



ВИЗУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОСМОСНИМКОВ ПРИ РЕШЕНИИ ПРОГНОЗНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

В. С. Старосельцев*, М. И. Муратов*

Кратко рассмотрены возможности использования космоснимков для изучения геологического строения и прогноза скоплений полезных ископаемых. Показана роль комплексирования результатов визуального анализа космоснимков и методов статистической обработки линеаментов, выделенных по аэрофотоснимкам, для прогноза нефтегазоперспективных погребенных поднятий.

Ключевые слова: космоснимки, пликативные и дизъюнктивные дислокации, линеаменты, погребенные поднятия.

VISUAL ANALYSIS OF SATELLITE IMAGES IN SOLVING FORECAST-GEOLOGICAL PROBLEMS

V. S. Staroseltsev, M. I. Muratov

The potentialities of satellite images in studying geology and forecasting mineral deposits are outlined. It is shown the role of integrating results of visual analysis of satellite images and statistical processing methods of lineaments identified by aerial photographs for forecasting oil-and-gas promising buried highs.

Ключевые слова: satellite images, plicative and disjunctive dislocations, lineaments, buried highs.

Аэрофотоснимки поверхности Земли широко применялись отечественными и зарубежными геологами для картирования выходящих на нее разных по составу, а иногда и по возрасту, породных тел, их дислокаций, включая разрывные нарушения. Появление снимков из космоса существенно повысило эффективность решения прогнозно-геологических задач даже при визуальном их анализе, не говоря об использовании компьютерных технологий. Содержательный обзор геологических исследований с помощью космических средств был сделан В. Г. Трифионовым в 2010 г. [6]. В предлагаемой статье кратко охарактеризованы некоторые направления визуального анализа космоснимков, позволяющие получать дополнительную геологическую информацию для решения прогнозных задач.

Несомненное преимущество космоснимков по сравнению с аэрофотоснимками – охват ими более обширных территорий, что позволяет с большим основанием определять протяженные геологические границы, особенно региональные разломы. Возникает возможность выделять и крупные кольцевые структуры. Нередко такие протяженные или крупноплощадные структуры оказываются отражением на поверхности глубокозалегающих геологических тел. Поскольку наиболее ярко отражаются новейшие геодинамические явления, то из глубинных структур становятся заметными в основном активизированные в новейшее время. Значительную помощь оказали космические снимки и в расшифровке структуры областей с покровно-надвиговым строением [2–4], а также в изучении очаговых областей будущих землетрясений [1], в пределах которых накануне

проявляется активизация трещин и флюидной проницаемости, что обуславливает возрастание выраженности линеаментов.

Огромную роль в расшифровке геологического строения изучаемых территорий играет и высокое качество космических снимков, особенно цветных. На рис. 1 приведен фрагмент космоснимка бассейна Амадеус в центральной Австралии, подготовленный в м-бе 1:250 000, что соответствует масштабу их государственной геологической съемки. Важно подчеркнуть, что на всех космоснимках этой территории без искажения выдерживается единый масштаб, что существенно облегчает составление геологической карты. На данном фрагменте к востоку от 134° восточной долготы вдоль 24° южной широты в рельефе поверхности визуально заметно четко выраженное сложное сочетание пликативных и дизъюнктивных дислокаций комплекса слоистых пород. Изучив последние в обнажениях по рассекающим местность речным долинам, можно прямо по космоснимку составить кондиционную геологическую карту не только м-ба 1:250 000, но и существенно более крупного. При этом существенно уменьшится количество точек полевых наблюдений, что, естественно, обеспечит снижение себестоимости работ.

Другой пример использования качественного цветного космоснимка той же территории вблизи пересечения 134° восточной долготы и 25° южной широты (рис. 2) позволяет продемонстрировать технологию прогноза перспективного на нефть и газ погребенного поднятия. При внимательном его рассмотрении наблюдается изометричное пятно выходов коренных пород в окружении сплошного поля песчаных гряд современного пустынного рельефа, которое с востока и севера огибает меандрирующая река (Finke). Такое соотношение

