

Применение данных дистанционного зондирования в геологии и природопользовании

Решение любой задачи исследования природной среды подразумевает интегрированный анализ всех имеющихся данных о процессе или объекте. Фактически дешифрирование космоснимков уже давно вышло за рамки отдельно стоящей проблемы. Исследователя теперь интересует комплексирование информации, взятой из этого источника, с результатами других пометодных интерпретаций. Требования к характеру и объему результатов дешифрирования в этом случае будут определяться поставленной задачей и могут выходить за рамки, установленные различными инструктивными документами.

За последние годы накоплен большой объем материалов космосъемок различного разрешения и спектрального диапазона, разработаны методические подходы к их анализу, широк спектр программных продуктов, обеспечивающих выполнение основных операций над изображениями. Поэтому важно оптимизировать процесс извлечения информации, содержащейся в космоизображении. Это позволит выбрать методические подходы к обработке снимков, обеспечивающих корректное решение поставленной комплексной задачи, и обеспечит необходимую экономию времени и ресурсов.

Безусловно, набор задач, решаемых по аэрокосмическим материалам, очень широк. Поэтому в рамках этого обзора ограничимся областью приложения этих данных к задачам геологической отрасли: региональное геологическое картирование, геоэкология, прогноз полезных ископаемых.

Основные технологические этапы обработки космоизображений

Независимо от задачи, стоящей перед исследователем, процесс обработки изображений включает в себя следующие технологические стадии:

- выбор и подготовка изображений;
- дешифрирование;
- обработка и интерпретация результатов.

Исходно изображения, полученные со спутника, требуют проведения калибровки, геометрической и яркостной коррекции аппаратных искажений и координатной привязки. Этот процесс в настоящее время хорошо проработан, его берут на себя берут на себя специализированные организации. Поэтому в распоряжение пользователя, как правило, поступают изображения, уже прошедшие подготовку. Задача специалиста-предметника здесь состоит в определении масштабных уровней и спектральных зон. Очевидно, что при всем разнообразии выбора, существуют объективные ограничения, такие как: технические возможности существующих съемочных систем, свойства самих исследуемых объектов и пропускающей среды, погодные условия, а также особенности работы организаций, подготавливающих изображения.

Масштабный ряд изображений. Обеспечить наиболее полное решение поставленной задачи позволит использование изображений трех уровней генерализации: обзорного для анализа общих закономерностей проявления изучаемого объекта или процесса, рабочего, в котором собственно и производятся исследования, и детального, необходимого для проведения уточнения в ряде сложных случаев. Соотношение масштабных коэффициентов в этом случае следующее: $2,5 - 1 - 0,25$, т.е. для рабочего масштаба 1:1000000, обзорный составит 1:2500000 и детальный 1:250000. Существует два способа формирования масштабного ряда. Можно выбрать изображения, полученные с разновысотных летательных аппаратов. Преимуществом этого метода является естественная природа генерализации таких изображений. Однако нужно учитывать, что изображений требуемого качества на исследуемую территорию в каком-либо из масштабов могут просто отсутствовать. Кроме того использование материалов из разных источников усложнит процесс их пространственной и яркостной привязки и скорее всего вызовет необходимость применения различных алгоритмов обработки.

Поэтому существует другой способ формирования массива данных, использующий эффект изменения пространственного разрешения изображений. В этом случае в качестве исходных выбираются такие изображения, разрешение которых может обеспечить работу на детальном уровне. Следующие уровни генерализации достигаются за счет закругления изображения. Именно этот подход использует ВНИИКАМ при подготовке дистанционных основ для ГГК-1000, выбирая снимки КТЭ-200 (с высоким «запасом разрешения»). Однако нельзя не отметить, что этот подход неприменим в случае обработки аналогового изображения, поскольку только с использованием компьютера можно минимизировать потери информативности при преобразовании пространственного разрешения.

