации геофизических, гидрогеологических и др. данных, составляется пояснительная записка к картографическим материалам в установленном методическими рекомендациями или заказчиком работ порядке. В пояснительной записке обязательно приводятся характеристика объектов, методика работ и инструментарий, принципы ранжирования объектов, результаты дополнительных исследований, даются выводы, заключения и рекомендации, приводиться список использованных источников материалов [1-5].

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЛИНЕАМЕНТНОГО АНАЛИЗА В ПРОГРАММЕ LESSA

Программа WinLESSA предназначена для автоматизации анализа в геологических исследованиях данных различного типа - изображений, схем, цифровых моделей рельефа (ЦМР). WinLESSA - это инструмент позволяющий получить единообразное численное описание рисунка (текстуры) этих данных. Описывается распределение и ориентация мелких линейных элементов рисунка [6-11].

Результаты расчетов используются для прямого дешифрирования, для анализа в ГИС, а также для дальнейшей обработки с помощью стандартных программ обработки изображений. Возможен и анализ с помощью WinLESSA результатов, предварительно полученных в WinLESSA (например, поиск линеаментов в поле плотности).

Сведения об алгоритме, методике, тестировании, примерах использования, о версиях программы и другую информацию о LESSA можно найти на сайте <http://www.lineament.ru>

Обработка начинается с выбора исходных данных. Очень важно выбрать их правильно (см. раздел Подготовка исходных данных). Сначала выявляются линейные элементы (“штрихи”), и уже по ним рассчитываются розы-диаграммы и строятся линеаменты (Панель расчетов). Все, что рассчитано, может быть сохранено для последующей работы (Проект). После завершения расчетов пользователь приступает к формированию изображения результатов (Панель роз-диаграмм и панель линеаментов).

Эти изображения можно просматривать по отдельности, накладывать, друг на друга, на исходное или любое другое подготовленное растровое изображение, например, на схему расположения важных объектов (Панель слоев). Полученные результирующие изображения могут быть сохранены для печати или для другой внешней обработки (Сохранение результатов).

Есть возможность для анализа многозональных и разновременных изображений (Расчет комбинации роз диаграмм).

Одновременно можно запустить программу несколько раз, чтобы, переключаясь между окнами этих программ, сравнивать результаты разной обработки или обработки разных изображений.

Возможность многократного запуска программы и обработки больших изображений ограничивается памятью используемого компьютера.

В данном методическом пособии рассматривается вариант автоматизированного линеаментного анализа для обработки ЦМР.

Исходные данные, необходимые для начала работы, а также данные внешние источников расположены в папке Original_Source.

Предполагается, что в качестве рабочей директории будет выступать путь XXX\LESSA\Workspace. Кроме того, если у Вас возникают трудности с выполнением задания, или вы пропустили часть заданий, Вы можете воспользоваться папкой Results, которая содержит результаты по всем шагам методического пособия.

ШАГ 1 –ЗАПУСК ПРОЕКТА И ЗАГРУЗКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ.

- Запустите программу WinLessa , используя ярлык приложения на рабочем столе.
- Выбор исходных данных осуществляется через меню **Файл/Открыть...** и далее с учетом типа исходных данных.

Открыть Полутоновое.... – полутоновое изображение, 8 бит, в формате (TIF, BMP, GIF, TGA, RAW);

Открыть ЦМР... – цифровая модель рельефа, 16 бит, целое положительное, в формате RAW, GRD ASCII;

Открыть Схему... – полутоновое изображение, 8 бит, где линии шириной 1-3 пикселя отмечены любым уровнем яркости, а фон – 0, в формате (TIF, BMP, GIF, TGA, RAW).

- Выберите пункт подменю *Открыть ЦМР...* и перейдите к Вашей рабочей директории XXX\LESSA\Workspace.
- Укажите в качестве входных данных файл *SE_TATAR.grd*

ВНИМАНИЕ! Имя изображения не должно содержать пробел.

- Программа производит анализ изображения ЦМР с целью определения минимальных и максимальных значений, что требует временных затрат и терпения пользователя.
- После успешного завершения расчетных процедур ЦМР отобразится в главном окне Lessa (рисунок 1).
- Необходимо обратиться к панели инструментов **Масштаб визуализации** для того, чтобы наглядно видеть изображение.

Используйте одну из функций панели для визуализации:



– изображение сжимается/растягивается до размера окна;



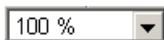
– изображение показывается без сжатия/растяжения;



– изображение растягивается в 1.5 раза;



– изображение сжимается в 1.5 раза;



– изображение сжимается/растягивается в указанное число раз.

ШАГ 2 – НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ АНАЛИЗА.

- После выбора исходных данных активизируется Панель Основных Расчетов. Пользователь указывает необходимые расчеты и их параметры. Затем выполняются расчеты.

Эта панель включена по умолчанию. Также ее можно включить/отключить:

- с помощью меню ***Вид/Панели Расчетов/Панель Основных Расчетов***
- в панели инструментов, иконкой 
- комбинацией клавиш ***Ctrl+M***