* ФГУП «СНИИГГиМС», Новосибирск

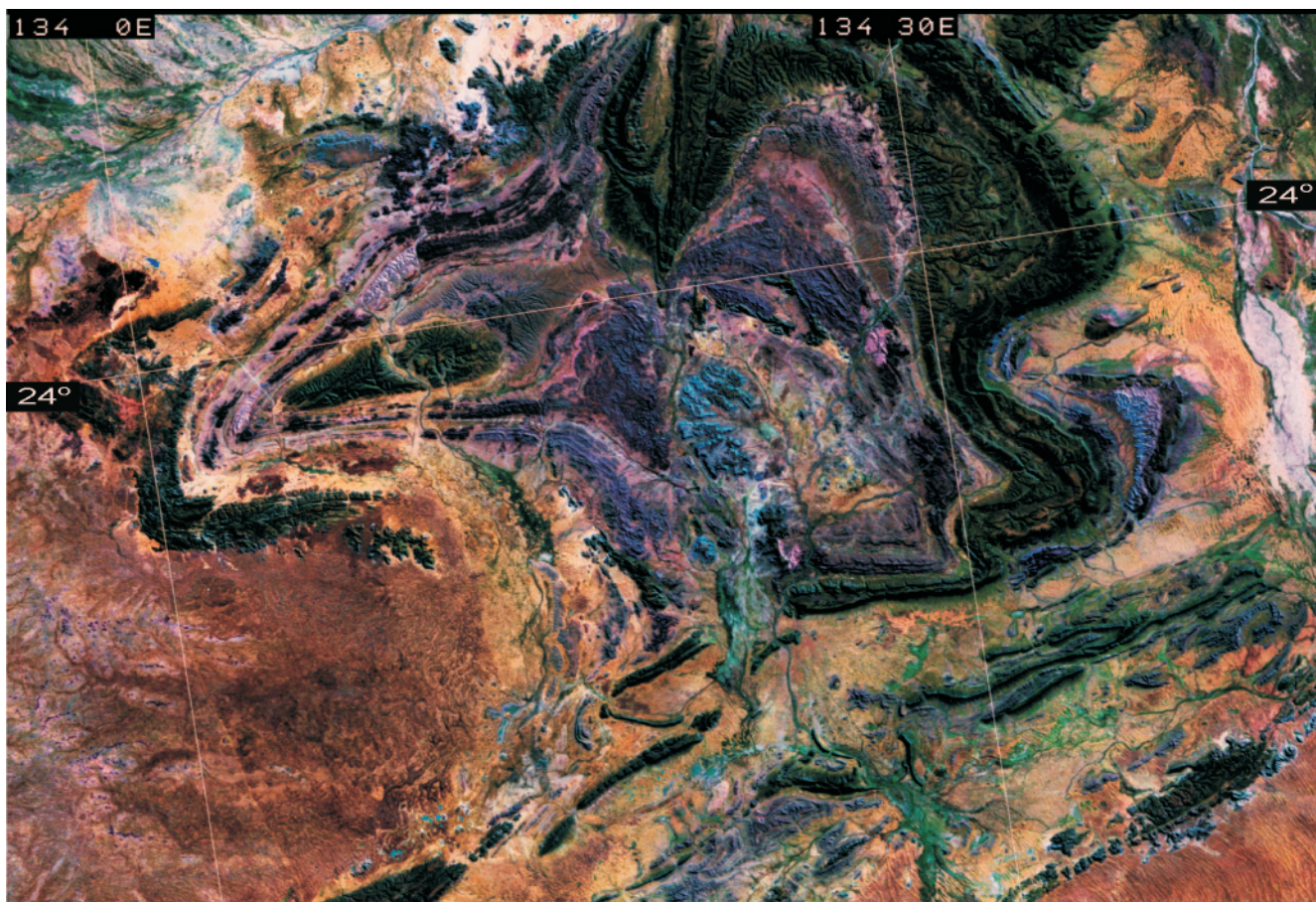


Рис. 1. Фрагмент космоснимка бассейна Амадеус с ярко выраженными дислокациями коренных пород

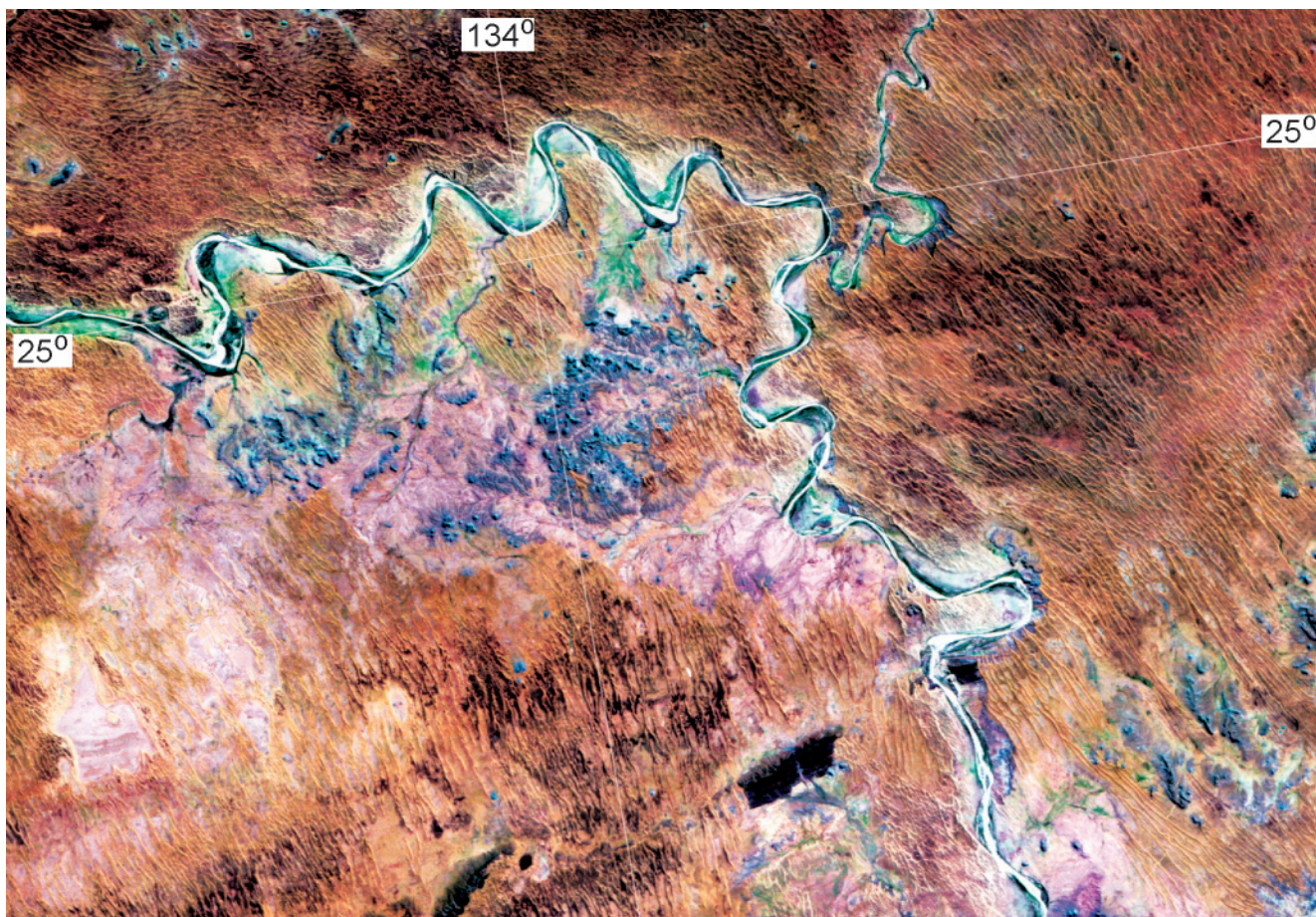


Рис. 2. Фрагмент космоснимка бассейна р. Амадеус с признаками погребенного поднятия

