

Л.А. Макриденко, К.А. Боярчук  
ФГУП «НПП ВНИИЭМ»  
Л.В. Милосердова, Н.И. Малушина  
РГУ «Нефти и Газа им. И.М.Губкина»

## ИНФОРМАТИВНОСТЬ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОГЕОЛОГИЧЕСКОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ

Основная концепция дистанционного зондирования Земли из космоса была заложена в 70 - 80-е годы, когда были запущены первые природно-ресурсные спутники типа «Landsat», «Ресурс-О» и «Алмаз» и была создана соответствующая аппаратура, работающая в оптическом диапазоне спектра – от ультрафиолетового до ближнего инфракрасного, а также в микроволновом диапазоне спектра, как в активном, так и в пассивном режимах [1]. Это послужило толчком для создания новых методов обработки данных дистанционного зондирования для поиска природных ископаемых, в частности начались работы по применению космических снимков для целей нефтегазовой геологии как теоретического и методического, так и практического характера [2 - 13].

Нефтегазogeологическое дешифрирование космических снимков заключается в выявлении на изображениях элементов ландшафта и их сочетаний, указывающих на геологические структуры, явления и процессы, которые могут быть связаны с месторождениями нефти и газа. Поскольку к настоящему

времени реально существуют значительные базы данных космических изображений на любую территорию, то для выбора набора снимков, оптимальных для нефтегазogeологического дешифрирования, необходимо оценить их информативность.

### Теоретические предпосылки нефтегазogeологического дешифрирования

Принципиальная возможность нефтегазogeологического дешифрирования обусловлена тем, что портрет ландшафта, который мы видим на космических изображениях, определяется как геологическими факторами, так и условиями съемки: сезоном, временем, разрешением, зоной спектра, аппаратурой КА.

При геологическом дешифрировании из общей пестрой картины космического портрета ландшафта выделяется эндогенная тектоническая составляющая, предопределившая развитие тех или иных его элементов, и затем она целенаправленно используется для изучения глубинного строения. Основными компонентами ландшафта, формирующими космическое

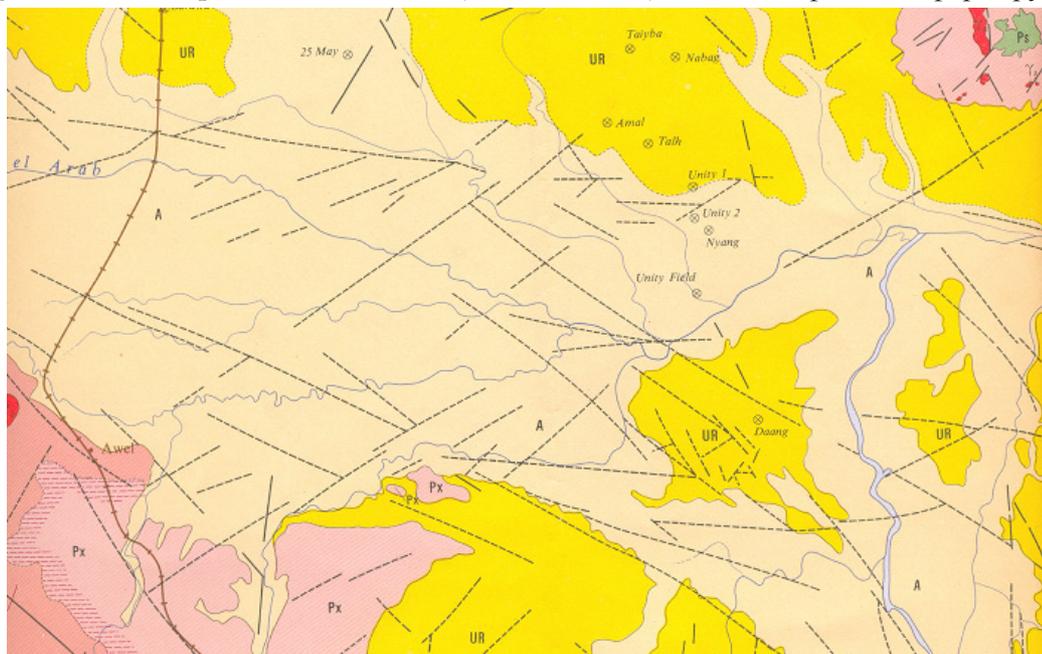


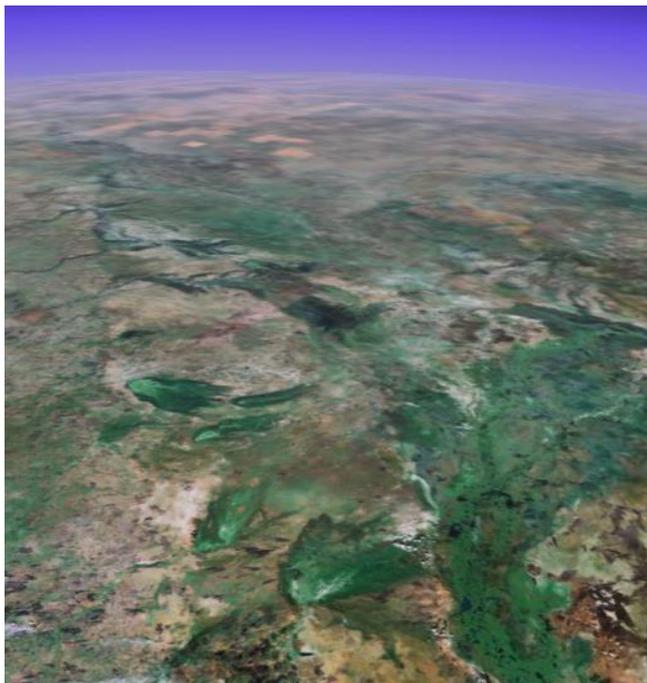
Рис. 1. Фрагмент геологической карты Судана:  современные отложения дельт и террас;  современные отложения формации Равабе;  фундамент; нижний-средний протерозой;  фундамент; нижний протерозой;  фундамент; протерозой с проявлениями гранитов и кварцитов

рельефа и климата, рельефа и климата, характеристика поверхности. Нефтегазogeологическая информативность материалов дистанционных съемок определяется наличием унаследованности геологического строения в истории формирования геологических структур, отражения эндогенного и экзогенного процессов в ландшафте [14]. Элементы унаследованного развития структур, часто едва заметные или совсем незаметные при наземных наблюдениях, могут быть легко выявлены на материалах

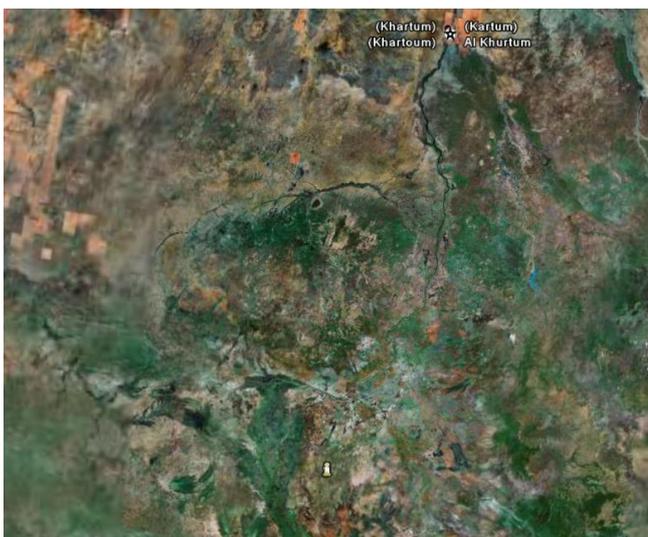
дистанционных съемок [15,16].

Например на геологических картах Центральной Африки в бассейнах рек Бахр-эль-Араб и Джуба представлены лишь площади распространения кайнозойских отложений среди выступов мела и палеозоя (рис.1). На тектонических картах здесь обычно изображается синеклиза.

На космических изображениях соответствующего масштаба территория предстает как отчетливо выраженный сложный грабен (рис.2), на котором хорошо



*a*



*б*

**Рис.2. Космическое изображение района долин Бахр-эль-Араб и Джуба: *a* – перспективное изображение, вид с запада на восток; *б* – плановое изображение**

видны в виде линеаментов ограничивающие его разломы, а по выраженности форм рельефа поднимающиеся (борта грабена) и прогибающиеся (внутренняя часть грабена) его части. При рассмотрении территории в более крупном масштабе можно видеть его внутреннюю структуру.

Для того, чтобы максимально использовать возможности космических изображений, нужно так подбирать разрешения и спектральные каналы изображений, сезоны съемки, способы их обработки, чтобы интересующие исследователя объекты были бы максимально проявлены. С этой целью необходимо изучить геологическое строение территории и выявить критерии и признаки нефтегазоносности изучаемого района и возможности их проявления в ландшафте и на снимках.