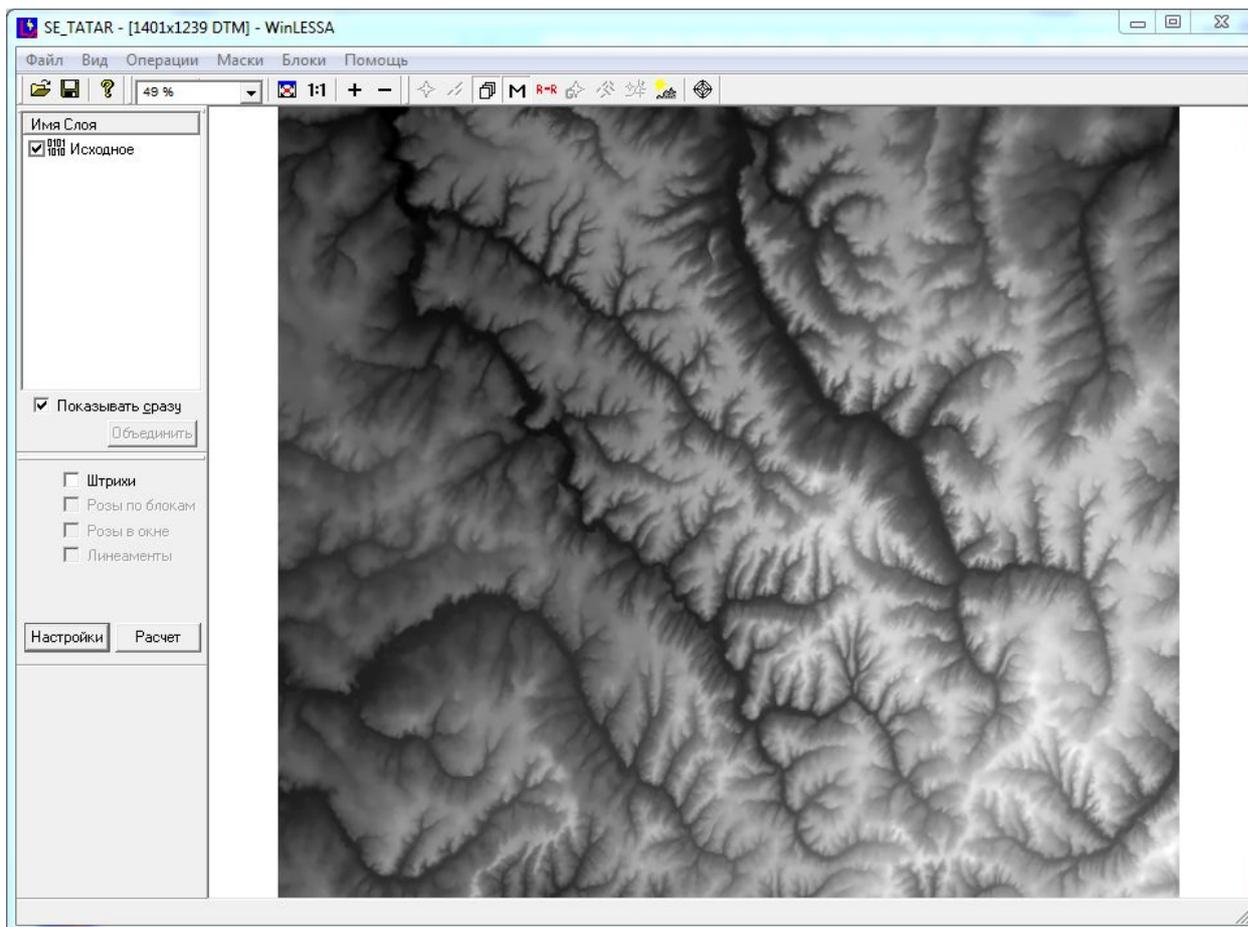


Рисунок 1 – Результат отображения ЦМР в окне WinLessa

- На панели перечислены все возможные расчеты

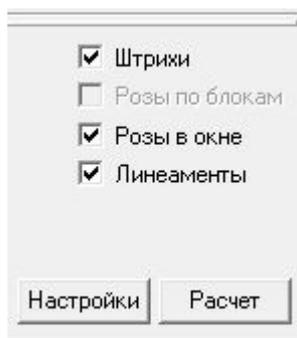


Рисунок 2 – Панель основных расчетов

Штрихи – расчет штрихов;

Розы по блокам – расчет роз-диаграмм по блокам, которые задал пользователь;

Розы в окне – расчет роз-диаграмм в скользящем окне

Линеаменты – расчет линеаментов.

Пользователю достаточно отметить те расчеты, которые он хочет произвести и нажать кнопку Расчет. Все расчеты будут произведены в необходимой последовательности. Если какой-то расчет произведен - то он отмечается галочкой на панели расчетов (рисунок 2)

Розы в окне. Входные данные этого расчета - штрихи. Если их не существует, то необходимо задать расчет **Штрихов** на панели расчетов. В круглом окне рассчитывается плотность штрихов каждого из восьми направлений. Для каждой точки штриха определяется его направление с точностью до 22,5 градусов, т.е. одно из следующих восьми направлений 0, 22.5, 45, 67.5, 90, 111.5, 135, 157.5 (угол измеряется от горизонтали справа - налево). Уверенно выявляются только штрихи, размер которых не меньше 5-10 пикселей. Шаг смещения окна – 8 элементов. Промежуточные величины – интерполируются. При одном и том же файле штрихов можно рассчитывать розы-диаграммы в окнах разного размера.

Линеаменты. Входные данные этого расчета - штрихи. Если их не существует, то необходимо задать расчет **Штрихов** на панели расчетов. Рассчитывается степень выраженности прямых линеаментов, т.е. определяется, какая часть линеамента отмечена найденными штрихами.

ВНИМАНИЕ! Пользователь не сможет задать (отметить) те расчеты, для которых нет исходных данных. В частности, должны быть выбраны и загружены исходные данные (через пункт меню **Файл/Открыть...**), а для роз-диаграмм по блокам должны быть нарисованы или загружены изображение блоков (через пункт меню Блоки). Для расчета роз-диаграмм и линеаментов должны быть рассчитаны штрихи.

- Для того, чтобы удалить из расчета “пустые” области (например, водоемы) и области, создающие “ложные” штрихи (например, плоские поверхности поим) нужно воспользоваться маскированием. При этом можно удалять или не удалять из рассмотрения границы этих областей (например, границы облаков удалить, а морские границы сохранить).
- На главной панели меню выберите меню **Маски/Создать маску...**
- Диалог редактирования маски “Создание маски” позволяет сформировать маску из нарисованных областей и из областей автоматически созданных по диапазону яркости (фон, облака). Указав

диапазон яркости, можно получить связные области с яркостью внутри указанного диапазона или вне диапазона. Диапазон яркости задается по исходному изображению, а значения яркости в точках изображения можно узнать с помощью курсора. Указанные области отображаются в специальном слое “Изменение маски”, а потом комбинировать эти области со слоем “Маска”. Часть из этих областей можно удалить - указать их с помощью курсора или обвести. Можно непосредственно дорисовать какие-то области в маску (рисунок 3).

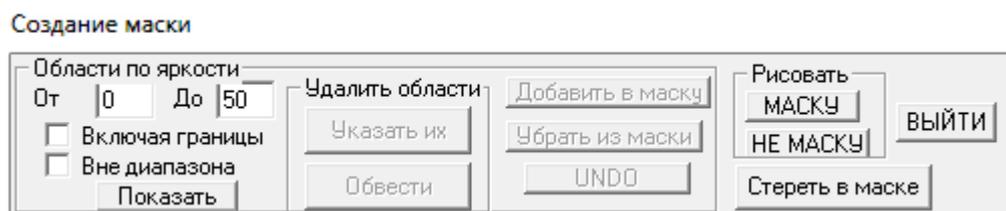


Рисунок 3 – Диалоговое окно «Создание маски»

- В программе WinLessa реализовано несколько вариантов создания маскирующих областей. Для наших задач мы будем использовать автоматическое создание изображения маски на основе порога яркости.
- Для Группы «Области по яркости» установите значения «От» и «До» как 0 и 10 соответственно.
- Нажмите кнопку *Показать*, для отображения результатов. Области ЦМР, значение которых по яркости не превышает пороговых значений будут подсвечены синим цветом. Они соответствуют долинам крупных рек и плоским поверхностям пойм.
- Нажмите кнопку *Добавить в маску*, а затем кнопку *ВЫЙТИ*.
- Маскирующая область определена и добавлена на панель отображения в виде слоя. В дальнейшем маска будет использована для настройки основных параметров расчета.
- Вновь обратитесь к панели основных расчетов (рисунок 2) и нажмите кнопку *Настроить*.

- Панель *Параметры расчета* разделена на блоки в соответствии с целевыми данными для расчета. Порядок расположения блоков сверху вниз соответствует этапам обработки и не может быть изменен, т.е. вначале происходит расчет штрихов, а затем на их основе формируются либо статистические поверхности плотности штрихов и роз, либо выраженные линеаменты (рисунок 4).