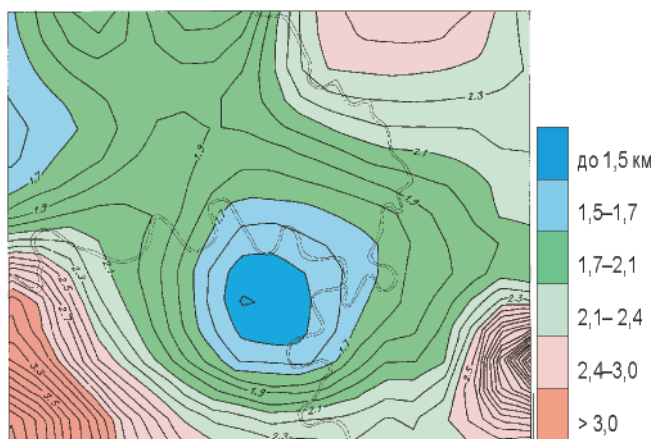


Рис. 3. Карта изолиний удельной протяженности линейментов Σ_1/n (км) в бассейне Амадеус на Австралийской платформе (Σ_1 – суммарная длина линейментов в элементарной ячейке, n – их количество)

пород с гидросетью позволяет предположить наличие новейших восходящих движений в районе выхода коренных пород.

Чтобы проверить это предположение, авторами проведено дешифрирование аэрофотоснимков м-ба 1:80 000 с целью выделения линейментов тектонической природы, для которых по ранее разработанной методике [5] определялись независимые статистические показатели в элементарных ячейках (2×2 км) изучаемой территории: удельная протяженность и протяженность линейментов, отклоняющихся по направлению от пиков их региональной розы-диаграммы. Как показал анализ таких статистических показателей линейментной сети для эталонных погребенных поднятий, над их апикальной областью формируются минимумы удельной протяженности и максимумы отклоняющихся по направлениям линейментов.

Результаты дешифрирования линейментов и определения статистических характеристик их удельной протяженности и отклонений в ориентировке для территории, приведенной на рис. 2, отражены на рис. 3 и 4. Их анализ показывает, что над первоначально предполагавшимся при визуальном рассмотрении космоснимка поднятием располагается минимум удельной протяженности линейментов (см. рис. 3) и максимум – линейментов отклоняющихся ориентировок (см. рис. 4). Следовательно, есть веские основания ожидать наличие на изучаемой территории поднятия глубокозалегающих и, вероятно, нефтегазоперспективных горизонтов.

Проведенные для проверки сделанного нами прогноза профили сейсморазведки МОГТ позволили построить структурную карту по одному из глубокозалегающих отражающих горизонтов (рис. 5). Пробуренная затем глубокая скважина на локальном поднятии, осложняющем северный склон основного поднятия, вскрыла продуктивный горизонт песчаников Хеветри (рифейского возраста), из которого в открытом стволе был получен газонефтяной фонтан (рис. 6). Сравнение гипсомет-

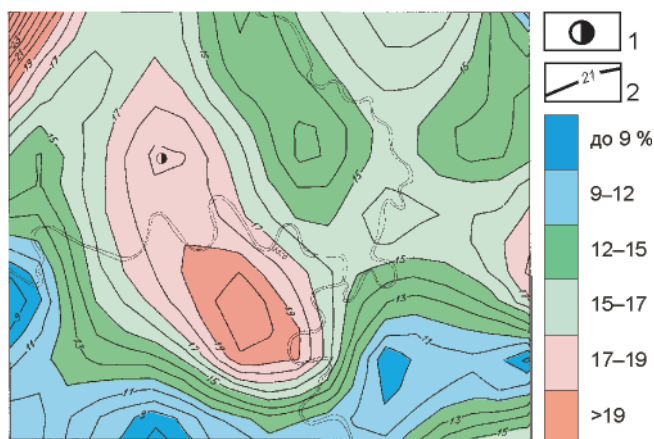


Рис. 4. Карта изолиний отклонений в ориентировке линейментов от пиков региональной розы-диаграммы

1 – скважина, в которой с глубины 2300 м получен нефтегазовый фонтан; 2 – изолинии отношения суммарных длин (Σ_0/Σ_1 , %, где Σ_0 – суммарная длина линейментов, отклонившихся по ориентировке, в элементарной ячейке)

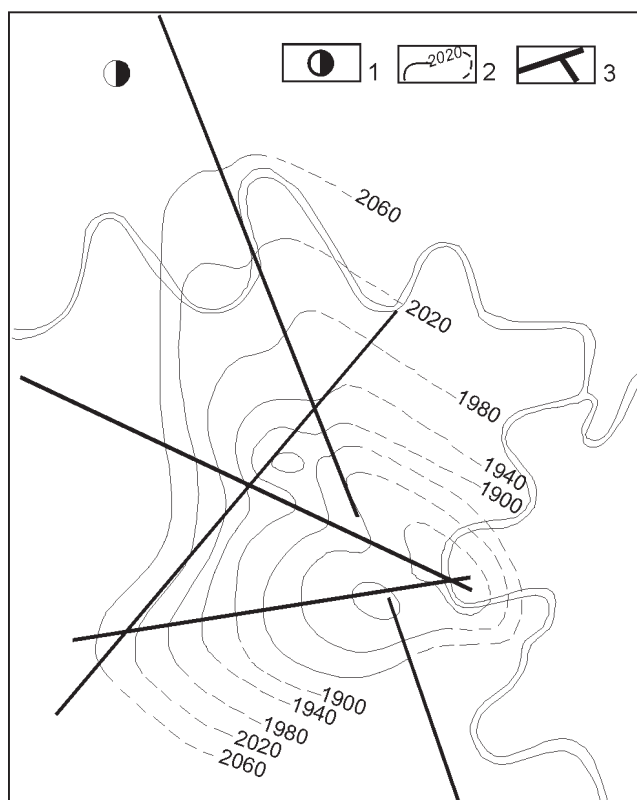
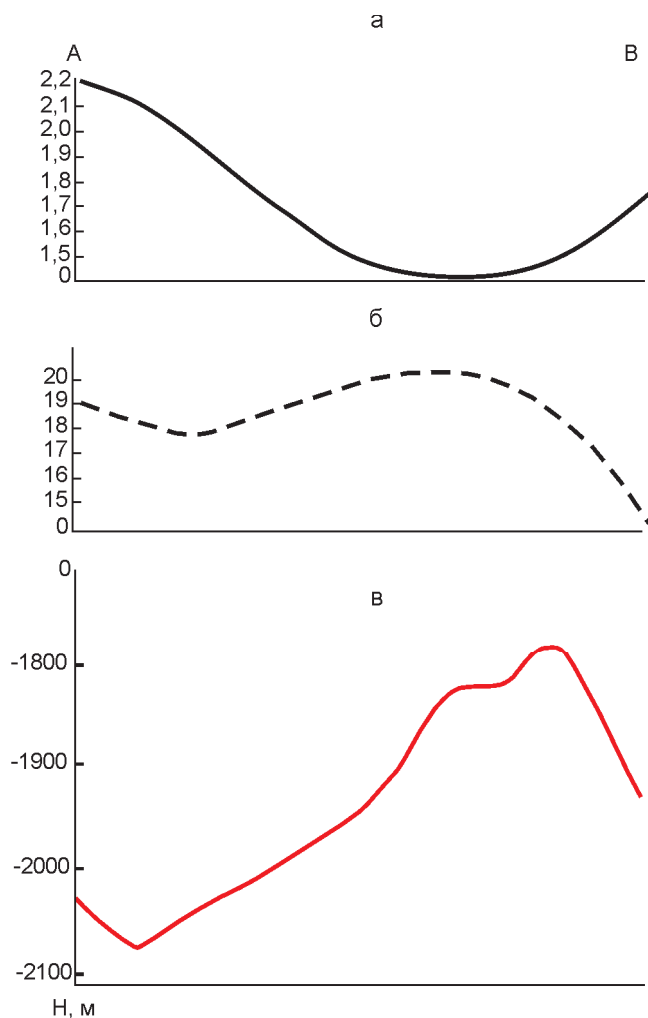