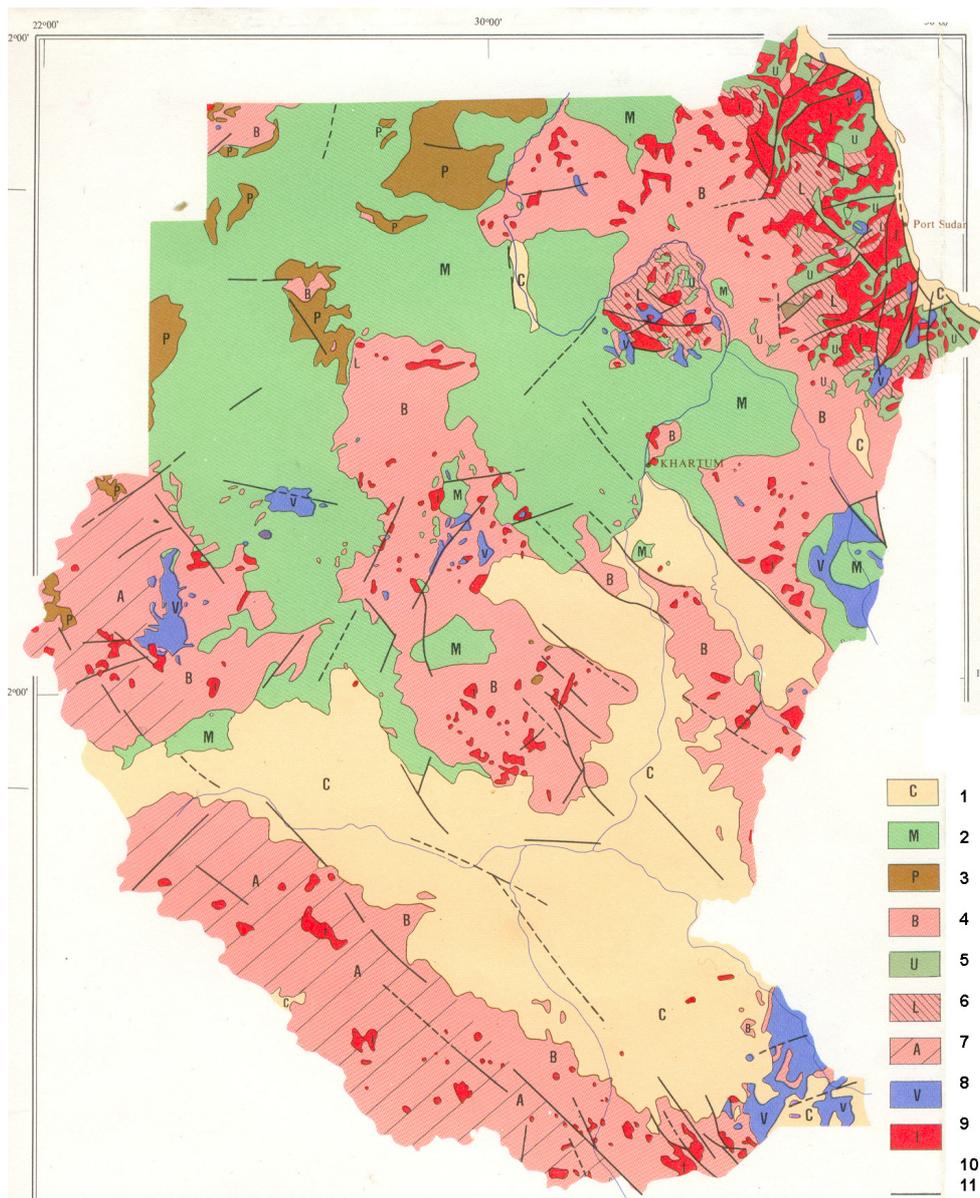
### Геологическое строение района исследования

Нефтегазогеологическое дешифрирование космических изображений рассматривается ниже на примере участка, расположенного в Центральной Африке (Южный Судан). В геологическом отношении это Суданский рифтовый бассейн, состоящий из рифтов Муглад, Баггара и Судд. Здесь расположен осадочный бассейн Муглад (рис.3), развивавшийся на площади одноименного рифта – западного ответвления африканской системы рифтов (рис.4) с сильно нарушенными разломами меловыми отложениями песчаников (рис.5).

Ловушки здесь тектонически экранированные или связанные с небольшими (3-5 км) антиклинальными складками, осложненными разломами (рис.6).

Покрышками являются глины. Венчают разрез третичные глинисто-песчаные отложения и четвертичные аллювиальные глины. Рельеф этого района плоский, перепады высот едва достигают 20 см на 1 км, поэтому обычные методы геоморфологического анализа, основанного на изучении закономерностей изменения микрорельефа для анализа современных тектонических движений, здесь неприменимы.

Для района характерны два времени года – дождливый (апрель-октябрь), когда реки выходят из берегов и затапливают всю территорию картирования, и засушливый (ноябрь-март), когда территория постепенно осушается. Следовательно, методы прогноза месторождений, основанные на спектрометрическом анализе изображений и поисках фотоаномалий, вызванных восстановительными реакциями над месторождениями или угнетением микрофлоры и изменением характера почвенного и растительного



**Рис.3. Фрагмент тектонической карты Африки: 1 – кайнозой; 2 – мезозой; 3 – палеозой; 4 – недифференцированные комплексы неизвестного возраста; 5 – верхний протерозой; 6 – средний-нижний протерозой; 7 – архей; 8 – экстрозивные породы; 9 – интрузивные породы; 10 – осадочный бассейн Муглад; 11 – разломы**



**Рис. 4. Система рифтов Африки (Из книги: Хаин В.Е., Тектоническая карта мира, 1982)**

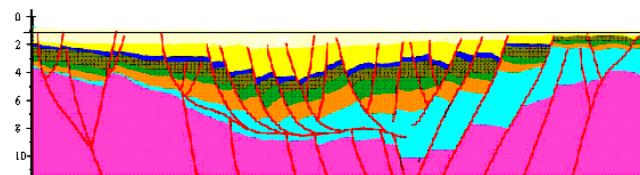
покрова под влиянием мигрирующих вверх углеводородов, здесь не могут быть использованы, потому что периодические наводнения не позволяют накопиться восстановленным компонентам.

Из-за исключительно плоского рельефа реки здесь часто меняют направления, и значительная часть территории покрыта следами их бывших русел (рис.7), поэтому обычные приемы анализа рисунка гидросети здесь также затруднены.

Полевые исследования показали, что исследуемые ландшафты подвержены антропогенному воздействию, несмотря на крайне низкую плотность населения. Местные жители – скотоводы, ведущие кочевой образ жизни. В дождливый период они перемещаются подальше от рек, в сухой – перебираются поближе к болотам. Места своих стоянок они окапывают и огораживают тростниковыми заборами, имеющими, как правило, облик кругов размером в сотни метров (рис.8 а,б).

В последующие годы они иногда возвращаются на прежние места, иногда располагаются неподалеку. А на месте их прежних поселений в течение нескольких лет остаются «кольцевые структуры» (рис.8,в), хорошо видимые из космоса.

По мере использования пастбищ скотоводы поджигают траву, оставляя в ландшафте следы пожаров, отражающих направление господствующих в этот момент ветров (рис.9).



**Рис.5. Схематический разрез субмеридионального направления через осадочный бассейн Муглад**

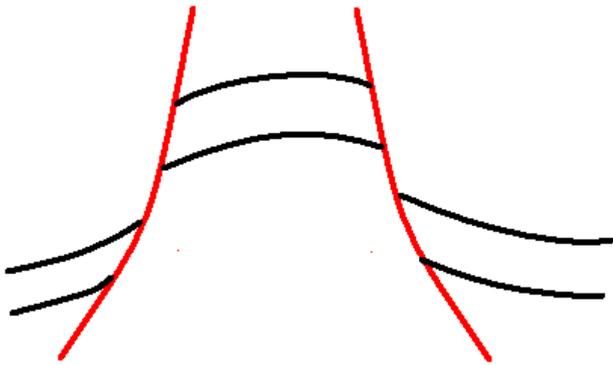
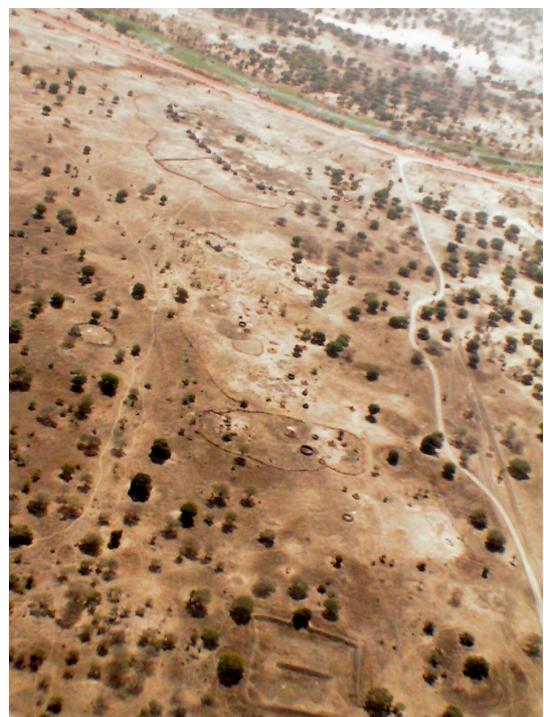


Рис.6. Схема типичной тектонически экранированной ловушки

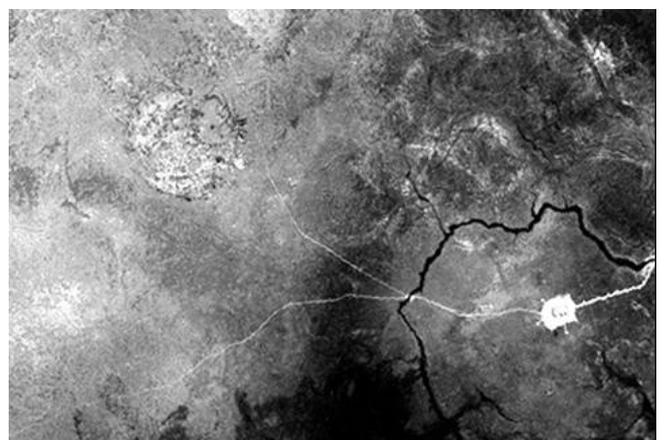
Старые и современные сейсмические профили и дороги хорошо опознаются на изображениях и не могут быть спутаны с природными объектами при визуальном дешифрировании. Однако рисунок гидросети во многих местах осложняется речными протоками, напоминающими каналы, выбивающимися из закономерной сети водных протоков анализируемого района. Иногда реки образуют крестообразные сочетания (рис.10).