Панель *Параметры расчета* разделена на блоки в соответствии с целевыми данными для расчета. Порядок расположения блоков сверху вниз соответствует этапам обработки и не может быть изменен, т.е. вначале происходит расчет штрихов, а затем на их основе формируются либо статистические поверхности плотности штрихов и роз, либо выраженные линеаменты (рисунок 4).

Рисунок 4 – Диалоговое окно «Настройка параметров расчета»

- Для расчета штрихов параметры устанавливаются в блоке ***Штрихи***. При анализе ЦМР можно выбрать, какие именно элементы рельефа учитывать.

Все – выявляются и долины и хребты.

Долины – выявляются только долины (тальвеги).

Хребты – выявляются только хребты (водораздельные линии).

Установите флажок для опции **Все**.

- Фильтрация коротких штрихов позволяет оставить только прямолинейные участки длиной от 10 пикселей. Если включить опцию смена направлений, то оставшиеся штрихи получают направление, найденное в процессе фильтрации, а иначе сохранится первоначально найденное направление. Необходимо установить обе опции.

- Блок ***Розы по блокам*** оставьте по умолчанию.

- Для расчета роз в скользящем окне параметры устанавливаются в блоке ***Розы в окне***. Некоторые участки изображения не принадлежат к области расчета - скрыты маской, находятся в зоне краевого эффекта и др.

Основной параметр блока – окно розы – размер окна расчета роз, значение от 0 до 1500, кратное 8 ($8 \cdot n$), предпочтительно 64. Однако после фильтрации (Фильтрация коротких штрихов включена) штрихов становится меньше, и окно для расчета роз диаграмм нужно брать в 1.5 раза больше, например, не 64, а 96.

Параметры *Заполнение* и *Заполнение в маске* оставьте по умолчанию

- Для расчета линеаментов параметры устанавливаются в блоке ***Линеаменты***.

Первая группа параметров определяет какая область относится к линеаменту, “коридора” в котором ищутся штрихи составляющие линеамент, (его длина и ширина).

- Ширина – ширина “коридора”, нечетная величина от 1 до 9, предлагается 3 единицы, а размер единицы в пикселях задается величиной Расстояние (см. ниже);
- Длинные – если установлен этот параметр, то ищутся только “сквозные” линеаменты, то есть линеаменты, пересекающие все изображение, иначе ищутся ярко выраженные участки длинных линеаментов, размер участков задается следующим параметром:
 - Мин Длина – относительная длина линеамента, (относительно минимального размера изображения), от 0 до 2, предлагается 0.5; если включен параметр Длинные, то все более короткие линеаменты (пересекающие углы снимка) подавляются (уменьшается их выраженность) если НЕ включен параметр Длинные, то ищутся фрагменты линеаментов этого размера (и больше).
- Фрагмент – если установлен этот параметр, то ищутся “сквозные” линеаменты в квадратных фрагментах изображения, и результаты собираются в общий файл; если этот параметр установлен, то параметры Длинные и Мин Длина на расчет не влияют;
- Размер – относительный размер фрагмента (относительно минимального размера изображения), от 0.001 до 1, предлагается 0.2;
- Шаг – относительная величина шага смещения фрагмента (относительно размера фрагмента), от 0.01 до 1., предлагается 0.3.
- Сектора – допустимый разброс направлений штрихов составляющих линеамент, значения 1, 2, 3;
 - если задано 1, то используются штрихи только того же направления, что и линеамент, (в том же секторе 22.5 градуса),
 - если задано 2, то используются штрихи 2 соседних секторов (диапазон 22.5 градусов) перекрывающихся на половину

(всего 33.75 градусов), этот вариант позволяет точнее искать линеаменты в направлениях на границе секторов.

- если задано 3, то используются штрихи 3 соседних секторов (всего 67.5 градусов).

Вариант 2 предпочтительнее.

➤ Следующая группа параметров задает точность и аккуратность расчетов (*Разрешение*).

- Расстояние – точность расчета линеаментов по положению в изображении, чем больше это значение, тем расчет грубее, но быстрее; если не установлен флажок *Относительное разрешение*, то точность задается в пикселях, а если флажок установлен, то задается значение относительно величины, дающей оптимальное качество (если 1.00, то используется оптимальная точность, если 2.00 – то в 2 раза грубее, и т.д.), значение должно быть больше 0, обычно 1;
- Направление – точность расчета линеаментов по направлению, чем выше это значение, тем расчет грубее, но быстрее; если не установлен флажок *Относительное разрешение*, то точность задается в градусах, а если флажок установлен, то задается значение относительно величины, дающей оптимальное качество (если 1.00, то используется оптимальная точность, если 2.00 – то в 2 раза грубее, и т.д.), значение должно быть больше 0, обычно 1;
- Относительное разрешение – если установлен этот флажок, то шаг расчета линеаментов по расстоянию и направлению задается относительно величины, дающей оптимальную точность;

➤ Группа *Расчет*:

- одинарный – отображаются все возможные сквозные линеаменты, это самый быстрый, полный, но, часто, сложно «читаемый» из-за «пучков» линеаментов вариант;
- двойной – отбирается только один лучший линеамент из каждого «пучка» (без внимания к остальным);
- многократный – отбирается лучший линеамент из «пучка» а остальные пересчитываются, это аккуратный, зрелищный, но и самый длительный расчет.

Используйте последний вариант для расчета

- Блок *Сжатие*

- Сжать в: ...раз – сжать изображение в процессе расчета и получить соответственно более крупные штрихи и большее окно расчета роз, результаты расчета представляются в размере исходного изображения; значение может быть не целым, но ≥ 1 , оно корректируется с тем, чтобы получить изображение с целым числом точек в строке.

Установите значение параметра равное 2-ому сжатию.

- Блок *Маскирование*

- Использовать маску – использовать текущую маску в расчетах: если этот параметр не установлен, то маска не учитывается; если значение этого параметра меняется, то отменяются все предыдущие расчеты.

- Если все параметры установлены, то для сохранения и выхода из панели Параметры Расчета нужно нажать кнопку ОК, в противном случае Отмена (Cancel).

- Для начала вычислительных операций нажмите кнопку **Расчет**. Расчет – кнопка запускает выполнение заданных шагов обработки с выбранными параметрами. Каждый расчет сопровождается индикаторной полосой. Расчет может быть остановлен кнопкой Отмена (Cancel).

ШАГ 3 – ОТОБРАЖЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА.