Рис. 5. Структурная карта опорного сейсмического горизонта

1 – скважина, в которой с глубины 2300 м получен нефтегазовый фонтан; 2 – изогипсы опорного сейсмического горизонта; 3 – линии сейсмических профилей

рического положения отражающего сейсмического горизонта на субмеридиональном композитном профиле и положения кривых удельной протяженности всех линейментов и линейментов с отклоняющейся ориентировкой показывает (рис. 7), что над поднятием сейсмического горизонта фиксируется минимум первого статистического показателя линейментной сети и максимум – второго.

**Рис. 6.** Газонефтяной фонтан из глубокой скважины в пределах прогнозируемого погребенного поднятия

Таким образом, поднятие, намеченное в результате визуального анализа космоснимка, полностью подтвердилось сначала по статистическим показателям линеаментной сети, выделенной при дешифрировании аэрофотоснимков, а затем по материалам сейсморазведки МОГТ и последующего глубокого бурения. Приведенный пример показывает, насколько важно наличие качественного космоснимка для предварительного прогноза и выбора участка для дальнейших более детальных работ.

Значительный объем дополнительной информации для решения прогнозных задач при выделении нефтегазоперспективных объектов связан с периодической повторяемостью цветных космоснимков земной поверхности. Их сравнительный анализ показывает, что иногда на одних и тех же участках фиксируются заметные различия цвета поверхности при сравнении снимков, сделанных в разное время, как, например, для района размещения Верхнечонского и Талаканского газонефтяных месторождений на Непско-Ботубинской антеклизе Сибирской платформы. На космоснимках 2007 г. вблизи скв. 804, пробуренной в узком рифейском грабене северо-западной ориентировки между Талаканским и Таранским месторождениями, на зеленом фоне

Рис. 7. Соотношение гипсометрического положения отражающего сейсмического горизонта и кривых статистических показателей линеаментной сети: а – Σ/n , б – Σ_0/Σ_i (%); в – опорный сейсмический горизонт



Рис. 8. Космоснимок Чайкинской площади с красно-оранжевым треугольником

окружающей местности резко выделяется красно-оранжевое пятно, а на космоснимках 2002–2004 гг. на этом же месте наблюдается фоновая зеленая окраска. Дизъюнктивная нарушенность зоны сопряжения двух месторождений позволяет предполагать возможность периодической вертикальной миграции углеводородов к дневной поверхности в моменты тектонической активации изучаемой территории. В случае совпадения кратковременного поступления углеводородов к поверхности и грозовых разрядов в атмосфере могут создаваться условия для мгновенного их возгорания с обжиганием, но не горением растительного покрова. В результате может появиться красно-оранжевое пятно обгорелых растений, которые в последующие сезоны вновь покрываются зеленью.

Аналогичное красно-оранжевое пятно треугольной формы (рис. 8) зафиксировано на пересечении дешифрируемого на космоснимке 2007 г. разрыва северо-восточной ориентировки с контуром Чайкинского погребенного поднятия, выделенного по независимым статистическим пока-

зателям линеаментной сети. В параметрической скв. 279, пробуренной в южной части прогнозируемого поднятия, при испытании в колонне из пласта органогенных трещиноватых доломитов низов верхнепаршинской подсвиты был получен устойчивый приток газа дебитом 160 тыс. м³/сут с содержанием конденсата до 3,4 м³/сут на штуцере 12 мм. По существу, получены прямые признаки скопления углеводородов в вендских, а возможно, и нижнекембрийских отложениях Чайкинского погребенного поднятия. Именно вблизи этого поднятия на его северо-западной окраине над разрывным нарушением на космоснимке 2007 г. и наблюдается красно-оранжевый треугольник (см. рис. 8), видимо, свидетельствующий о наличии скопления углеводородов на глубине.