а

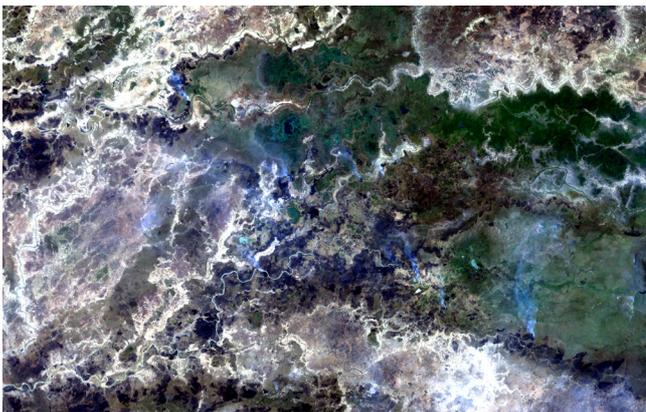


б



в

Рис.8. Антропогенные кольцевые структуры – снимок с вертолета (а,б) и их следы на космическом снимке «Landsat» (в)



а



б

Рис.7. Характер речной сети района исследования: а – фрагмент космического снимка КА «Landsat -7», панхроматическое изображение; б - перспективный аэроснимок, сухие и бывшие русла на плоской равнине района работ



*а*



*а*



*б*



*б*

**Рис.9. Пример антропогенных прямолинейных границ: *а* – выгоревшая саванна, перспективный аэро- снимок; *б* – следы пожаров на космическом снимке, полученном с КА «Landsat»**

**Рис.10. Антропогенные линеаменты: *а* - сейсмиче- ские профили, территория после пожаров с бело- снежными пятнами золы, перспективный аэро- снимок; *б* - крестовидный рисунок речной сети, пер- спективный аэро- снимок**

Полевые и аэровизуальные наблюдения показали, что эти протоки создаются в результате размыва колеи, оставленной вездеходами и болотными лод- ками (рис.11, 12).



**Рис. 11. Техника, создающая впоследствии прямо- линейные речные протоки**



**Рис. 12. Колеи от вездеходов, впоследствии преоб- разующиеся в прямолинейные протоки, перспек- тивный аэро- снимок**

### **Возможные поисковые признаки и критерии нефтегазоносности для района исследования**

Для прогноза и поисков месторождений полезных ископаемых с одной стороны используются поисковые признаки и поисковые критерии [17, 18]. Поисковыми признаками называются те наблюдаемые изменения геологической среды, которые указывают на наличие в данном месте искомого полезного ископаемого. Как уже упоминалось, в данном районе из-за постоянных затоплений невозможно ожидать изменений ландшафта, обусловленных наличием месторождений углеводородов в недрах, т.е. поисковых признаков. К поисковым критериям, которые можно ожидать увидеть на космических снимках, относится проявление ловушек – антиклинальных складок, которые могут проявиться в ландшафте в виде кольцевых структур. Особенно важны растущие в настоящее время антиклинальные складки, так как эти процессы указывают на меняющиеся тектонические условия в этом месте в недрах, т.е. существование определенной тектонической аномалии. А так как любое месторождение – это геохимическая аномалия, которая вследствие системных свойств недр неизбежно сопровождается тектонической, литологической, температурной и другими аномалиями недр, можно ожидать связи тектонических аномалий с возможными месторождениями.

Кроме того, дешифруется разломно-блоковая структура. Существующие карты, построенные с помощью интерполяции редкой системы сейсмических профилей, лишь приблизительно отражают строение территории, так как разломы, не пересеченные сейсмическими профилями, ускользают от внимания исследователя, а разломы со смещением слоев менее 30 м не фиксируются сейсморазведкой. Дешифрирование сети линеаментов позволяет увидеть и закартировать полную картину разломов, смещающих нефтеносные пласты друг относительно друга. Сеть линеаментов отражает систему разнонаправленных разрывов разного ранга. И хотя положение каждого отдельного линеамента случайно, в совокупности они выстраиваются в гармоническую закономерную ассоциацию, отражающую напряженное состояние земной коры в изучаемом районе.

### **Достоверность и воспроизводимость геологического дешифрирования**

Обычно схемы геологического дешифрирования снимков, полученные с разных изображений и разными исполнителями, значительно отличаются между собой, что нередко ставит вопрос о достоверности и воспроизводимости результатов дешифриро-

вания [19]. Чтобы увеличить достоверность дешифрирования, применяются различные способы, например для исключения субъективного человеческого фактора.

Применяется дешифрирование в «две» или «три» руки: одни и те же материалы изучаются независимо разными людьми, и в качестве «истинных» принимаются только те контуры и линии, которые были выделены всеми авторами.

Другой способ состоит в том, чтобы дешифрировать разновременные изображения, и в качестве «истинных» оставлять только те, которые встречаются постоянно. Это делается для того, чтобы исключить фотоаномалии, обусловленные эпизодическими явлениями. Недостаток метода в том, что многие геологические структуры проявляются эпизодически, в определенные сезоны, при определенном угле солнца и т.д. В литературе описываются «мерцающие» структуры, проявляющиеся на разновременных изображениях и не всегда [20].

Еще один способ состоит в том, что с итоговой карты убирают все контуры, не нашедшие рационального объяснения после сопоставления с имеющимися геолого-геофизическими материалами или после полевой проверки. Этот способ также имеет недостатки, потому что в этом случае с карт убирается «проблемная» новая информация. Кроме того, когда говорят об информативности, зачастую имеют в виду как раз новые, неизвестные ранее, данные.

Большие надежды повысить достоверность и объективность геологического дешифрирования связываются с применением различных программ обработки видеоизображений. Кроме разных способов улучшения и коррекции изображений, имеются программы выделения на снимках участков с заранее заданным фототонном, фоторисунком линеаментов, заранее заданных форм объектов и т.д. [21,22]. Однако при этом субъективность дешифрирования перемещается на уровень подготовки программ – в выбор доверительных интервалов, уровней квантования и т.д. Программа может быть «осторожным дешифровщиком» и выделять мало, но хорошо, заметных объектов или «решительным исследователем» – выделяя много, но плохо, заметных объектов. Дело пользователя выбрать тот или иной вариант, предложенный программой, ориентируясь часто на субъективные критерии.

Что касается достоверности дешифрирования, мы полагаем, что в идеальном случае составленная схема дешифрирования или карта, построенная на основании геологического дешифрирования, должна быть проверена геофизическими или буровыми работами. Однако часто такая проверка затягивается на годы. Поэтому, вероятно, можно считать карту

достоверной, если она внутренне непротиворечива и допускает проверку в ключевых участках.

Можно применять также ретроспективный анализ, который заключается в том, что схема дешифрирования создается так, как будто бы уже открытые месторождения неизвестны автору, а потом проверяется, совпадают ли прогнозные участки с реально существующими. Для этого необходимо иметь открытые месторождения.

#### **Программа LESSA и её использование для оценки информативности и достоверности результатов геологического дешифрирования**

Одной из наиболее удобных программ для изучения структуры изображения является ПО LESSA – Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis, предназначенная для автоматического поиска линейных элементов изображения и вычисления их статистических характеристик [23,24].

В этой программе не ставится цель указать все явно различимые структуры. Её задача - обратить внимание на слабо заметные структуры, границы, особенности изображения, помочь выбрать тот или иной вариант дешифрирования или дать объективные аргументы для такого обоснования. Ориентация на структуру изображения, а не на фототон (спектральную яркость) обусловлена тем, что последний параметр очень неустойчив, обусловлен не только геологическим строением и меняется в зависимости от сезона, высоты солнца над горизонтом, погоды и других причин.

Так как текстура изображения обусловлена распределением и ориентацией мелких линейных элементов фоторисунка, то первый шаг анализа – обнаружение этих линейных элементов, которые мы будем называть штрихами. Чем меньше размер пикселя (больше разрешение снимка), тем меньшие элементы ландшафта формируют штрихи, и в результате получают различные распределения штрихов. Далее будут описаны только те характеристики штрихов, которые были использованы в данной работе.

Следующий шаг – подсчет в скользящем окне суммарной длины штрихов каждого направления и плотности штрихов. Размер этого окна больше первого, использованного для выявления штрихов. Полученную характеристику можно модифицировать и строить на её основе производные показатели. **Суммарная плотность штрихов** подсчитывается в каждом скользящем окне, и по этим данным строится карта плотности штрихов.

Интерпретация карты производится с учетом всех имеющихся сведений о районе. В нашем случае, при мощном чехле горизонтально залегающих

аллювиальных отложений, мы полагали, что поднимающиеся (современная тектоника) блоки будут более интенсивно расчленены мелкими протоками, и на них будет больше мелких штрихов, тогда как погружающиеся участки будут в большей степени заполнены современным пелитовым материалом, и на них будет меньше штрихов.

Обычно считается, что изометричный или слегка вытянутый максимум интенсивности штрихов с постепенно снижающимися к периферии значениями указывает на растущую антиклинальную складку. Линейно вытянутый максимум интенсивности соответствует зоне дробления или оси валлообразного поднятия. Максимум интенсивности с резким переходом к минимуму часто отвечает области современных контрастных вертикальных тектонических движений. При этом максимумам соответствуют поднятия, а минимумам – прогибания. Этот признак в данном исследовании употреблялся наиболее часто. Минимумы интенсивности истолковываются как участки неотектонических (современных) прогибаний. Мозаичное чередование максимумов и минимумов с узкими зонами промежуточных значений свидетельствуют о блоковом, “клавишном”, строении территории, причем блоки активны, они опускаются (фиксировано минимумами) или поднимаются (фиксировано максимумами).

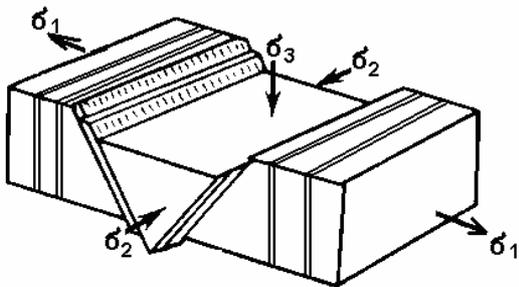
**Роза-диаграмма** представляет собой построенную в центральной проекции диаграмму встречаемости штрихов того или иного направления в элементарном окне, а также общую для всего изображения встречаемость. Ориентировка лучей розы говорит о том, что в рассматриваемом окне преобладают штрихи данных направлений. Самый большой луч указывает преобладающее направление. Изометричная роза без выраженных лучей свидетельствует о том, что на рассматриваемом участке распределение штрихов равномерно по направлениям. Применение контрастно-аналогового принципа к анализу роз-диаграмм позволяет считать, что одинаковые (сходные) розы формируются на одинаковых в тектоническом отношении блоках, и, соответственно, разные – на различных. Поэтому по разнице роз-диаграмм можно выделять различные тектонические блоки на территории исследования. Роза-диаграмма – это интегральная характеристика тектоники изучаемого района.

Карту вектора, показывающего ориентировку самого большого луча розы-диаграммы, т.е. то направление, в котором ориентировано большинство штрихов данного участка, можно использовать для тектонодинамического анализа или для уточнения

выделения блоков, считая, что на едином блоке будет и одинаковая ориентировка максимального луча розы-диаграммы.