После того как произведены все необходимые расчеты, становятся активными меню Панели Инструментов. Панель инструментов содержит следующие подменю:

-  Панель показа линеаментов
-  Панель показа роз-диаграмм
-  Панель слоев
-  Панель Основных Расчетов
-  Панель расчета комбинации роз-диаграмм
-  Панель курсора.
-  Изображение роз в блоках
-  Изображение глобальной розы-диаграммы
-  Изображение «подсвеченного» рельефа
-  Изображение штрихов

- В первую очередь запустите инструмент Изображение глобальной розы-диаграмм . Роза-диаграмм отображает в графическом виде распределение штрихов всех направлений. Для данной территории роза вытянута в СВ направлении вдоль азимута 45° .
- Отключите изображение глобальной розы, отжав соответствующую кнопку меню.
- Следующим этапом Вашей работы станет отображение штрихов, как основных элементов линеаментного анализа. Включите меню Изображение штрихов . На экране будут отображены разноцветные растровые линии, которые являются спрямленными участками долин (талвегов) и хребтов (водоразделов). В таблице 1 представлено соответствии цветовой схемы отображение штрихов числовому выражению направления в градусах (геометрические круговые координаты).

Цветовая карта штрихов

Цвет	RGB	Сектор в градусах	Географическое направление
	255,0,0	0-11.25,	В
	150,150,0	11.25-22.5	ВСВ,ЗЮЗ
	255,255,0	22.5-33.75	ВСВ,ЗЮЗ
	150,0,150	33.75-45	СВ,ЮЗ
	255,0,255	45-56.25	ССВ,ЮЮЗ
	0,0,150	56.25-67.5	ССВ,ЮЮЗ
	0,0,255	67.5-78.75	ССВ,ЮЮЗ
	0,150,150	78.75-90	С,Ю
	0,255,255	90-101.25	ССЗ,ЮЮВ
	0,255,0	101.25-112.5	ССЗ,ЮЮВ
	120,20,150	112.5-123.75	ССЗ,ЮЮВ
	180,25,255	123.75-135	СЗ,ЮВ
	20,120,150	135-146.25	СЗС,ЮВЮ
	25,180,255	146.25-157.5	СЗС,ЮВЮ
	150,0,0	157.5-168.75	СЗС,ЮВЮ
	255,0,0	168.75-180	З

- Если произведен расчет роз в окне, т.е. подсчет в скользящем окне суммарной длины штрихов каждого направления, плотности штрихов, то можно активизировать эту панель. Ее можно включить/отключить: в панели инструментов, иконкой .

Эти и другие “ориентационные” характеристики текстуры отображаются растровыми изображениями (матрицами), а также строятся поля векторов, розы-диаграммы (сокращенно, розы), и др. Можно получать объединенные

розы для разных слоев многозонального изображения или сравнивать разновременные данные

- В первую очередь, необходимо выбрать в выпадающем списке очередную характеристику изучаемого участка. Список содержит перечень характеристик, доступных для формирования полей. Количество полей в списке и их номенклатура, варьируются в зависимости от заданного типа нормализации.

Можно последовательно или одновременно отобразить на экране характеристики двух типов: поле и графика.

Полями отображаются плотности штрихов и характеристики формы роз-диаграмм. Они расположены в начале списка.

ПЛОТНОСТЬ 1 – плотность штрихов с направлением в диапазоне -11.25 11.25 градусов,

ПЛОТНОСТЬ 2 – плотность штрихов с направлением в диапазоне 11.25 33.75 градусов,

ПЛОТНОСТЬ 3 – плотность штрихов с направлением в диапазоне 33.75 56.25 градусов,

ПЛОТНОСТЬ 4 – плотность штрихов с направлением в диапазоне 56.25 78.75 градусов,

ПЛОТНОСТЬ 5 – плотность штрихов с направлением в диапазоне 78.75 101.25 градусов,

ПЛОТНОСТЬ 6 – плотность штрихов с направлением в диапазоне 101.25 123.75 градусов,

ПЛОТНОСТЬ 7 – плотность штрихов с направлением в диапазоне 123.75 146.25 градусов,

ПЛОТНОСТЬ 8 – плотность штрихов с направлением в диапазоне 146.25 168.75 градусов,

ПЛОТНОСТЬ – плотность штрихов всех направлений;

ВЫТЯНУТОСТЬ – степень вытянутости розы диаграммы;

МАКС. НАПРАВЛЕНИЕ – номер максимального направления в розе-диаграмме (1 - 8);

СХОДСТВО С КРЕСТОМ – степень близости розы диаграммы к кресту;

ЛОКАЛЬНАЯ РАЗНИЦА – отличие розы-диаграммы от соседних;

ГРАНИЦА ПО РОЗАМ – этот показатель растет, если в данном месте изображения проходит граница между участками с существенно разными розами-диаграммами.

ОТЛИЧИЕ РОЗ – этот показатель отражает различие роз в соседних не перекрывающихся окнах, это более грубая характеристика, чем ЛОКАЛЬНАЯ РАЗНИЦА и более тонкая, чем ГРАНИЦА ПО РОЗАМ.

Поля представляются в псевдоцветом виде. Порядок цветов показан в окне палитре. Это окно включается/отключается в меню *Вид/Палитра* или с помощью горячей клавиши **Ctrl+F**. Черный цвет означает практическое отсутствие штрихов в окне вокруг данной точки., то есть значение 0 означает отсутствие данных. Во всех параметрах **ПЛОТНОСТЬ I** показывается отношение суммарной длины штрихов направления I и площади окна (умножено на 10000).

Графикой (а точнее, растровыми изображениями линейных рисунков) представляются розы-диаграммы штрихов и графические характеристики роз.

РОЗЫ – розы-диаграммы штрихов;

ВЕКТОР ВЫТЯНУТОСТИ – направление и степень вытянутости розы-диаграммы;

ВЕКТОР МАКС. НАПРАВЛЕНИЯ – направления максимальной плотности.

ВЕКТОР ГРАНИЦЫ ПО РОЗАМ – направление границы между участками с разными розами-диаграммами и степень отличия этих участков;

ЛИНИИ ВЫТЯНУТОСТИ – линии вдоль векторов вытянутости;

ОРТОГОНАЛЬНЫЕ ЛИНИИ – линии поперек векторов вытянутости.

Эти линии характеризуют текстуру изображения, и должны быть аккуратно интерпретированы, так как похожи на линии растяжения и сжатия поверхности. Графика может быть представлена отдельно (на черном фоне), совместно с другой графической характеристикой, на фоне любого поля, а также на фоне исходного изображения. Цвет графики можно менять.

- **Новый слой** – кнопка запуска процесса формирования указанного растрового или графического поля с заданными параметрами; сформированное поле отображается в новый слой в окне просмотра.
- **Показать** – кнопка запуска процесса формирования указанного растрового или графического поля с заданными параметрами. Сформированное поле отображается в слой, в котором было предыдущее изображение, рассчитанное в панели роз-диаграмм, стирая предыдущее изображение, или в новый, если такого прежнего слоя нет
- **Нормализация.** Ставя и убирая галочки в полях **Локальная** и **Глобальная** этого раздела, можно выбирать между обычными и *нормированными* розами-диаграммами. При нормировании изменяются и розы-диаграммы и производные от них характеристики. Нормирование, при котором в розах-диаграммах исключены особенности всего изображения и подчеркиваются их индивидуальные свойства, назовем *глобальным*. Это нормирование меняет форму роз и их вытянутость, но не меняет поля плотности. Возможно также и *локальное* нормирование, когда роза-диаграмма показывает не абсолютную величину плотности (суммарную длину штрихов каждого направление), а процентное содержание этого направления в данном окне. Локальное нормирование сохраняет форму роз, но меняет поля плотности. Локальное и глобальное

нормирование можно использовать и одновременно. Характеристики могут быть рассчитаны:

- без нормализации, при этом в списке характеристик приведены все возможные характеристики;
- с **локальной** нормализацией, при этом в списке указываются только те характеристики из полного списка, на которые оказывает влияние локальная нормализация;
- с **глобальной** нормализацией, при этом в списке только те характеристики из полного списка, на которые оказывает влияние глобальная нормализация;
- обоими типами нормализации одновременно, при этом в списке указываются только те характеристики из полного списка, которые будут отличаться от характеристик только с локальной или только с глобальной нормализацией.