Спектральный ряд изображений. Спектральные зоны должны быть выбраны таким образом, чтобы обеспечить максимальное различие объектов различного происхождения. По спектральной отражательной способности все множество природных объектов можно условно разделить на четыре класса: горные породы, растительность, водные поверхности, снежные поверхности. Анализ кривых спектральной яркости показывает, что красный и инфракрасный каналы наиболее информативны для разделения в пространстве всех выделенных классов. Объекты гидрографии будут выделяться по наиболее темному фототону, снежные поверхности – по наиболее светлому. Горные породы и растительность занимают промежуточное положение, однако горные породы характеризуются более сильным почернением фототона. Зеленый канал может быть использован для выделения снежных поверхностей, объекты остальных классов практически не различимы на этом участке спектра. Таким образом для геологического дешифрирования изображения более целесообразно выбирать красный и ИК диапазоны. Однако для получения интегральных характеристик распределения фототона при проведении цифровой обработки данных необходимо использовать все три спектральных канала.

Представление данных. Форма представления данных должна быть обусловлена предполагаемой методикой обработки изображений. В последнее время все реже используется ручной метод визуального дешифрирования, поэтому место твердых копий изображений давно занято цифровыми форматами. Формат представления данных в этом случае зависит от того программного обеспечения, в котором исследователь намерен проводить обработку изображений. Традиционно материалы дистанционного зондирования передаются в TIFF и IMG форматах, которые легко импортируются практически во все программные пакеты и обеспечивают передачу координатной привязки. К сожалению, обычно пользователю передаются не отдельные изображения, а составленный фотоплан территории. Безусловно, он обеспечивает увязку результатов и исходной картографической информации, дает возможность провести интегральный анализ территории. Однако уравнивание яркостей при составлении фотоплана неминуемо приведет к потере индивидуальных характеристик каждого изображения. Поэтому оптимальным решением конечно является наличие как исходных (привязанных!) изображений, так и фотоплана территории.

Методика дешифрирования изображений и особенности ее применения в изучении геологических процессов

Изображение природной среды, полученное любым типом сенсора, складывается из образов объектов, расположенных на дневной поверхности – т.н. ландшафтной мозаики. Геологическое строение, в большинстве случаев, не находит прямого отражения на изображении, его основные черты могут быть прослежены опосредовано – через изменение компонентов ландшафта. Поэтому для геологического дешифрирования метод прямого распознавания образов неприменим. Исследователю приходится вначале определять ландшафтные индикаторы изучаемых процессов, отыскивать их образы на изображении и таким образом, идентифицировать искомый процесс. В настоящее время процесс геологического дешифрирования сводится к следующим этапам:

- установление взаимосвязей между ландшафтами и геологическими процессами на исследуемой территории и определению ландшафтных индикаторов искомых геологических объектов (т.е. признаков проявления этих объектов в изображении ландшафта)
- выделение на изображении аномалий фототона и их ландшафтной интерпретации
- выделение отдельных геологических структур на основе установленных закономерностей.

Очевидно что объем полученной геологической информации будет напрямую зависеть от выраженности геологических процессов в составляющих ландшафта. Кроме того, определенные ограничения наложат и модельные представления, которые исследователь будет использовать на первом этапе дешифрирования. Такой подход, безусловно, слабо формализуем еще и в силу отсутствия математического аппарата, описывающего протекание природных процессов и взаимосвязи между ними.

Поэтому современный технологический подход к реализации этой схемы базируется на сочетании экспертных и автоматизированных методов оценки информации. Независимо от конкретной предметной задачи он включает следующие обязательные стадии.

Изучение дополнительной геоинформации о исследуемом процессе и предварительный анализ массива данных

Этот этап является неотъемлемой частью решения задачи. Его основная цель – наметить возможный набор ландшафтных или иных индикаторов искомых объектов, что даст возможность уже на начальной стадии работ обосновано выбрать наилучший метод обработки изображения. Например, в случае решения задачи геологического картирования, на основании анализа ретроспективных картматериалов определяются основные черты геолого-тектонического строения региона. Исследование их взаимосвязи с геоморфологией и ландшафтами позволит определить степень проявленности искомых геологических объектов в элементах дневной поверхности.