Если удлиненность смежных вдоль по направлению удлинения роз-диаграмм продолжает друг друга, её направление можно объединить линией, называемой линией удлинения. Эта линия может плавно изгибаться там, где меняются направления удлинения и прерываться там, где программа не смогла продолжить начатую линию. Перпендикулярно им проходят ортогональные линии – линии «уплощения» роз-диаграмм.

Так как рассматриваемая территория представляет собой в целом зону сбросов, можно полагать, что здесь имеет место горизонтальная ориентировка главных осей растяжения и промежуточной и вертикальная ориентировка оси наибольшего сжатия (рис.13).



**Рис. 13. Ориентировка главных осей напряжений в случае сбросов и раздвигов**

Можно полагать, что здесь, как и в большинстве случаев в приповерхностных условиях, максимумы разрывов, сформировавших штрихи, формируются в обстановке отрыва (хрупкое разрушение). Тогда линии ортогональных направлений можно, с некоторой долей допущения, сопоставлять с ориентировкой оси наибольшего сжатия. Протяженные линеаменты образуются из штрихов, оказавшихся на одной прямой. Степень выраженности линеаментов может задаваться при построении. Можно определить числом, какая часть найденного линеамента подтверждена найденными штрихами. Тогда, в зависимости от этого выбранного числа, для одного и того же снимка можно получить либо большое количество плохо обоснованных линеаментов, либо меньшее их число, но обоснованное большим количеством начальных штрихов. Это число называется уровнем подтвержденности.

Воспроизводимость результатов дешифрирования в данной работе оценивалась визуально, равно

как и информативность. Для примера рассмотрим фрагменты космических изображений, полученные со спутника Landsat-7. Фрагмент имеет размер примерно 50 x 50 км. Этот фрагмент расположен в районе болот и слияний рек. Здесь река Бахр-Эль Газар принимает реку Джур и реку Бахр-эль-Араб, а также другие многочисленные реки и ручьи, образуя озеро Амба. Все фрагменты снимков были подвергнуты одинаковой фотометрической обработке и приведены к одинаковому размеру – 1000 x 1000 пикселей при 8 бит на пиксель; построение роз-диаграмм и их статистических характеристик делалось в скользящем окне размером 64 x 64 пикселя.

### Сравнение особенностей изображений, сделанных в различных условиях

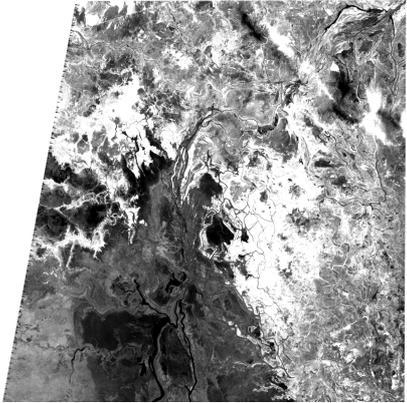
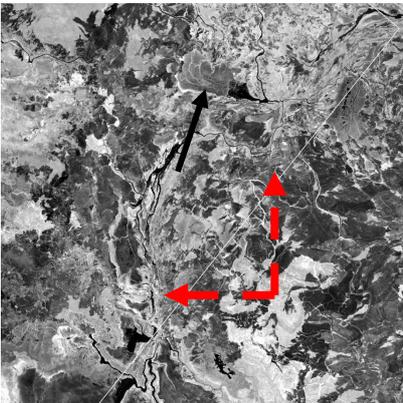
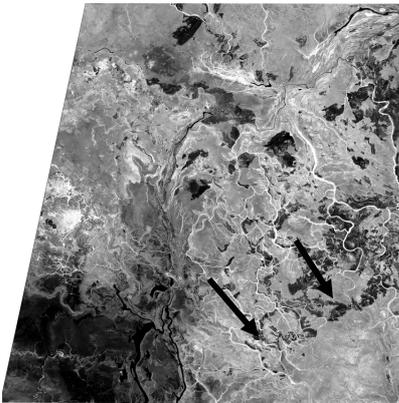
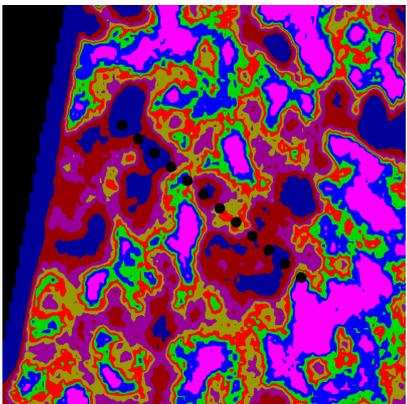
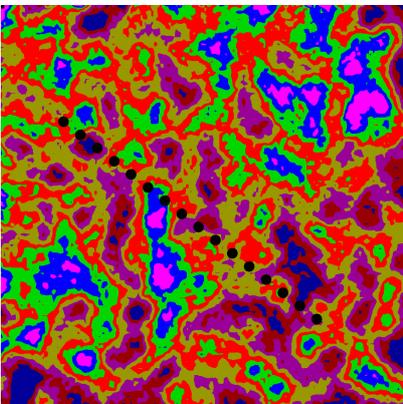
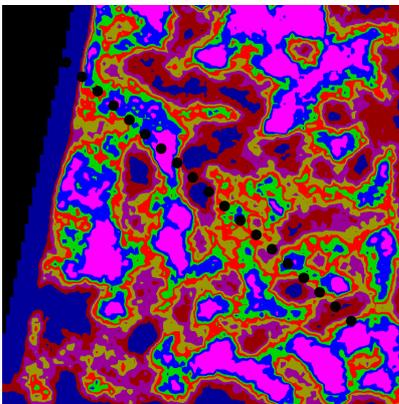
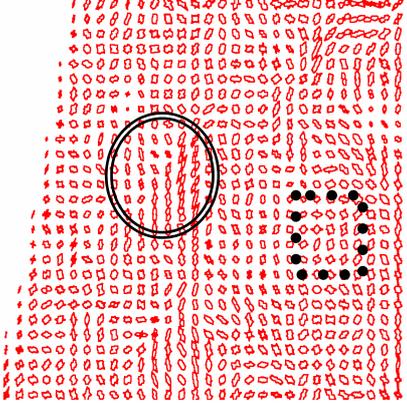
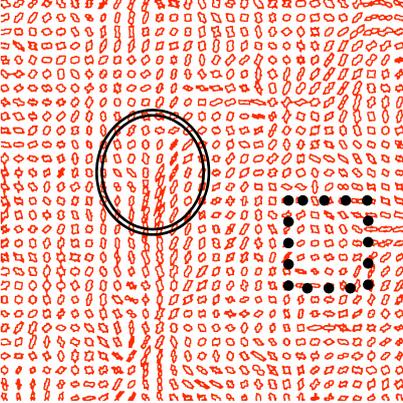
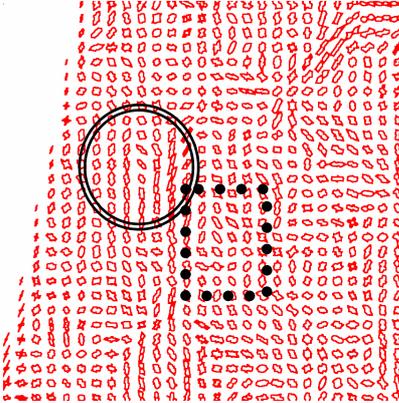
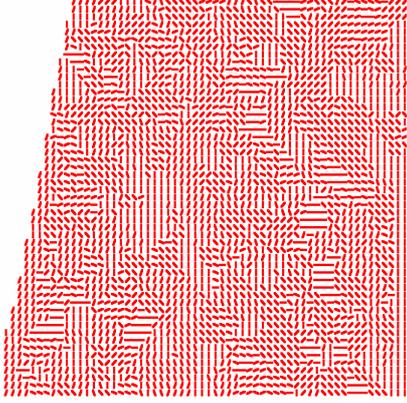
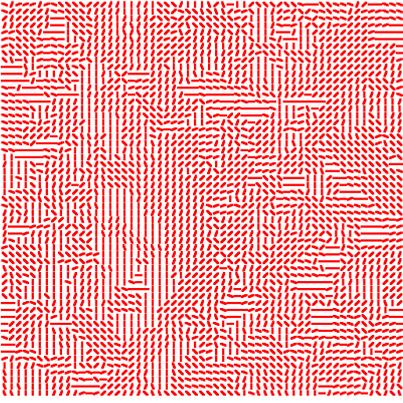
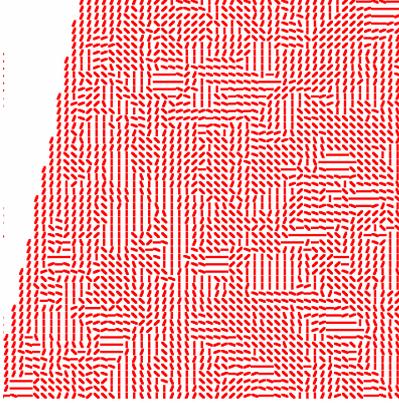
Ниже дано сравнение результатов статистической обработки структуры, сделанных программой LESSA.

В табл. 1 приведены изображения, сделанные в ближней зоне инфракрасного спектра (0,78-0,90 мкм) в разные сезоны съемки: в марте (самое сухое время), в декабре (промежуточное время), в ноябре (когда тропическое солнце еще не высушило саванну), и результаты их обработки.

На инфракрасных изображениях, хотя и можно увидеть рисунок основных рек, однако распределение участков с различным фототонем совершенно различное. Так, на мартовском фрагменте в юго-западном углу имеется широкий клин темного фототона, ограниченный с востока линеаментом (показано двумя стрелками). К востоку от него располагается параллельный ему еще один (показано стрелкой). На декабрьском фрагменте лучше всего виден полосовой линеамент, обусловленный прямолинейным фрагментом реки (показано стрелкой), а на ноябрьском – в юго-восточном углу фрагмента – прямолинейная граница между участками светлого ровного и пятнистого фоторисунка (показано стрелкой). Так же по-разному распределены и максимумы плотности штрихов.