➤ **Шкалирование** В этом блоке задаются параметры представления растровых полей. При представлении этих полей используется диапазон значений 0 - 255, в то время как при расчете полей могут быть получены значения, существенно превосходящие 255 (например, плотности при расчете роз-диаграмм в больших окнах). Следовательно, необходимо перевести рассчитанные значения в диапазон 0 - 255. Реальный диапазон значений показывается в полях **МИН** и **МАКС** после расчета. Пользователь имеет возможность выбрать способ пересчета истинных значений в значения интервала 0 - 255.

- **Нет** – никакого пересчета, значения в диапазоне 0 - 255 сохраняются без изменения, а значения вне диапазона переводятся в 255;

- **Все** – расчетные значения, **I**, пересчитываются по формуле $(I - \text{Min})$, если $\text{Max} - \text{Min} < 255$, иначе по формуле $255 * (I - \text{Min}) / (\text{Max} - \text{Min})$;
- **Авто** – расчетные значения, **I**, пересчитываются по формуле $(I - \text{MinT})$, если $\text{MaxT} - \text{MinT} < 255$, иначе по формуле $255 * (I - \text{MinT}) / (\text{MaxT} - \text{MinT})$, где **MaxT** немного меньше **Max**, а **MinT** немного больше **Min**;
- **Ручное** – пользователь сам указывает интересующий его диапазон целых положительных значений: **От** и **До** (**От** меньше **До**), если $(\text{До} - \text{От}) < 255$ то пересчет идет по формуле $(I - \text{От})$, а иначе по формуле $255 * (I - \text{От}) / (\text{До} - \text{От})$.

Предлагается работать в режиме **Авто**.

- **Шаг.** В этом блоке задается шаг “прореживания” графических результатов. Если задано 1, то рисуются все розы и линии с шагом 8 пикселей, если задано 2, то шаг увеличивается в 2 раза, а остальные пропускаются и т.д.
 - **Вектор** – шаг векторов, целые числа 1 - 100, предлагается 3;
 - **Роза** – шаг роз, целые числа 1 - 100, предлагается 6;
 - **Линия** – шаг линий, целые числа 1 - 100, предлагается 6
- **Размер.** Размер графических элементов автоматически определяется в зависимости от выбранного шага. В этом блоке можно задать множители для изменения предложенного размера графических элементов.
 - **Роза** – масштабный множитель отображения роз, положительные значения, предлагается 1;
 - **Вектор** – масштабный множитель отображения векторов, положительные значения, предлагается 1;

- **Мин плотность** - если окно расчета роз заполненная штрихами меньше этого значения, то большинство характеристик (исключая плотности) не рассчитывается (выдается результат 0) , так как результат расчета при бедной статистике становятся случайными; допускаются значения между 0 и 10000, предлагается 40.
- **Мин вытянутость** - линии вытянутости (и ортогональные) не рисуются там, где величина вытянутости меньше этого значения, то есть розы почти круглые. По умолчанию рассчитывается порог (в зависимости от окна расчета роз), и умножается на эту величину, вещественное число, значение между 0 - 10, предлагается 1.
- На рисунках 5 и 6 представлены результаты статистического анализа штрихов наиболее востребованные при геологической интерпретации линиментов и данных о трещиноватости. Использую параметры по умолчанию и предлагаемые настройки создайте поле общей плотности штрихов и графическое представление роз-диаграмм в окне.

ШАГ 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛИНЕАМЕНТНОГО АНАЛИЗА.

Одним из главных результатов анализа штрихов является формирование на их основе прямых протяженных линеаментов. Пользователь получает возможность просматривать линеаменты, отбирать их по направлению и по степени выраженности, составлять из них схему.

Если произведен расчет линеаментов, то можно активизировать эту панель в меню Вид/Панель Показа Линеаментов 

Если включена Панель Показа Линеаментов, то Панель Показа Роз отключается.

Вы как пользователь LESSA указываете интересующий Вас диапазон направлений и порог – «степени выраженности» линеаментов. Будут показаны линеаменты указанного направления со значением «выраженности» больше порога. Далее можете изменить параметры и