Не менее важно проанализировать свойства образов искомых объектов применительно к имеющемуся в его распоряжении массиву данных, определить их спектральные и пространственные характеристики и наилучшим образом подготовить свои данные к дальнейшей обработке и наметить пути ее реализации. Так, например, высокое разрешение исходных изображений безусловно необходимо для выполнения визуального дешифрирования. Однако для проведения цифровой обработки такое разрешение может быть избыточным. Кроме того, качество привязки спектральных каналов часто ниже разрешающей способности. Результатом является смаз изображения при синтезировании и, как следствие, ошибки в ходе совместной обработки каналов. Поэтому иногда целесообразно будет загрузить исходные изображения. Это дает с одной стороны, определенную экономию ресурсов и времени расчетов. С другой стороны, позволяет, используя свойство естественной генерализации космоизображения, уже на начальном этапе убрать излишнюю детальность изображения и работать с объектами, соответствующими региональному уровню исследований.

Обработка изображений

Формально искомые аномалии могут быть разделены на две группы: площадные (отражающие крупные блоковые структуры) и линейные (интерпретируемые как разломы). К сожалению, до сих пор у задачи автоматического распознавания подобных образов по изображению нет полного решения. Анализ существующих разработок в этой области показывает следующее.

По-прежнему многие исследователи отдают предпочтение традиционной методике визуального дешифрирования. На сегодняшний день она, пожалуй, обеспечивает наиболее полный анализ информации, скрытой в изображении. Однако, как и любой экспертный метод, высок субъективизм полученных результатов, их качество сильно зависит от опыта и модельных представлений дешифровщика.

Часто для получения интегральных фотографических характеристик изучаемых объектов, визуальное дешифрирование предваряет специализированная обработка изображений – преобразование и комплексирование спектральных каналов. Сущность подобной обработки состоит в применении к изображению формальных вычислительных операций. Этот процесс может проходить в несколько приемов. На первом уровне обрабатываются исходные зональные изображения (к примеру, вычисляются разности фототона спектральных каналов), далее обработке подвергаются результаты, полученные на первом уровне (например – парные отношения вычисленных на первом этапе разностей). Третий уровень включает в себя статистическую обработку разноуровневых изображений (как правило, синтезирование или расчет их главных компонент).

Можно зафиксировать набор наиболее часто используемых операций, используемых для подобной цифровой обработки изображений, и дать рекомендации относительно области их применения.

Арифметические операции (отношение, разность) помогают проследить изменение спектральных характеристик изображения. С их помощью могут быть выделены объекты, образы которых имеют сильные различия в выбранных спектральных диапазонах (рис. 1).

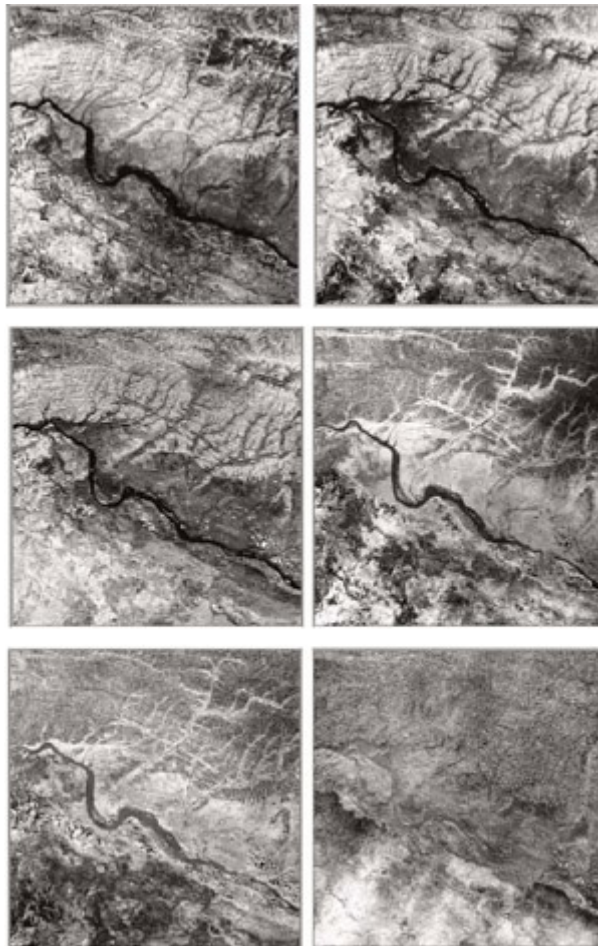


Рис. 1.