При прогнозе скоплений полезных ископаемых значительную роль играют разрывные нарушения различного ранга, включая протяженные региональные разломы. Выделению и прослеживанию последних существенно помогают космоснимки, охватывающие обширные площади. Именно по ним удастся трассировать на боль-

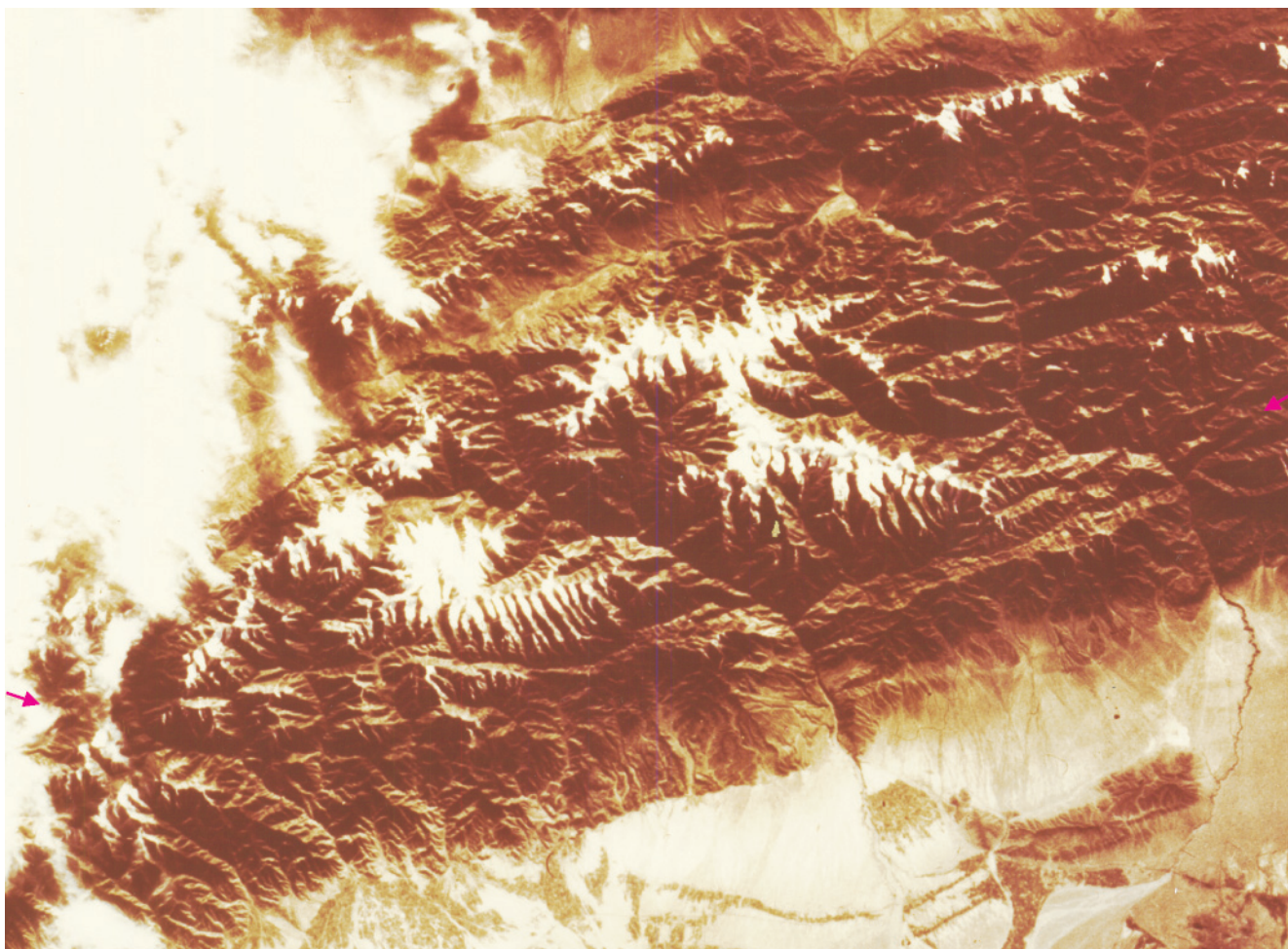


Рис. 9. Субширотный региональный разрыв (обозначен стрелками) в горах Наньшань (Китай)

шие расстояния прямолинейные линеаменты, нередко дискордантно пересекающие ориентированные элементы рельефа земной поверхности. Примером подобных взаимоотношений форм рельефа с протяженными линеаменами может являться фрагмент космоснимка гор Наньшань в Китае (рис. 9). Часто именно такие региональные разломы оказывают контролирующее влияние на формирование скоплений не только рудных полезных ископаемых, но и углеводородов.

Проведенный краткий обзор визуальных подходов к анализу космоснимков показывает, что таким путем без дополнительных существенных затрат могут быть получены важные для изучения геологического строения и прогноза полезных ископаемых аргументы, позволяющие в дальнейшем подойти к более точным обоснованным выводам относительно размещения перспективных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бондур, В. Г.** Космический метод прогноза землетрясений на основе анализа динамики систем линеаментов [Текст] / В. Г. Бондур, А. Т. Зверев // Исследование Земли из космоса. – 2005. – № 3. – С. 37–52.

2. **Будагов, Б. А.** Основные закономерности морфотектонического строения Восточного Кавказа, выявленные методом дистанционного зондирования [Текст] / Б. А. Будагов // Исследование Земли из космоса. – 1985. – № 2. – С. 67–72.

3. **Кузнецов, Е. В.** Особенности геологического строения Полярного Урала и закономерности размещения некоторых полезных ископаемых, установленные с помощью дешифрирования космических и аэрофотоснимков [Текст] / Е. В. Кузнецов // Исследование Земли из космоса. – 1988. – № 6. – С. 66–71.

4. **Неволин, С. Н.** О системе дуговых разломов, пространственно объединяющей зеленокаменные комплексы юго-восточной части Балтийского щита [Текст] / С. Н. Неволин // Исследование Земли из космоса. – 1989. – № 1. – С. 55–58.

5. **Старосельцев, В. С.** Тектоника базальтовых плато и нефтегазоносность подстилающих отложений [Текст] / В. С. Старосельцев. – М.: Недра, 1989. – 256 с.

6. **Трифонов, В. Г.** 30 лет геологических исследований с помощью космических средств: тенденции, достижения, перспективы [Текст] / В. Г. Трифонов // Исследование Земли из космоса. – 2010. – № 1. – С. 27–39.