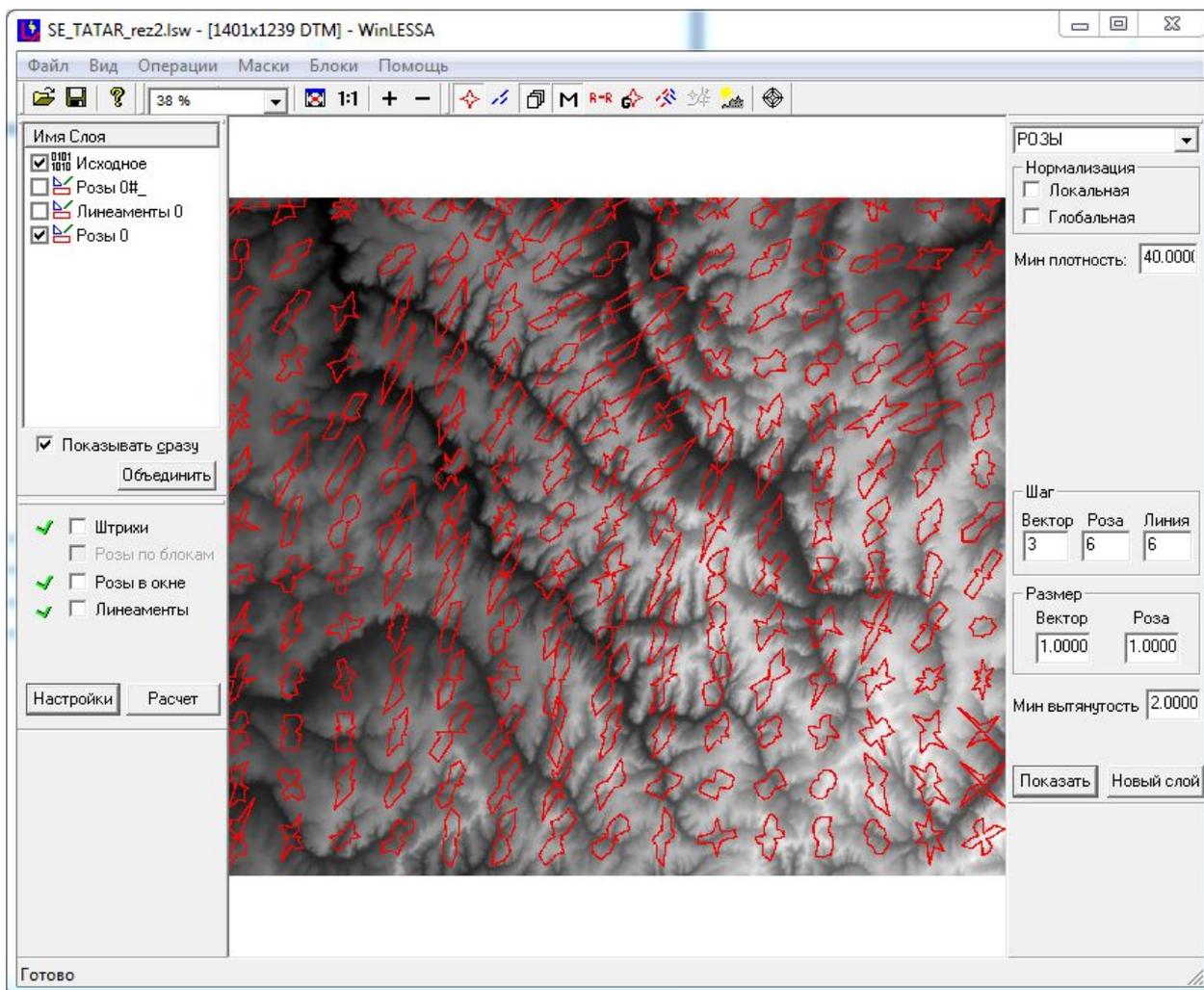


Рисунок 5 – Графическое представление расчета роз-диаграмм в окне

получить новый вариант линеаментов. Каждый полученный вариант можно стереть или сохранить, чтобы сравнить его с другими. Можно составить схему линеаментов, зафиксировав по одному варианту для каждого направления.

- В блоке **Направление** задается диапазон направлений линеаментов, которые будут показаны. Если выбран вариант *Все направления*, то будут показаны линеаменты всех направлений.

Есть два варианта задания диапазона направлений Сектор и Диапазон. Если выбран вариант Сектор, то задается число секторов, n , в поле Сектора и номер текущего сектора, d , в поле Задать. Тем самым определяется диапазон направлений от $(d-1)*w/2$ до $d*w/2$, где w размер

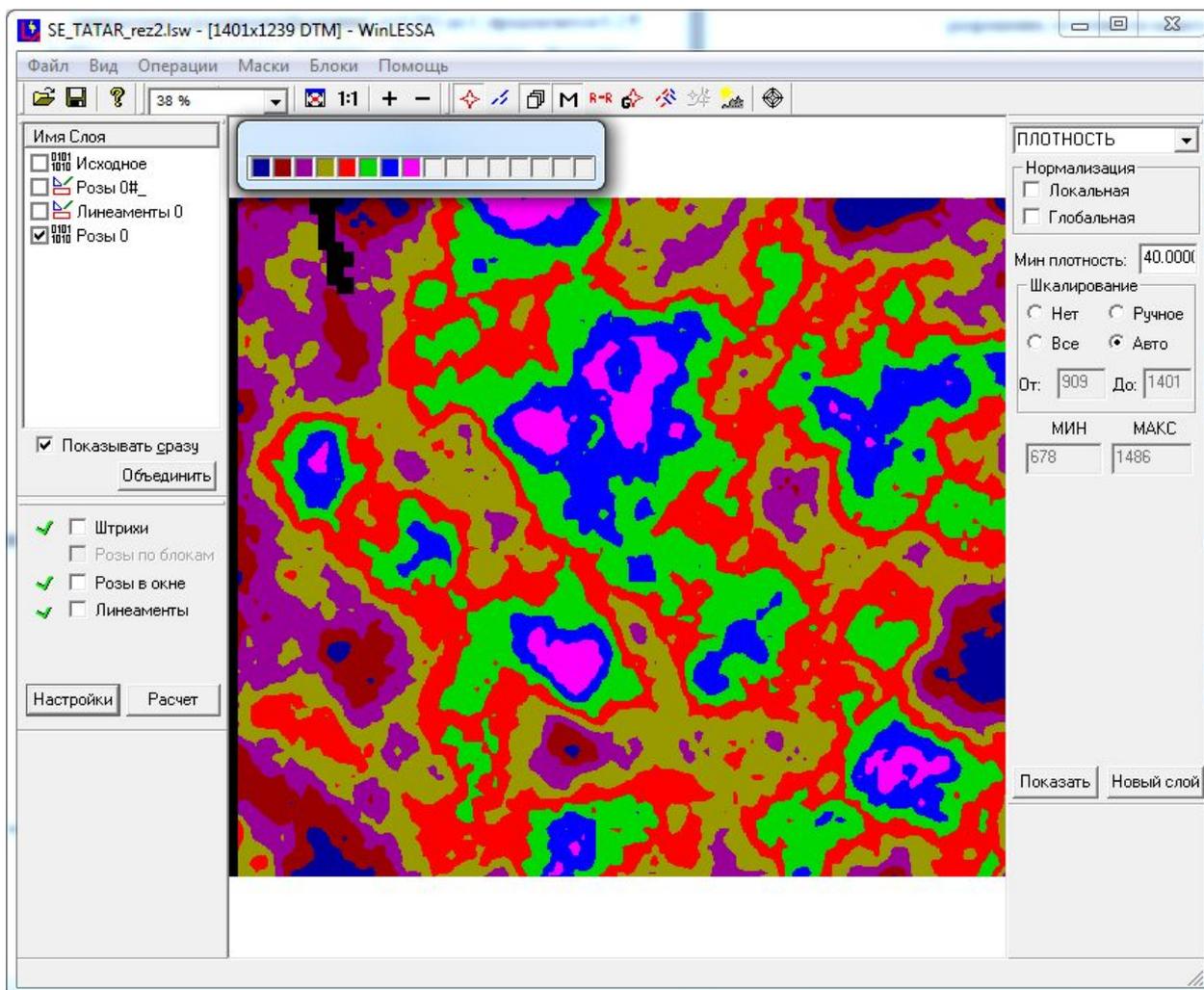


Рисунок 6 – Общая плотность штрихов всех направлений

сектора, $w=180/n$ градусов. Когда задано 8 направлений, $n=8$, то используются сектора $w=22.5$ градуса.

- **Сектора**- число секторов, целое число от 1 до 180, предлагается 8.
- **Задать** - порядковый номер сектора направлений, целое число от 1 до Sectors.

Если выбран вариант Диапазон то в полях **От** и **До** непосредственно указывается интересующий диапазон направлений.

- **До** - максимальное направление , значения целые числа от 0 до 360,

– **От** - минимальное направление , значения целые числа от -180 до 180б , **От** < **До**.