Если же сравнивать между собой картограммы роз-диаграмм ориентировок штрихов, можно видеть, что они значительно больше похожи друг на друга. Их сходство выражается в сходстве их обличий – ориентировке, величине удлинения, изометричности, «звездчатости», как показано в двойных кружках в центрах фрагментов. Однако есть участки, на которых розы-диаграммы совершенно не похожи друг на друга (в пунктирных прямоугольниках). Если сравнивать между собой ориентировку самого большого луча, то картины их распределений практически совершенно не совпадают друг с другом.

Сравнение результатов дешифрирования изображений, сделанных в ближней зоне ИК-спектра (0,78-0,90 мкм) в разные сезоны съемки (фрагмент 1 – восточный, самое мокрое место, растущий купол)

Ф	Март	Декабрь	Ноябрь
Исходный снимок			
Плотность штрихов			
Картограмма роз-диаграмм штрихов			
Картограмма направлений максимального луча роз-диаграмм штрихов			

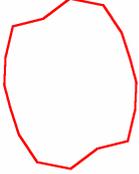
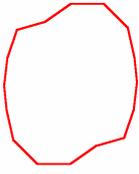
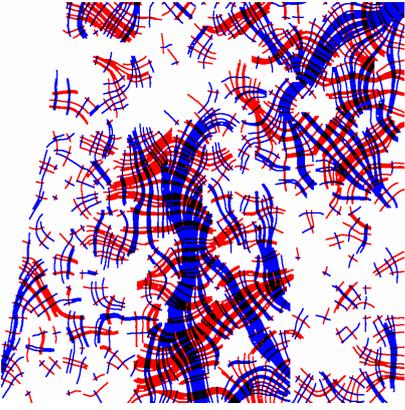
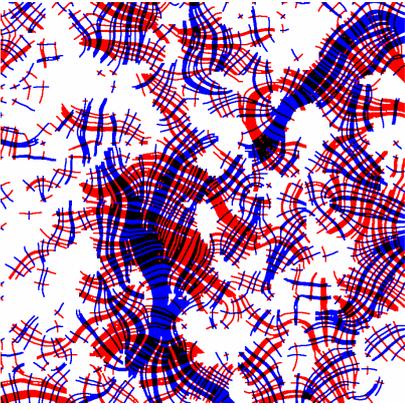
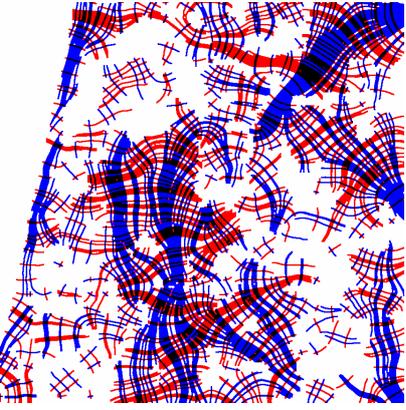
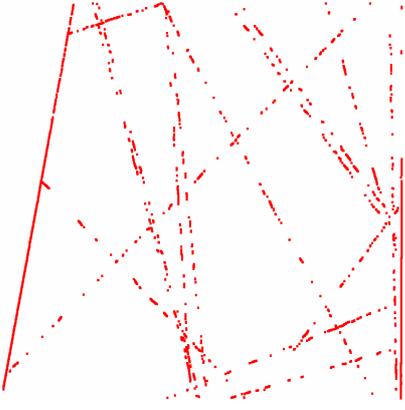
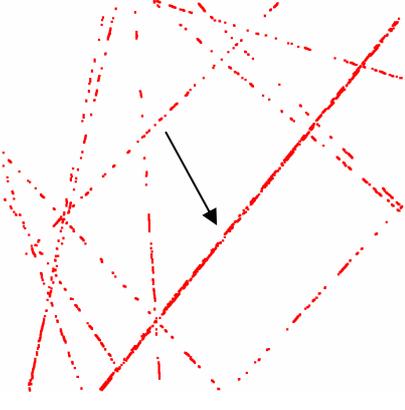
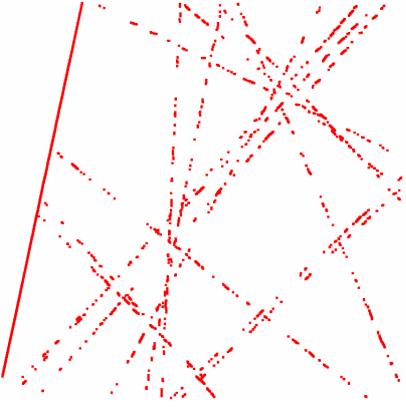
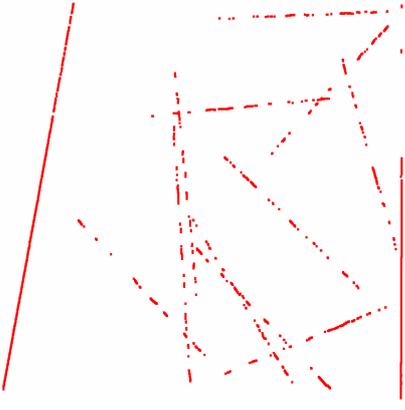
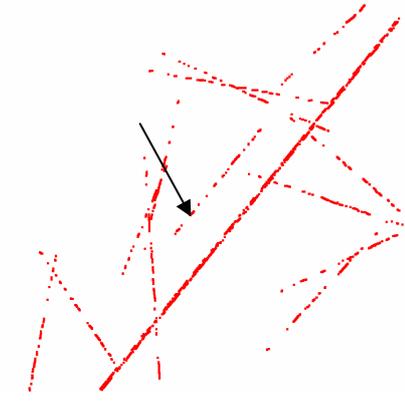
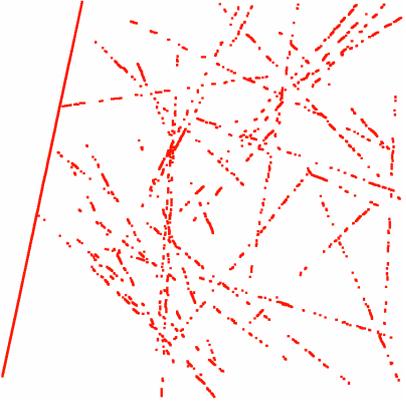
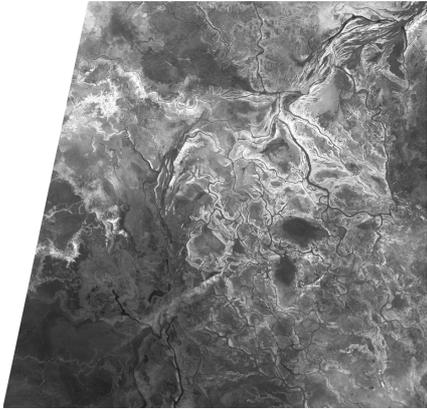
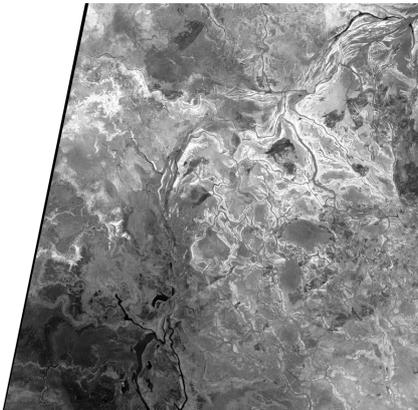
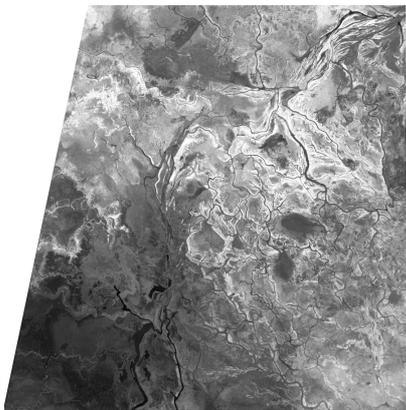
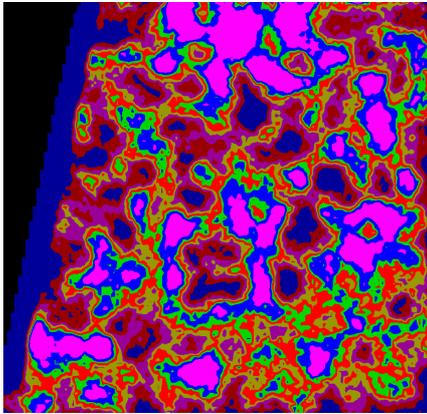
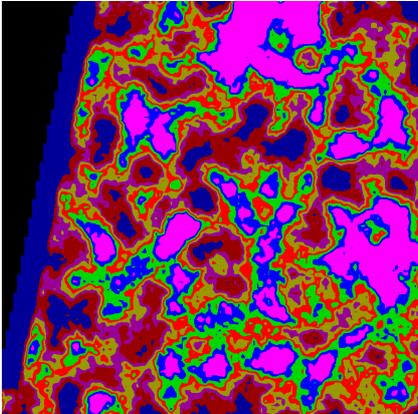
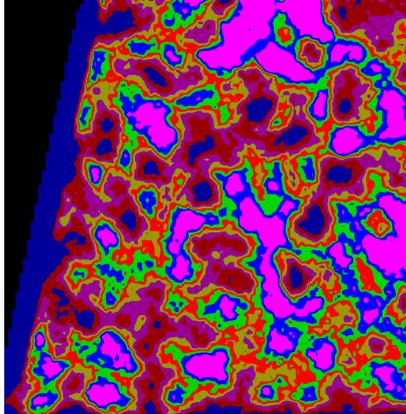
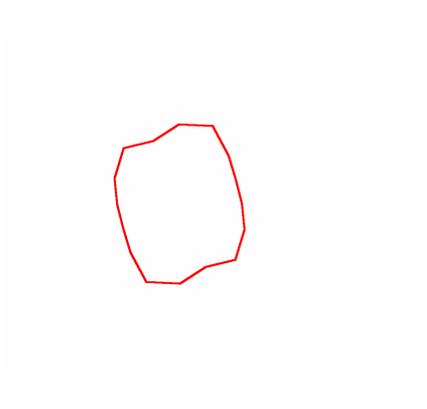
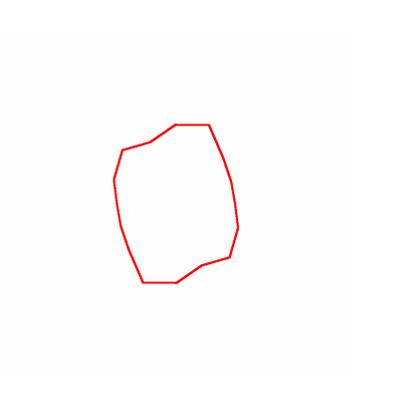
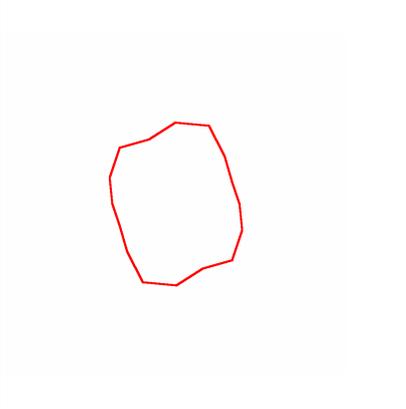
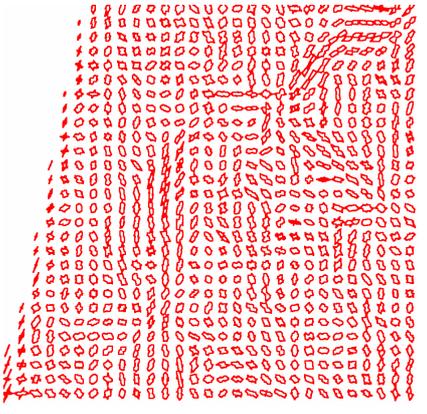
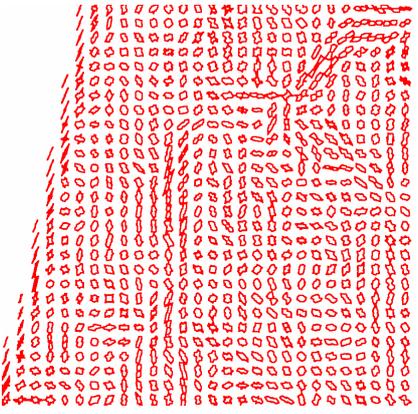
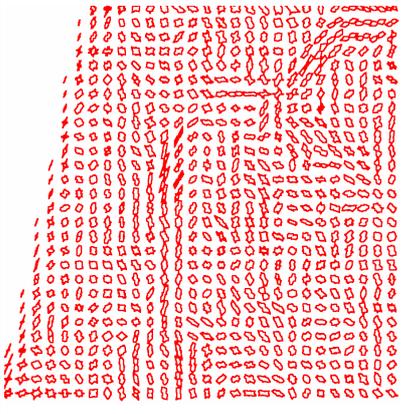
Ф	Март	Декабрь	Ноябрь
Суммарная роза-диаграмма штрихов			
Линии вытянутости роз-диаграмм и ортогональные линии			
Длинные линейменты			
Короткие линейменты			