Операции фильтрации направлены на выделение тех или иных деталей изображения. Так низкочастотная фильтрация (рис. 2) подчеркивает крупные структурные элементы и может быть использована при уточнении блоковости территории. Высокочастотная фильтрация, наоборот, подчеркивает наиболее мелкие структурно-вещественные комплексы и контрастирует линейные геологические элементы. Направленную высокочастотную фильтрацию рекомендуют проводить при подготовке изображения к линеаментному анализу. Кроме того существуют специальные фильтры Собела, Лапласа, Превитта и др., используемые в основном в ходе подготовки изображения для подчеркивания контуров объектов.

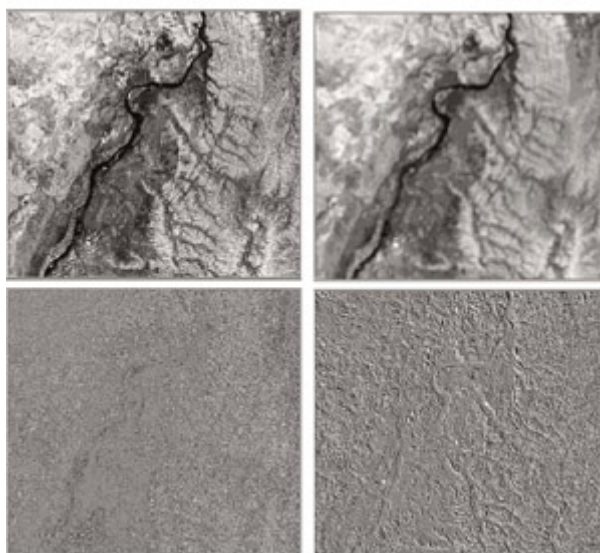


Рис. 2.

Синтезирование (рис. 3) обеспечивает упрощение исходного изображения, перевод его в условные цвета, которые затем можно будет идентифицировать с природными объектами на земной поверхности. Как правило, эти операции дают максимальный эффект в задачах ландшафтного и геоморфологического районирования. Наиболее простым преобразованием является синтез спектральных каналов изображения. Он позволяет получить фотопортрет территории в условных цветах. Также часто применяется метод главных компонент. Однако, несмотря на информативность полученной картины (с точки зрения эксперта), проанализировать суть полученных компонент достаточно сложно.

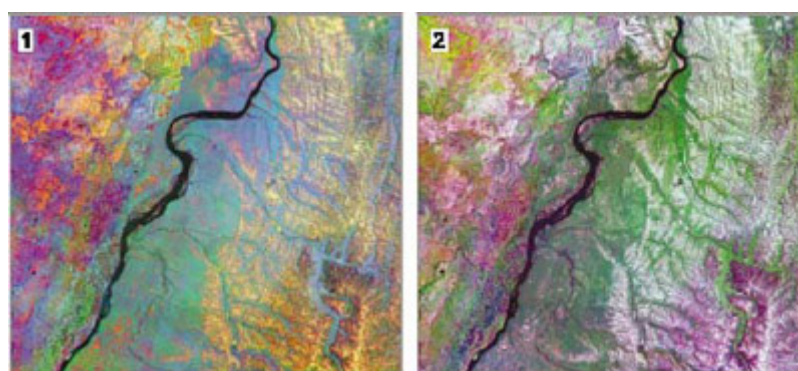


Рис. 3.

В процессе работы на основании экспертной оценки промежуточных результатов выбирается определенная последовательность вычислительных операции (алгоритм), дающая возможность не только максимально повысить информативность изображения, но

и в ряде случаев выявить на нем новые объекты. Однако оценивать информативность полученных изображений будет тот же специалист, который проводит и дешифрирование – тем самым субъективность результата только возрастает.

Повышение объективности дешифрирования можно обеспечить с помощью применения методов формализованного компьютерного анализа изображений. Однако это направление в настоящее время находится в процессе разработки. Один из наиболее распространенных подходов в этой области – распознавание линейных и площадных аномалий методами статистического анализа поля фототона.