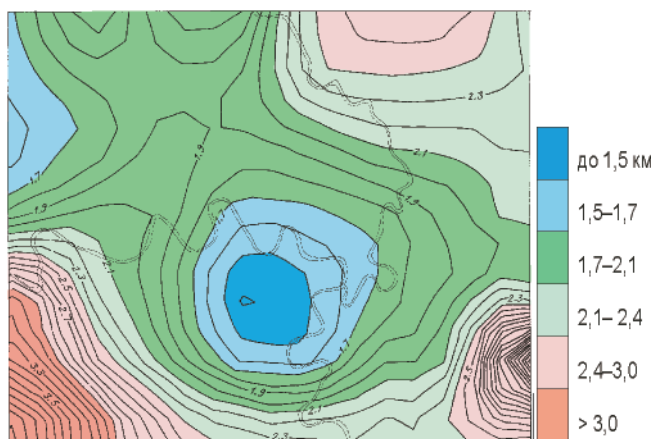


Рис. 3. Карта изолиний удельной протяженности линейментов Σ_1/n (км) в бассейне Амадеус на Австралийской платформе (Σ_1 – суммарная длина линейментов в элементарной ячейке, n – их количество)

пород с гидросетью позволяет предположить наличие новейших восходящих движений в районе выхода коренных пород.

Чтобы проверить это предположение, авторами проведено дешифрирование аэрофотоснимков м-ба 1:80 000 с целью выделения линейментов тектонической природы, для которых по ранее разработанной методике [5] определялись независимые статистические показатели в элементарных ячейках (2×2 км) изучаемой территории: удельная протяженность и протяженность линейментов, отклоняющихся по направлению от пиков их региональной розы-диаграммы. Как показал анализ таких статистических показателей линейментной сети для эталонных погребенных поднятий, над их апикальной областью формируются минимумы удельной протяженности и максимумы отклоняющихся по направлениям линейментов.

Результаты дешифрирования линейментов и определения статистических характеристик их удельной протяженности и отклонений в ориентировке для территории, приведенной на рис. 2, отражены на рис. 3 и 4. Их анализ показывает, что над первоначально предполагавшимся при визуальном рассмотрении космоснимка поднятием располагается минимум удельной протяженности линейментов (см. рис. 3) и максимум – линейментов отклоняющихся ориентировок (см. рис. 4). Следовательно, есть веские основания ожидать наличие на изучаемой территории поднятия глубокозалегающих и, вероятно, нефтегазоперспективных горизонтов.

Проведенные для проверки сделанного нами прогноза профили сейсморазведки МОГТ позволили построить структурную карту по одному из глубокозалегающих отражающих горизонтов (рис. 5). Пробуренная затем глубокая скважина на локальном поднятии, осложняющем северный склон основного поднятия, вскрыла продуктивный горизонт песчаников Хеветри (рифейского возраста), из которого в открытом стволе был получен газонефтяной фонтан (рис. 6). Сравнение гипсомет-

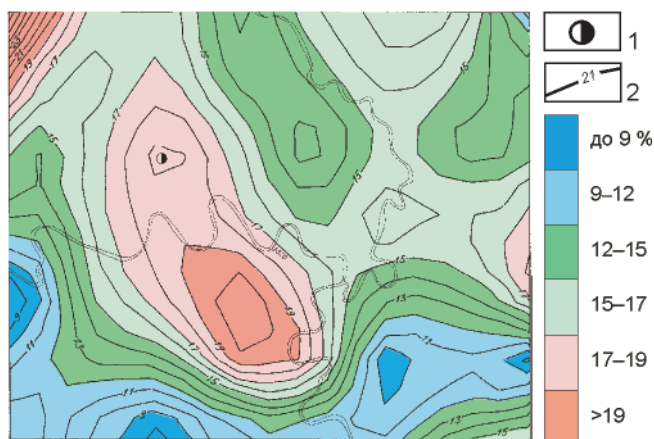


Рис. 4. Карта изолиний отклонений в ориентировке линейментов от пиков региональной розы-диаграммы

1 – скважина, в которой с глубины 2300 м получен нефтегазовый фонтан; 2 – изолинии отношения суммарных длин (Σ_0/Σ_1 , %, где Σ_0 – суммарная длина линейментов, отклонившихся по ориентировке, в элементарной ячейке)