Таблица 2

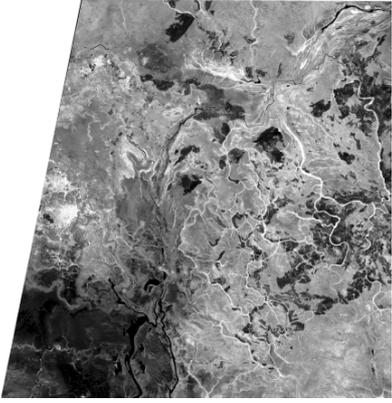
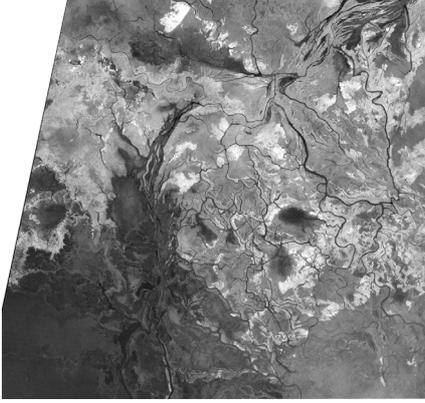
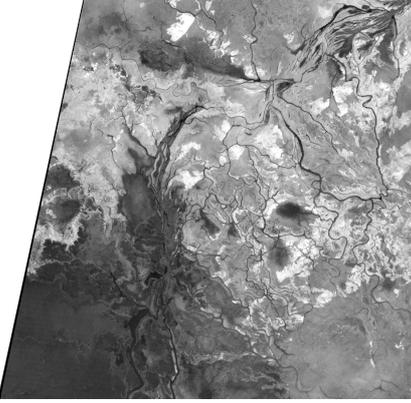
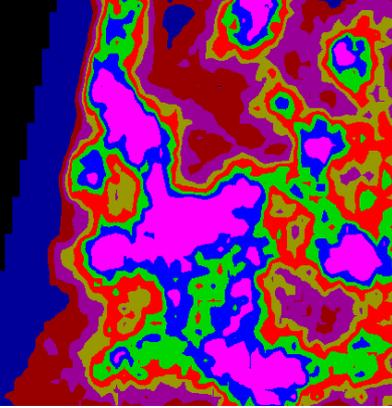
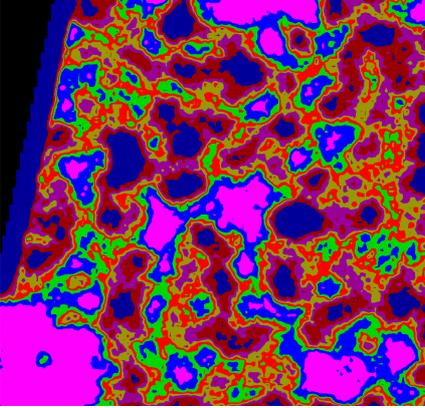
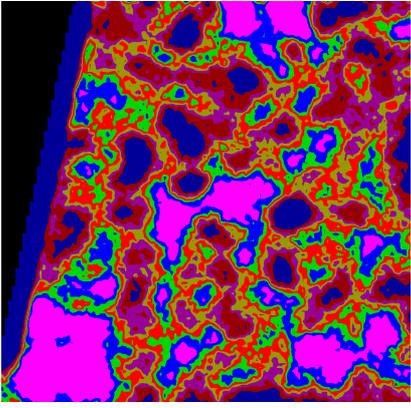
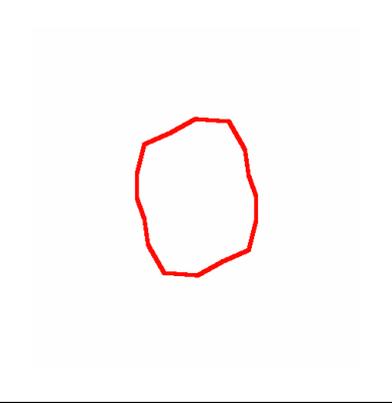
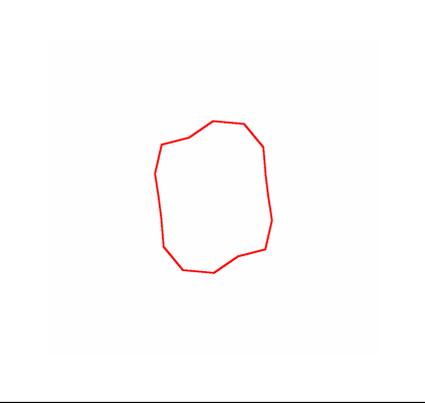
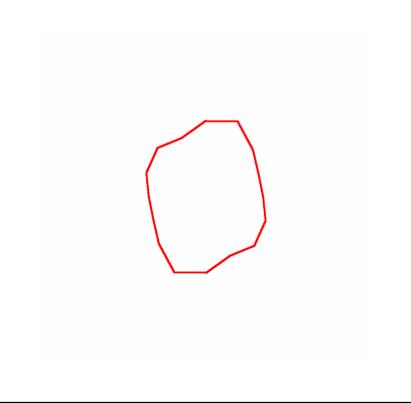
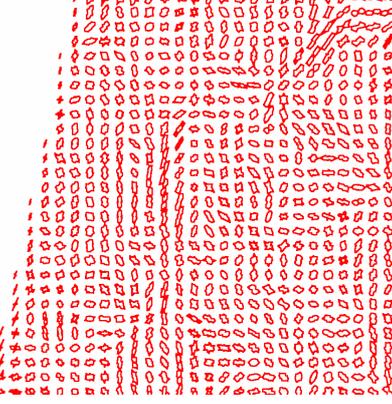
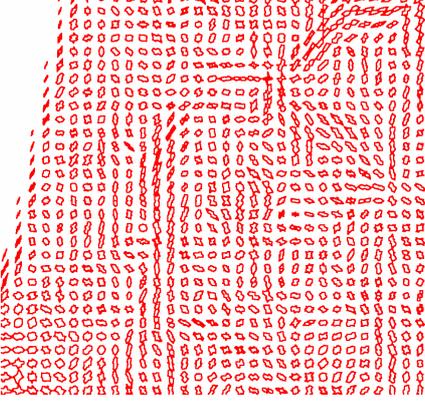
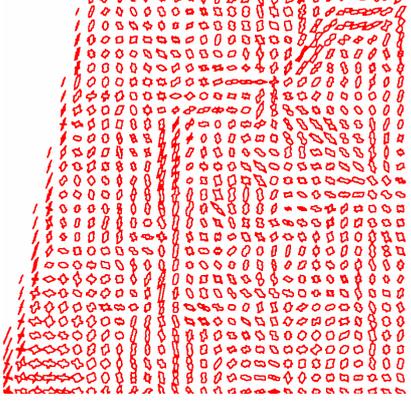
**Сравнение результатов дешифрирования изображений, сделанных в различных зонах видимого спектра (фрагмент 1 – восточный, самое мокрое место, растущий купол)**

ф	Голубой (0,45-0,52 мкм)	Зеленый (0,53-0,61 мкм)	Красный (0,68-0,69 мкм)
Исходный снимок			
Плотность штрихов			
Суммарная роза-диаграмма штрихов			
Картограмма роз-диаграмм штрихов			

ф	Голубой (0,45-0,52 мкм)	Зеленый (0,53-0,61 мкм)	Красный (0,68-0,69 мкм)
Картограмма направлений максимального луча роз- диаграмм штрихов			
Линии вытянутости роз- диаграмм и ортогональные линии			
Длинные линеаменты			
Короткие линеаменты			

Таблица 3

Сравнение результатов дешифрирования изображений, сделанных в различных зонах инфракрасного спектра (фрагмент 1 – восточный, самое мокрое место, растущий купол).