Линеаментный анализ позволяет выделить линейные аномалии в распределении фототона на изображении. К сожалению, пока все автоматические методы выделения линеаментов основаны на отслеживании протяженных линейных перепадов контраста заданной длины (и иногда в заданном угле). Результатом такой операции является все множество найденных «штрихов», дающее, как правило, лишь общее представление о распределении линеаментов, их преобладающем направлении и т.п. Выделение же в нем конкретных структур и их интерпретация по-прежнему остается за экспертом. Одним из способов решения этой проблемы, на наш взгляд, состоит в подготовке исходных изображений к линеаментному анализу. Необходимо сначала выделить на изображении те объекты, линейные структуры в которых будут наиболее интересны для дальнейшего исследования (т.е. те самые ландшафтные индикаторы искомых геологических структур!) и применять компьютерную обработку именно к такому изображению. Это сделает процесс линеаментного анализа более управляемым и позволит более осознанно проводить обработку (рис. 4).

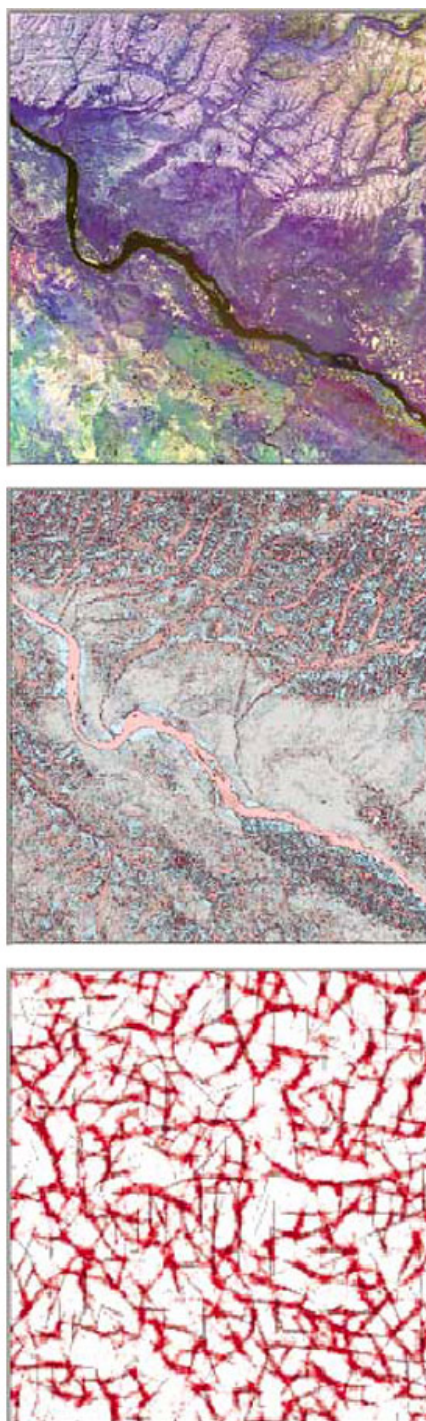


Рис. 4.

Выделение площадных структур предполагает проведение анализа характеристик пространственного распределения пикселов изображения (фототон, структура, текстура, форма и т.д.). В настоящее время одним из наиболее разработанных методов такого анализа является классификация. Этот метод используется на этапе районирования территории и основывается на выборе участков, удовлетворяющих определенному правилу. Классификация без эталонов (кластеризация) позволяет выделить участки изображения, характеризующиеся одинаковым поведением фототона. Результат в этом

случае зависит от количества искомых областей (кластеров) и их делимости в выбранном пространстве. Зная характеристики фототона конкретного природного объекта, можно использовать классификацию по эталонам. Это более настраиваемый метод, его результаты более корректны и легко интерпретируемы (что важно). Однако для геологических исследований он неперспективен, поскольку требует знания конкретных фотохарактеристик геологических объектов.