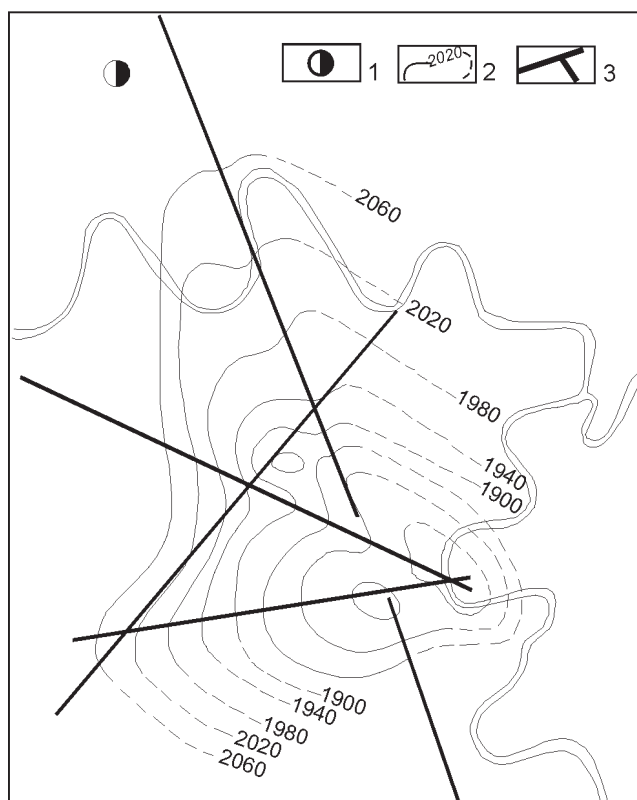


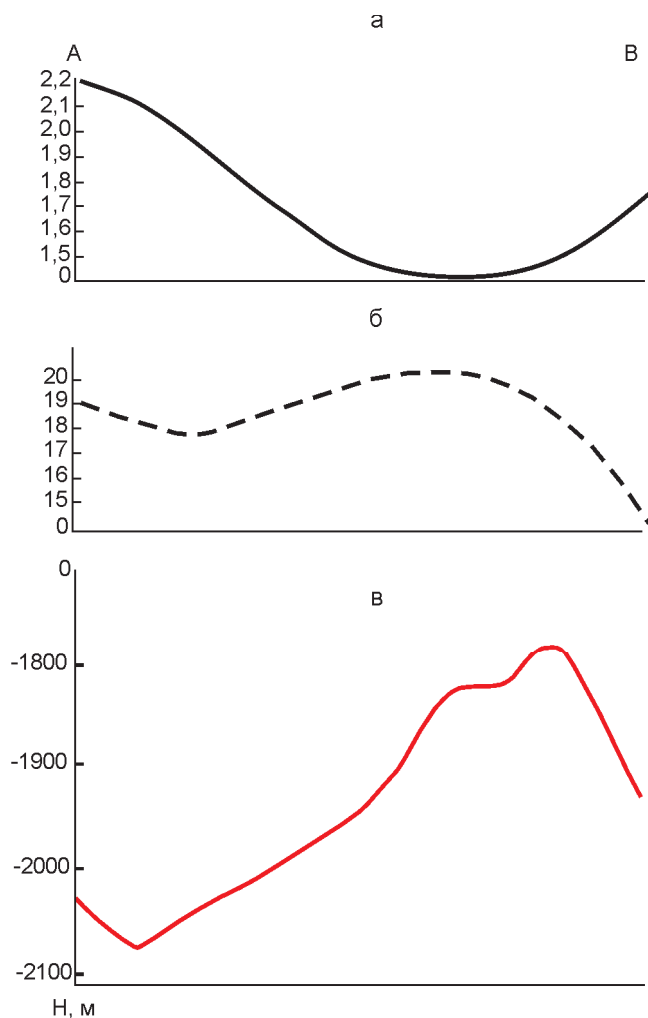
Рис. 5. Структурная карта опорного сейсмического горизонта

1 – скважина, в которой с глубины 2300 м получен нефтегазовый фонтан; 2 – изогипсы опорного сейсмического горизонта; 3 – линии сейсмических профилей

рического положения отражающего сейсмического горизонта на субмеридиональном композитном профиле и положения кривых удельной протяженности всех линейментов и линейментов с отклоняющейся ориентировкой показывает (рис. 7), что над поднятием сейсмического горизонта фиксируется минимум первого статистического показателя линейментной сети и максимум – второго.



Рис. 6. Газонефтяной фонтан из глубокой скважины в пределах прогнозируемого погребенного поднятия



Таким образом, поднятие, намеченное в результате визуального анализа космоснимка, полностью подтвердилось сначала по статистическим показателям линеamentной сети, выделенной при дешифрировании аэрофотоснимков, а затем по материалам сейсморазведки МОГТ и последующего глубокого бурения. Приведенный пример показывает, насколько важно наличие качественного космоснимка для предварительного прогноза и выбора участка для дальнейших более детальных работ.

Значительный объем дополнительной информации для решения прогнозных задач при выделении нефтегазоперспективных объектов связан с периодической повторяемостью цветных космоснимков земной поверхности. Их сравнительный анализ показывает, что иногда на одних и тех же участках фиксируются заметные различия цвета поверхности при сравнении снимков, сделанных в разное время, как, например, для района размещения Верхнечонского и Талаканского газонефтяных месторождений на Непско-Ботубинской антеклизе Сибирской платформы. На космоснимках 2007 г. вблизи скв. 804, пробуренной в узком рифейском грабене северо-западной ориентировки между Талаканским и Таранским месторождениями, на зеленом фоне

Рис. 7. Соотношение гипсометрического положения отражающего сейсмического горизонта и кривых статистических показателей линеamentной сети: а – Σ_l/n , б – Σ_0/Σ_l (%); в – опорный сейсмический горизонт



Рис. 8. Космоснимок Чайкинской площади с красно-оранжевым треугольником

окружающей местности резко выделяется красно-оранжевое пятно, а на космоснимках 2002–2004 гг. на этом же месте наблюдается фоновая зеленая окраска. Дизъюнктивная нарушенность зоны сопряжения двух месторождений позволяет предполагать возможность периодической вертикальной миграции углеводородов к дневной поверхности в моменты тектонической активации изучаемой территории. В случае совпадения кратковременного поступления углеводородов к поверхности и грозовых разрядов в атмосфере могут создаваться условия для мгновенного их возгорания с обжиганием, но не горением растительного покрова. В результате может появиться красно-оранжевое пятно обгорелых растений, которые в последующие сезоны вновь покрываются зеленью.

Аналогичное красно-оранжевое пятно треугольной формы (рис. 8) зафиксировано на пересечении дешифрируемого на космоснимке 2007 г. разрыва северо-восточной ориентировки с контуром Чайкинского погребенного поднятия, выделенного по независимым статистическим пока-

зателям линеаментной сети. В параметрической скв. 279, пробуренной в южной части прогнозируемого поднятия, при испытании в колонне из пласта органогенных трещиноватых доломитов низов верхнепаршинской подсвиты был получен устойчивый приток газа дебитом 160 тыс. м³/сут с содержанием конденсата до 3,4 м³/сут на штуцере 12 мм. По существу, получены прямые признаки скопления углеводородов в вендских, а возможно, и нижнекембрийских отложениях Чайкинского погребенного поднятия. Именно вблизи этого поднятия на его северо-западной окраине над разрывным нарушением на космоснимке 2007 г. и наблюдается красно-оранжевый треугольник (см. рис. 8), видимо, свидетельствующий о наличии скопления углеводородов на глубине.