ф	Ближний ИК 0,78-0,9 мкм	Средний ИК 1,55-1,75 мкм	Тепловой ИК 10,40 – 12,50 мкм
Исходный снимок			
Плотность штрихов			
Суммарная роза-диаграмма штрихов			
Картограмма роз-диаграмм штрихов			

ф	Ближний ИК 0,78-0,9 мкм	Средний ИК 1,55-1,75 мкм	Тепловой ИК 10,40 – 12,50 мкм
Картограмма направлений максимального луча роз- диаграмм штрихов			
Линии вытянутости роз- диаграмм и ортогональные линии			
Длинные линеаменты			
Короткие линеаменты			

Таблица 4

## Сравнение результатов дешифрирования изображений, сделанных в различных зонах видимого спектра (фрагмент 2 – центральный, район месторождения Канканг)

ф	Голубой (0,45-0,52 мкм)	Зеленый (0,53-0,61 мкм)	Красный (0,68-0,69 мкм)
Исходный снимок			
Плотность штрихов			
Картограмма роз-диаграмм штрихов			
Картограмма направленный максимального луча роз-диаграмм штрихов			
Суммарная роз-диаграмма штрихов			

Продолжение табл.4

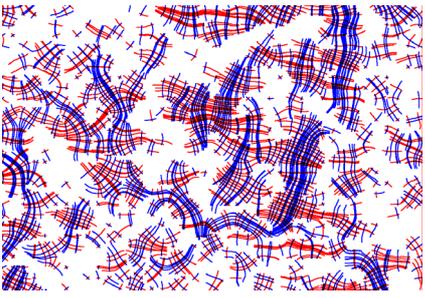
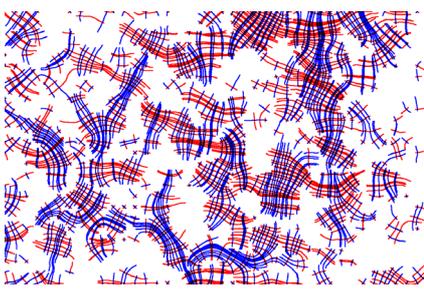
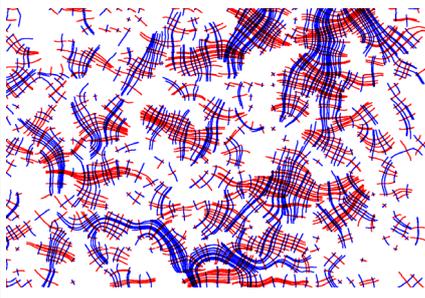
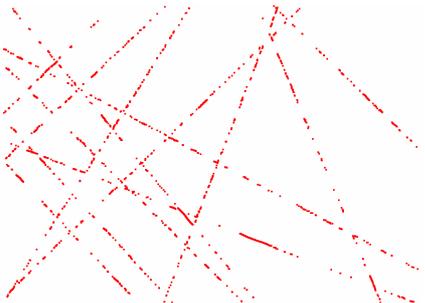
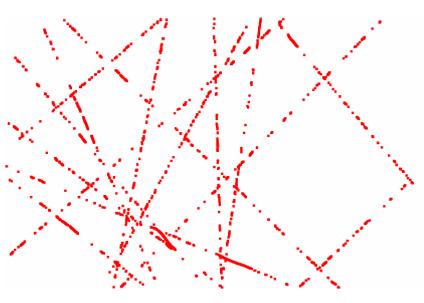
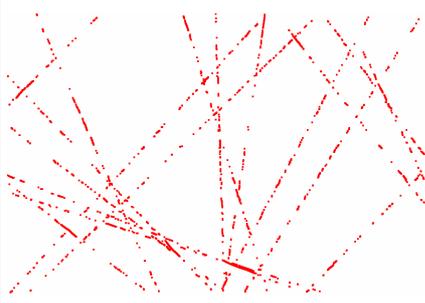
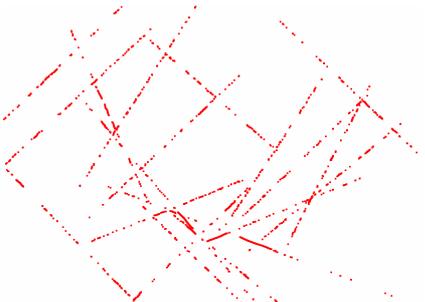
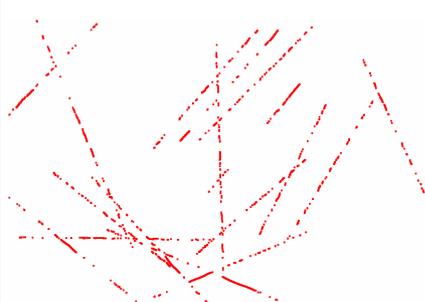
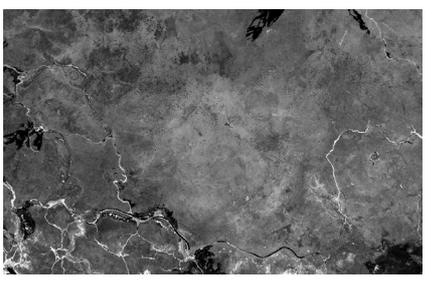
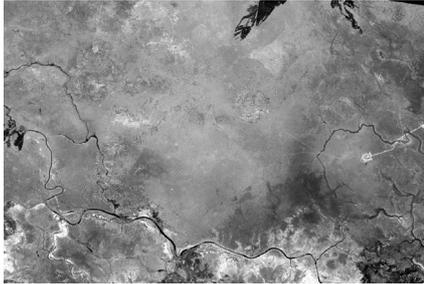
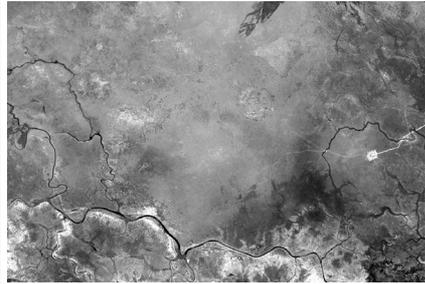
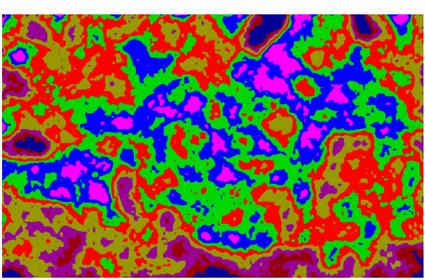
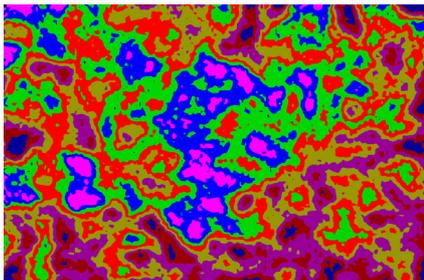
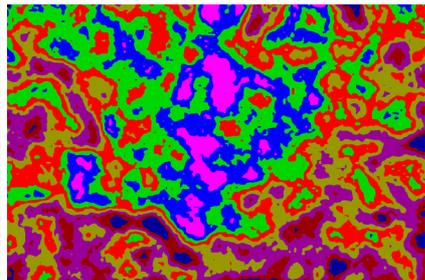
ф	Голубой (0,45-0,52 мкм)	Зеленый (0,53-0,61 мкм)	Красный (0,68-0,69 мкм)
Линии вытянутости роз-диаграмм и ортогональные линии			
Длинные линейменты			
Короткие линейменты			

Таблица 5

Сравнение результатов дешифрирования изображений, сделанных в различных зонах инфракрасного спектра (фрагмент 2 – центральный, район месторождения Канканг)

ф	Ближний ИК 0,78-0,9 мкм	Средний ИК 1,55-1,75 мкм	Тепловой ИК 10,40 – 12,50 мкм
Исходный снимок			
Плотность штрихов			

Продолжение табл. 5

Ф	Ближний ИК 0,78-0,9 мкм	Средний ИК 1,55-1,75 мкм	Тепловой ИК 10,40 – 12,50 мкм
Картограмма роз- диаграмм штрихов			
Картограмма на- правлений макси- мального луча роз- диаграмм штрихов			
Суммарная роза- диаграмма штрихов			
Линии выгнуто- сти роз-диаграмм и ортогональные линии			
Длинные линеаменты			
Короткие линеа- менты			

Глобальные розы-диаграммы, являясь суммарной характеристикой, значительно больше похожи друг на друга. Здесь присутствуют два направления лучей – северо-северо-восточный (азимут  $20^\circ$ ) и северо-северо-западный (азимут  $330^\circ$ ). Другой производный показатель штрихов – линии вытянутости и ортогональные им линии – практически одинаковы на всех трех изображениях. Что касается протяженных линеаментов как «длинных», пересекающих изображение от края до края, так и «коротких», составляющих отдельную часть изображения, в зависимости от уровня подтвержденности выделяется большее или меньшее их количество. Однако основные линеаменты проявляются на всех изображениях. В табл. 2 приведены изображения того же участка, что и в табл. 1, также полученные со спутника «Landsat-7» в ноябре, и результаты их обработки с помощью программы LESSA, сделанные в разных зонах видимого спектра – голубой (0,45-0,52 мкм), зеленой (0,53-0,61 мкм), красной – (0,68-0,69 мкм). Сами изображения практически одинаковы, за исключением отдельных мало-значимых нюансов. Единственное значимое отличие – полосы дыма от пожаров на голубом изображении. Так же похожи, хотя и не одинаковы, и карты плотностей штрихов. Максимальные отличия наблюдаются в юго-западном углу фрагмента снимка в зоне болот.