- **Порог** – в этом поле задается порог выраженности, целое значения. Отображаются все линеаменты заданного направления, «выраженность» которых превышает порог. Эта величина относительная, и может существенно отличаться для разных изображений и разных параметров расчета линеаментов.
- **Максимум** – в этом поле показывается максимальное значение выраженности для линеаментов выбранного диапазона, показывается после первого выполнения операции **Показать** для облегчения выбора следующих значений порога.

Если установлен флажок **Показ** по порядку, то вместо собственно выраженности можно указывать порядковый номер данного линеаменты по степени выраженности среди линеаментов заданного сектора (1 - самый выраженный, 2 - первый и второй по выраженности и т.д. до 50). Если включен флажок **Показ** по порядку, то имеет смысл только величина порога меньше 50, при любом большем значении показываються все штрихи. Флажок **Показ** по порядку можно включить только, если направления выбираются секторами (или выбраны все направления). Если указаны все направления, то одновременно показываються линеаменты самые выраженные в каждом из секторов. (При этом число секторов - то же, что было при предыдущем расчете по секторам, или 8 если таких расчетов не было) Возможно, но не целесообразно просматривать по порядку “короткие” линеаменты (т.е. при расчете линеаментов был выключен флаг **Длинные**)

- Установите флажок для параметра **Показать по порядку**
- Установите в качестве порогового значения «5»
- **Розы по линеаментам** – это роза-диаграмма, которая рассчитывается по линеаментам, удовлетворяющим заданным условиям. Разумно задавать **ВСЬ** диапазон направлений. При высоком пороге в расчете участвует

слишком мало объектов, а при низком пороге включается много плохо определенных линий... Необходимо крайне осторожно использовать эту характеристику, ввиду того, что роза по линеаментам -гораздо менее устойчивая и объективная характеристика изображения, чем глобальная роза по штрихам, так как число длинных линеаментов на порядки меньше, а влияние пользователя на их расчет, гораздо больше. Линеаменты разного направления и расположения не равноправны в расчете выраженности, так что имеет смысл сравнивать между собой лучи «сходного» расположения – симметричные относительно вертикальной оси или отличающиеся на 90 градусов.

- Показывать розы - если установлен этот флаг, то вместо линеаментов будет отображаться соответствующая им роза-диаграмма.
 - Число лучей – в розе-диаграмме (до 180).
 - Окно – угловой диапазон, в котором суммируется длина линеаментов (от 1 до 90).
- **Новый слой** – отображение линеаментов с указанными параметрами в новом слое.
 - **Показать** – отображение линеаментов с указанными параметрами в слое, в котором было предыдущее рассчитанное изображение линеаментов, стирая предыдущее изображение, или в новом, если прежнего слоя линеаментов нет. Нажмите показать и убедитесь, что Ваши результаты сопоставимы с результатами представленными на рисунке 7.

ШАГ 5. СОХРАНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Показанное изображение (любое число слоев) можно сохранить в файле в виде растра (в форматах TIF, BMP, GIF, TGA, RAW, GRD ASCII). Запись производится через пункт меню **Файл/Сохранить Растр...**, и далее выбирается путь, имя файла и формат.

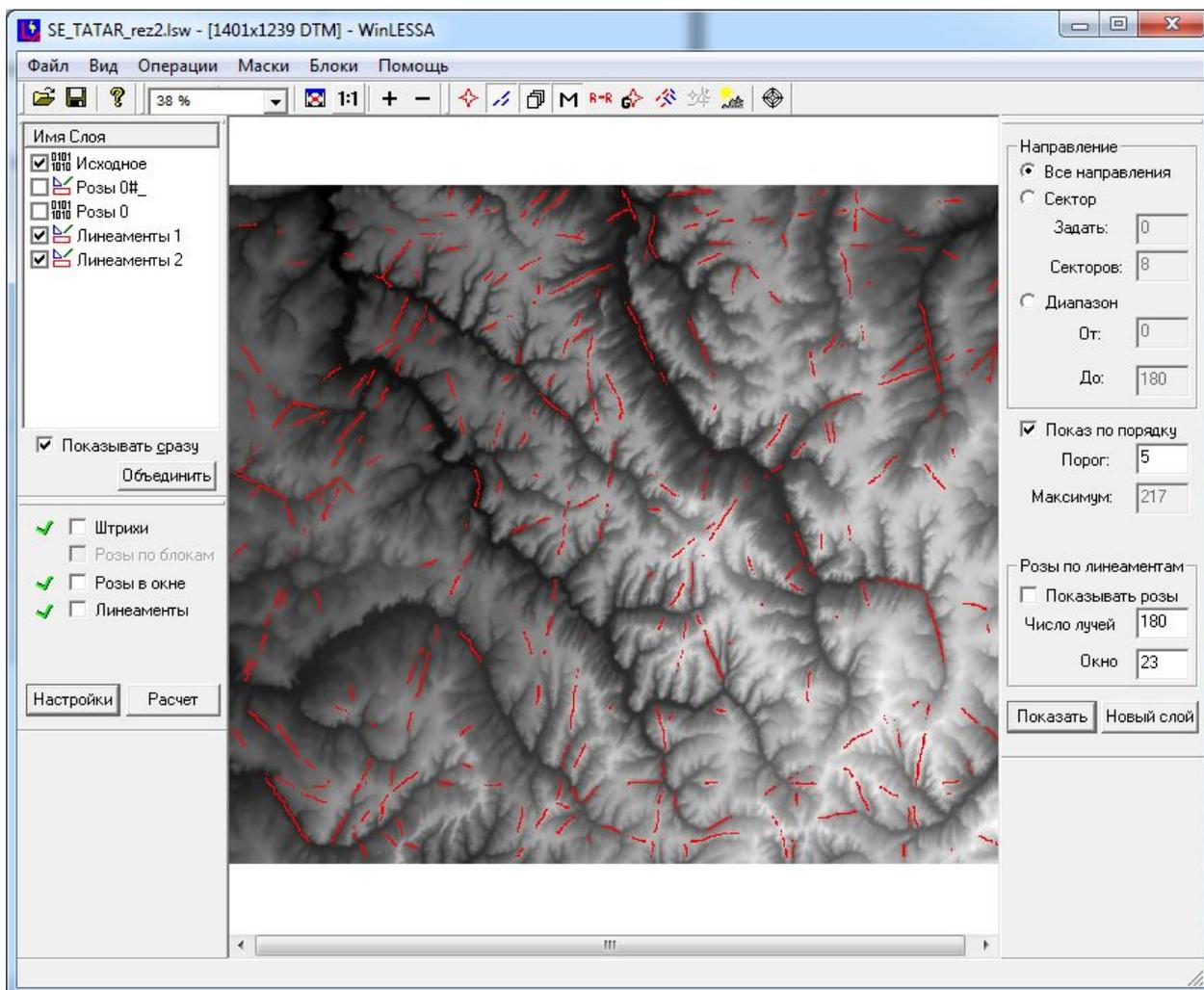


Рисунок 7 – Графическое представление линеаментов

Каждый высвеченный слой представлен 8 битами (256 цветов). Поэтому любой одиночный слой сохраняется 8 битами (256 цветов), несколько графических слоев одного цвета также сохраняется 8 битами (256 цветов), в других случаях несколько слоев предлагается сохранять 24 битами (16М цветов, True Color). Форматы различаются своими возможностями по сохранению цветных изображений – 256 цветов можно сохранить в любом формате, а True Color сохраняется не во всех. Вы будете предупреждены, если в выбранном им формате возможны потери при сохранении созданного изображения.