При прогнозе скоплений полезных ископаемых значительную роль играют разрывные нарушения различного ранга, включая протяженные региональные разломы. Выделению и прослеживанию последних существенно помогают космоснимки, охватывающие обширные площади. Именно по ним удастся трассировать на боль-

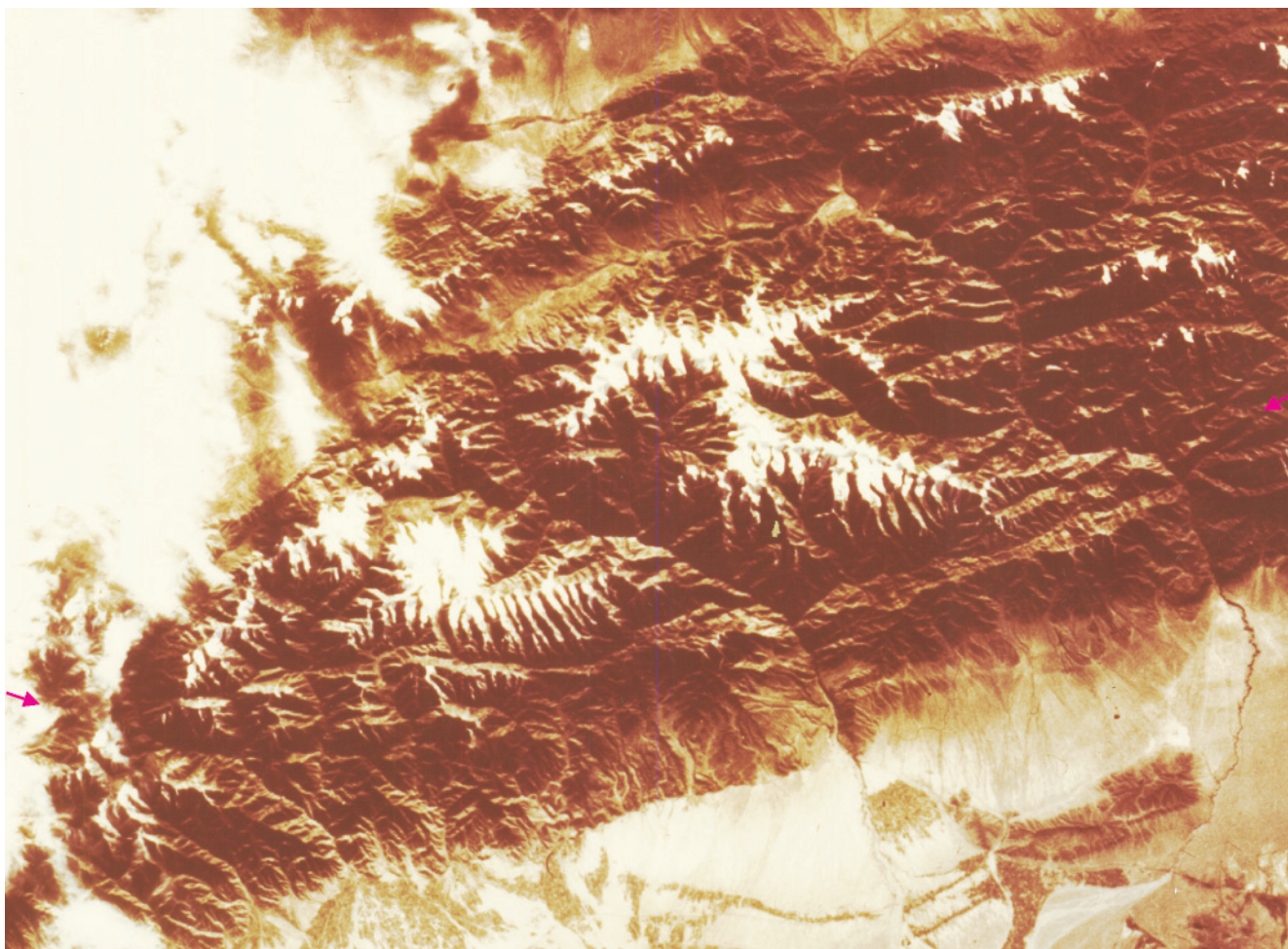


Рис. 9. Субширотный региональный разрыв (обозначен стрелками) в горах Наньшань (Китай)

шие расстояния прямолинейные линеаменты, нередко дискордантно пересекающие ориентированные элементы рельефа земной поверхности. Примером подобных взаимоотношений форм рельефа с протяженными линеаменами может являться фрагмент космоснимка гор Наньшань в Китае (рис. 9). Часто именно такие региональные разломы оказывают контролирующее влияние на формирование скоплений не только рудных полезных ископаемых, но и углеводородов.

Проведенный краткий обзор визуальных подходов к анализу космоснимков показывает, что таким путем без дополнительных существенных затрат могут быть получены важные для изучения геологического строения и прогноза полезных ископаемых аргументы, позволяющие в дальнейшем подойти к более точным обоснованным выводам относительно размещения перспективных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бондур, В. Г.** Космический метод прогноза землетрясений на основе анализа динамики систем линеаментов [Текст] / В. Г. Бондур, А. Т. Зверев // Исследование Земли из космоса. – 2005. – № 3. – С. 37–52.

2. **Будагов, Б. А.** Основные закономерности морфотектонического строения Восточного Кавказа, выявленные методом дистанционного зондирования [Текст] / Б. А. Будагов // Исследование Земли из космоса. – 1985. – № 2. – С. 67–72.

3. **Кузнецов, Е. В.** Особенности геологического строения Полярного Урала и закономерности размещения некоторых полезных ископаемых, установленные с помощью дешифрирования космических и аэрофотоснимков [Текст] / Е. В. Кузнецов // Исследование Земли из космоса. – 1988. – № 6. – С. 66–71.

4. **Неволин, С. Н.** О системе дуговых разломов, пространственно объединяющей зеленокаменные комплексы юго-восточной части Балтийского щита [Текст] / С. Н. Неволин // Исследование Земли из космоса. – 1989. – № 1. – С. 55–58.

5. **Старосельцев, В. С.** Тектоника базальтовых плато и нефтегазоносность подстилающих отложений [Текст] / В. С. Старосельцев. – М.: Недра, 1989. – 256 с.

6. **Трифонов, В. Г.** 30 лет геологических исследований с помощью космических средств: тенденции, достижения, перспективы [Текст] / В. Г. Трифонов // Исследование Земли из космоса. – 2010. – № 1. – С. 27–39.