В табл. 3 приведены те же изображения, но сделанные в различных зонах инфракрасной области спектра. Это ближний ИК-спектр (0,78-0,9) мкм, средний (1,55-1,75 мкм) и тепловой 10,40 – 12,50 мкм диапазоны. Из изображений наиболее отличается от других снимок, сделанный в ближней ИК зоне спектра. Он отличается как по контурам – выделам, так и по их относительной яркости. Снимки, сделанные в среднем ИК диапазоне и в тепловом диапазоне, практически не отличаются друг от друга. Так же похожи, хотя и не одинаковы, и карты плотностей штрихов. Максимальные отличия наблюдаются в юго-западном углу фрагмента снимка в зоне болот, и на снимках, сделанных в ближней ИК зоне спектра. На остальных картах не наблюдается сколько-нибудь значимых отличий. В табл. 4 и 5 приведены фрагменты тех же снимков, но расположенных в основном на некотором удалении от рек на более высохшей территории. Табл. 4 иллюстрирует разницу в изображениях, сделанных в трех зонах видимого спектра. Сами изображения практически одинаковы, за исключением отдельных мало-значимых нюансов. Чуть менее похожи карты плотностей штрихов. Максимальные отличия наблюдаются в северо-западном углу фрагмента снимка на территории максимальных гипсометрических отметок. Картограммы роз-диаграмм обнаруживают еще большее сходство, хотя на отдельных фрагментах территории, особенно на северо-востоке, можно найти и значимые отличия. То же самое можно сказать и о картограмме направлений максимального луча. Обобщенные характеристики структуры изображения

– глобальные розы и линии границ вытянутости – похожи друг на друга в значительно большей степени. Что касается «протяженных» линеаментов, то их отличия обусловлены главным образом величиной «подтвержденности», выбираемой субъективно. На картограммах сознательно приведены линеаменты с различной подтвержденностью, чтобы можно было оценить их различие. В табл. 5 приведены те же изображения, но сделанные в различных зонах инфракрасной области спектра. Это ближний ИК-спектр (0,78-0,9) мкм, средний (1,55-1,75 мкм) и тепловой (10,40 – 12,50 мкм) диапазоны. Из изображений наиболее отличается от других снимок, сделанный в ближней ИК зоне спектра. Он отличается как по контурам – выделам, так и по их относительной яркости. Даже очень хорошо видимое на всех других диапазонах изображение скважины на структуре Таммор здесь практически незаметно. Однако именно на этом изображении лучше всего выделяются линеаменты, обусловленные прямолинейными границами фототона (показано красными стрелками). Снимки, сделанные в среднем ИК диапазоне и в тепловом диапазоне, практически не отличаются друг от друга. Так же похожи, хотя и не одинаковы, и карты плотностей штрихов. Максимальные отличия наблюдаются в северо-западном углу фрагмента снимка. Центральная часть фрагмента на всех изображениях характеризуется повышенной расчлененностью, южная – пониженными значениями. Причем группа изображений, сделанных в видимом диапазоне, значительно более похожа друг на друга, чем на изображения теплого диапазона, которые более разнообразны. То же самое можно сказать и о картограммах роз-диаграмм, и о направлениях максимального луча роз-диаграмм. Что касается глобальных характеристик территории, то суммарные розы-диаграммы демонстрируют наличие двух преобладающих лучей северо-восточного и северо-западного направлений. Хорошо видно, что с увеличением длины волны относительный размер северо-западного луча возрастает. Так же возрастает и изометричность роз, уменьшается их вытянутость, что свидетельствует о большей изотропности элементов ландшафта, проявляющейся в тепловом диапазоне по сравнению с более короткими волнами. Так же похожи линии удлинений роз-диаграмм, демонстрируя самые значительные расхождения в северо-восточном углу снимка для теплого диапазона. На остальных картах не наблюдается сколько-нибудь значимых отличий, обусловленных ландшафтами, а не установками представленного материала.

### Выводы

В результате работ по нефтегазогеологическому дешифрированию космических изображений Южного Судана (Центральная Африка) были сделаны следующие выводы по информативности различных дан-

ных дистанционного зондирования и методов их обработки:

1. Наиболее значимы отличия на снимках, полученных в различные сезоны съемки, и в меньшей степени различия имеют место на одном и том же снимке при рассмотрении их в различных диапазонах.

2. В наибольшей степени отличаются снимки, сделанные в ближней инфракрасной зоне спектра, формируя самый контрастный рисунок. Наиболее «компромиссным», усредненным, из всех изображений является снимок красного диапазона.

3. Производные характеристики структуры изображения, полученные программой LESSA (сводная роза-диаграмма, линии удлинения), значительно менее подвержены изменениям, чем непосредственные характеристики изображения – (плотность штрихов). Картинка «протяженных» линеаментов – как «длинных», так и «коротких» зависит, главным образом, от параметра «подтвержденности» линеаментов.

Таким образом, при подборе изображений для нефтегазогеологического дешифрирования необходимо опираться на разносезонные изображения, а в наборе изображений одного снимка оптимальным является набор красного и ближнего инфракрасного диапазонов, удачно дополняющих друг друга. Кроме того, всегда полезно проанализировать снимок панхром (80 nm), который, хотя и затрудняет геологическое дешифрирование излишне пестрой картиной поверхностных образований, но благодаря максимальному разрешению и максимальной приближенности картинке к обыденному опыту, позволяет надежнее разобраться в ландшафтах.

### Литература

1. Кондратьев К.Я. Глобальная экология: Дистанционное зондирование / К.Я. Кондратьев, А.А. Бузников, О.М. Покровский // Итоги Науки и Техники, сер. Атмосфера, океан, Космос, Программа «Разрезь». – М.: ВИНТИ, 1992. – Т.14. – С. 1-312.

2. Флоренский П.В. Комплекс геолого-геофизических и дистанционных методов для изучения нефтегазоносных областей / П.В. Флоренский. – М.: Недра, 1987. – 204 с.

3. Флоренский П.В. Дешифрирование глубинной структуры Туранской плиты по космическим снимкам в связи с поисками месторождений нефти и газа / П.В. Флоренский // Изв.вузов, геология и разведка – 1973. – №7. – С.112-117.

4. Милосердова Л.В. Периодическая сеть разрывов в земной коре и её связь с нефтегазоносностью на примере юга России и прилегающих территорий / Л.В. Милосердова // Тез докл. "Актуальные проблемы состояния и развития нефтегазового комплекса России". – М., 1994.

5. Милосердова Л.В. Зависимость статистических характеристик фотолинеаментов от масштаба дешифрируемых изображений и методики их дешифрирования на сочленении Прикаспийской, Волго-Уральской и Предуральской нефтегазоносными провинциями / Л.В. Милосердова // Тез.докл. XVII Губкинских чтений. – М., 2004.

6. Макриденко Л.А. Применение космической информации для нефтегазопроисковых работ в Центральной Африке / Л.А.Макриденко, К.А.Боярчук, Дж.Вебб [и др.] // Тр. Меж-

дународной конференции «Космическая съемка – на пике высоких технологий». – М., 2007.

7. Макриденко Л.А. Геологическая интерпретация космических снимков для прогнозирования месторождений нефти и газа (на примере фрагмента грабена Муглад Центральной Африки) / Л.А.Макриденко, К.А.Боярчук, Дж.Вебб [и др.] // Геология нефти и газа.

8. Любимова А.В. Применение данных дистанционного зондирования в геологии и природопользовании / А.В.Любимова // Геоинформатика. – 2001. – №2.

9. Баранов Ю.Б., Киселевский Е.В. К вопросу об использовании геоинформационных систем и космической информации в нефтегазовой отрасли / Ю.Б. Баранов, Е.В. Киселевский // Информационный бюллетень ГИС Ассоциации. – 2007. – № 1 (58).

10. Перцов А.В. Развитие аэрокосмических методов изучения природных ресурсов в XX веке: итоги и перспективы / А.В. Перцов // Отечественная геология. – 2004. – №3.

11. Афанасьев Н.Ф. От аэрофотоизображения поверхности Земли к его геологическому содержанию (эволюция идей космоаэрогеологических исследований) / Н.Ф. Афанасьев // Региональная геология и металлогения. – 2004. – №21.

12. Крупномасштабное прогнозирование оруденения и нефтегазоносности на приполярном Урале/ Г.А.Миловский, В.Д. Бугарь, И.В. Дервянко // Исследование Земли из космоса. – 2004. – №4. – С. 73-81.

13. Методика выявления тектонических ловушек с использованием комплекса дистанционных и геофизических методов / В.Ф. Куприн, С.В. Фролов, О.В. Крылов // Материалы восьмой международной конференции к 60-летию кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых МГУ «Нефтегазовые системы осадочных бассейнов. Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа». – М.: Геос, 2005.

14. Трофимов Д.М. Аэрокосмические и геолого-геофизические исследования закрытых платформенных территорий / Д.М.Трофимов, В.А.Богословский, Е.Б.Ильина [и др.]. – М.: Недра, 1986. – 238 с.

15. Использование космической информации в нефтяной геологии / Под ред Л.Г. Кирюхина, С.Е. Петрова // Труды ВНИГНИ. – М., 1981. – Вып. 232. – 148 с.

16. Космическая информация в геологии. – М.: Наука, 1983. – 536 с.

17. Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых / В.М. Крейтер. – М.: Госгеолтехиздат., 1960.

18. Бакиров А.А. Теоретические основы и методы поисков и разведки скоплений нефти и газа / А.А.Бакиров, Э.А.Бакиров, В.С.Мелик-Пашаев [и др.]. – М.: Высш.шк., 1987. – 384 с.

19. Бакиров Э.А., Милосердова Л.В. Применение дистанционных методов при поисках нефти и газа: учебное пособие / Э.А. Бакиров, Л.В. Милосердова. – М.: Изд-во МИНГ им. И.М.Губкина. – 58с.

20. Использование материалов космических съемок при региональных геологических исследованиях (методические рекомендации / Под ред. Н.В.Межеловского. – М., 1986.

21. Антощенко-Оленев И.В. Возможности и ограничения геологического дешифрирования. / И.В. Антощенко-Оленев // Отечественная геология. – 1997. – №11.

22. Перцов А.В. Развитие аэрокосмических методов изучения природных ресурсов в XX веке / А.В. Перцов // Отечественная геология. – 2004. – №3.

23. Применение системы автоматизированного анализа космических снимков «LESSA» для изучения нефтегазоносных бассейнов / Рябухина С.Г., Дмитриевская Т.В., Зайцев В.А. [и др.] // Тезисы докл. XVII Губкинских чтений. – М.: Изд-во нефть и газ, 2005.

24. <http://www.lineament.ru/>