ВНИМАНИЕ! Если Вы выберете 256-цветный формат, некоторые цветные пиксели могут стать серыми.

Пользователю предлагается выбрать число цветов (Количество Цветов) 256 или True Color.

В формате GRD ASCII сохраняется только серое или бинарное изображение.

Если показаны только векторные слои, то изображение можно сохранить в формате DXF. Запись производится через пункт меню **Файл/Сохранить Вектор...**, и далее выбирается имя файла. Все линии, имеющие разный цвет и/или ширину будут сохранены, как линии единичной ширины но разного цвета (возможно отличного от исходного).

Кроме самого изображения сохраняется также и описание всех сохраняемых слоев - то, что пишется о слоях в строке состояния. Этот текст записывается в файле с тем же именем, что и изображение, но с расширением TXL. Его можно прочитать в любом текстовом редакторе. Для удобства чтения этого описания в любом редакторе оно сохраняется на английском языке.

При сохранении результатов могут учитываться и другие дополнительные данные. Для этого через пункт меню **Файл/Установки сохранения ...**, вызывается диалог «Установки сохранения» (рисунок 8).

- Блок Привязка. Чтобы сохранить результаты с географической привязкой (только в форматах TIFF, GRD ASCII и DXF), достаточно указать координаты углов исходного изображения – левого верхнего и правого нижнего, Разрешение по X и Y – и поставить галочку в поле “результаты сохранять в этих координатах”. Координаты указываются в метрах.
 - При сохранении в формате DXF или TIFF данные будут иметь координаты соответствующие системе ArcGis (в углах пикселя).
 - При сохранении в формате GRD ASCII данные будут иметь координаты соответствующие системе Surfer.
 - При сохранении результатов в формате TIFF, будет использован формат GEOTIFF с дополнительным файлом координат (с тем же именем и расширением TFW).

- Если **Разрешение** не указано (или указано неверно), то оно будет рассчитано по заданным координатам углов.
- Можно задать только **Разрешение** (для измерений в LESSA), сохранив значения 0 для всех координат.
- При сохранении результатов в формате DXF можно добавить к ним **Рамку** по краю изображения. Для этого достаточно поставить галочку в поле “Рисовать векторную рамку

ВНИМАНИЕ! Автоматически данные привязки не меняются и не удаляются, поэтому, открыв для обработки новое изображение (без файла привязки), не забудьте изменить значения привязки.

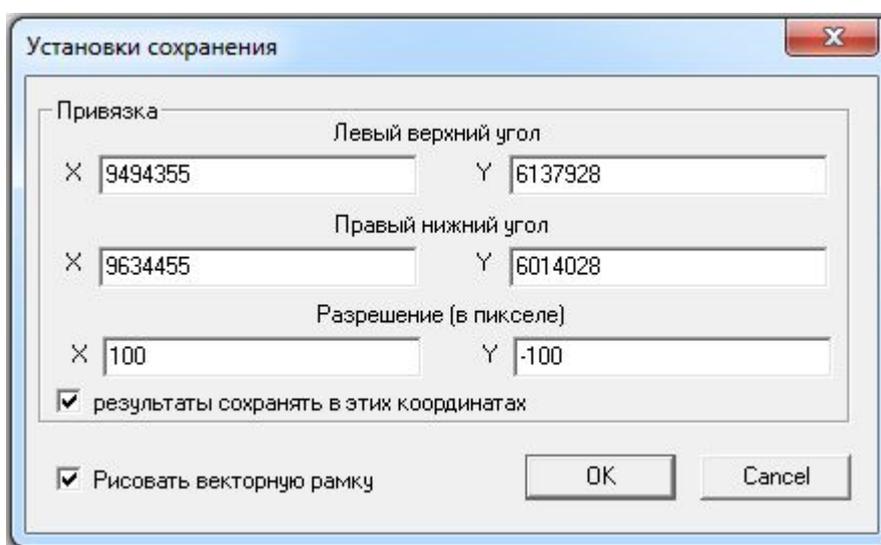


Рисунок 8 – Диалоговое окно Установки сохранения

- Отключите видимость всех слоев проекта Lessa.
- Включите слой Линеаменты. Выберите меню **Файл/Сохранить Вектор...** и сохраните результаты линеаментного анализа в рабочую директорию.
- Отключите видимость слоя Линеаменты и отобразите слой Розы.
- Выберите меню **Файл/Сохранить Растр...** и сохраните результаты в формате GRD ASCII в рабочую директорию.
- Выберите меню **Файл/Сохранить Проект Как...** и сохраните данные расчетов в проект WinLESSA в рабочей директории.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Геологический словарь/ [Электронный ресурс] Доступ <http://www.georus.ru/dictionary/>
2. Горная энциклопедия / [Электронный ресурс] Доступ: <http://www.mining-enc.ru/rubrics/geology>
3. Яндекс словари / [Электронный ресурс] Доступ slovari.yandex.ru
4. Кац, Я.Г. Основы линейamentной тектоники [Текст] / Я.Г. Кац, А.И. Полетаев, Э.Ф. Румянцева // М.: Недра. – 1986. – 144 с.
5. Рябухин, А.Г. Космические методы в геологии [Текст] / А.Г. Рябухин, Н.В. Макарова, В.И. Макаров.- М.: Изд-во МГУ, 1988.- 146 с.
6. Zlatopolsky, A.A. Program LESSA (Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis) automated linear image features analysis - experimental results [Text] / A.A. Zlatopolsky // Computers & Geoscience.- 1992.-Vol. 18, N 9,-, P. 1121-1126.
7. Zlatopolsky, A.A., 1996 Texture orientation description of remote sensing data using LESSA (Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis), Computers & Geosciences, 1997, vol. 23, N 1, pp. 45-62.
8. Malkin Boris V., Zlatopolsky Alexander A., 2004 Southern Angola Lineament Tectonics Features Analysis via Image Processing (LESSA) IGC - Florence, 2004, 199-42
9. Златопольский А.А. Особенности определения направления естественных объектов и текстур по растровым дистанционным данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Сборник научных статей. М.: ООО «Азбука-2000», 2007. Выпуск 4. Т. 1. С.52-56.
10. Златопольский, А.А. Методика измерения ориентационных характеристик данных дистанционного зондирования (технология LESSA) Пятая Юбилейная Открытая Всероссийская конференция

«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Выпуск 5, ООО «Азбука», Москва, 2008 г., т. 1, Стр. 102-112

11. Новые возможности технологии LESSA и анализ цифровой модели рельефа. Методический аспект. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса 2011. Т.8. №3. 38-46