Наиболее сложным моментом при проведении классификации является выбор т.н. признакового пространства, т.е. тех характеристик, поведение которых и будет идентифицировать искомые площадные аномалии. Формально фототон изображения может быть описан следующими математическими характеристиками: интенсивностью (уровень почернения каждого пиксела) и степенью изменчивости (его градиент). Уровень интенсивности фототона показывает отражательную способность объекта и соответственно зависит от многих внешних факторов: состояние растительного покрова и период вегетации, параметры солнечной экспозиции и т.п. Это может стать серьезным препятствием, например в случае обработки мозаики разносезонных изображений. Степень изменчивости фототона, напротив, более устойчива к изменению сезона и времени съемки и проявляет более общие изменения в характере фотопортрета. Таким образом для выполнения районирования территории по изображению эту характеристику можно считать более независимой и объективной.

Необходимо отметить также такое свойство признакового пространства, как уровень интегральности данных. В конечном итоге степень генерализации результатов районирования напрямую зависит от этого свойства и будет лишь немного превышать степень генерализации используемых признаков. Так в случае выполнения классификации по изображениям, близким к исходным, мы получим сильно дисперсную картину районирования, в которой каждый класс будет представлен дискретными пятнами малой площади (изображение 1 на рис. 5). В этом случае анализ полученной мозаики и интегрирование этой информации вновь будет выполняться экспертом. Автоматически выделить крупные площадные объекты на изображении возможно только с использованием производных характеристик, полученных путем осреднения в скользящем окне (изображение 2 на рис. 5).

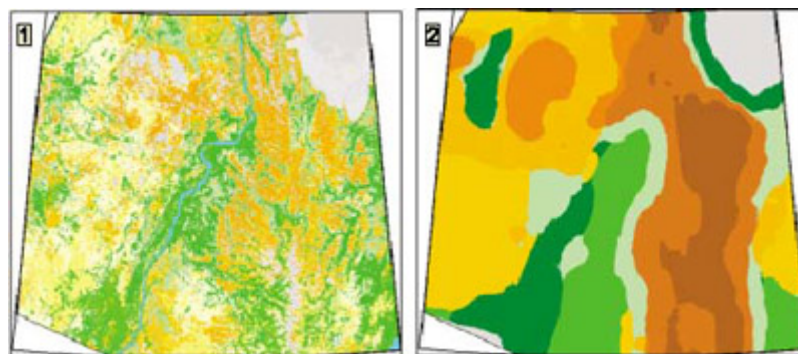


Рис. 5.

Анализ и интерпретация полученных результатов

Этот заключительный этап конечно остается за экспертом. На основе собственного опыта и модельных представлений, сформированных на этапе предварительного анализа геоматериалов на исследуемую территорию. Специалист интерпретирует полученные результаты, отождествляя выделенные образы с реальными объектами природной среды. Для определения характеристик выделенных структур часто используется статистический анализ полученных результатов, например, расчет розы диаграммы линеаментов в пределах выделенных блоков, определение их плотности распределения и т.д. Завершением этапа является построение результирующих документов (карт и схем космоструктурного районирования), а также отбор данных, интересных для проведения дальнейшего интегрированного анализа. Поэтому на этом этапе очень важна роль GIS, как инструмента, обеспечивающего увязку разнородной информации и удобный интерфейс для работы с пространственной информацией.

В заключении хочется сказать несколько слов о программных средствах, обеспечивающих обработку изображений. Конечно, полный комплекс операций цифровой обработки изображения представлен в специализированных пакетах: ERDAS Imagine и ArcView ImageAnalysis. Использование этого программного обеспечения, с одной стороны, открывает широкие возможности для манипулирования изображениями, уменьшает затраты времени и сил за счет удобного интерфейса и единого формата данных. Однако нельзя не считаться со стоимостью этих пакетов и высокими требованиями к уровню подготовки специалиста. Существует возможность использования модуля GRID ARC/INFO или Spatial Analyst ArcView. Правда это потребует преобразования данных в формат регулярной сети (grid) и незначительного программирования с использованием

макроязыка (AML или Avenue). Этот вариант весьма перспективен, поскольку пакеты ARC/INFO, ArcView приняты в качестве отраслевого программного обеспечения в геологии и круг их пользователей уже достаточно широк. Кроме того нельзя пренебрегать возможностями других пакетами обработки изображений – ERMapper, Idrisi, ENVI и даже дизайнерский Adobe Photoshop. Возможные проблемы с привязкой и конвертацией могут быть уравновешены распространенностью и доступностью этих программных продуктов.