ГЕОЛОГИЯ НЕФТИ И ГАЗА 05'87 с.1-7

Методика, возможности и направление использования аэрокосмических методов на региональном и поисковом этапах геологоразведочных работ на нефть и газ

Д.М. ТРОФИМОВ, Л.П. ПОЛКАНОВА (ВНИГНИ)

Одна из основных проблем использования дистанционных исследований - несовершенство методики работы с аэро- и космическими снимками. Из многообразия связанных с этим вопросов в первую очередь необходимо выделить несколько важнейших: понимание задач нефтегазопроисловых работ, решаемых с помощью аэрокосмических методов; возможности дистанционных исследований при изучении региональных и локальных структур на разных этапах нефтегазопроисловых работ; ведущие признаки этих объектов; выявление полезной структурной информации на фоне «шума» эндогенного происхождения.

Аэрокосмические исследования на региональном и поисковом этапах геологоразведочных работ на нефть и газ целесообразно использовать для изучения и выявления региональных и локальных структур осадочного чехла и поверхности фундамента ([таблица](#)). Как это ни парадоксально, методические разработки последних лет в области дешифрирования аэрокосмических материалов касались преимущественно способов выявления линейных и кольцевых структур. Увлечение этим привело к появлению мнения об их тождественности поднятиям чехла.

Аэрокосмические методы выделения и изучения региональных и локальных структур и разломов осадочного чехла должны основываться на представлениях о закономерностях их пространственного размещения, соподчинении и морфологии этих объектов, а также на теоретических предпосылках их выражения в ландшафте и на фотодистанционных материалах. В строении основных компонентов ландшафта (геологический субстрат, рельеф, гидрографическая сеть, почвенно-растительные ассоциации) могут отражаться как очертания структур осадочного чехла в плане, так и знак структурных деформаций в высотном поле рельефа. Дешифрирование фотодистанционных материалов без представления о морфологии ландшафтных и дистанционных образов изучаемых объектов (иногда криптоморфных) приводит к установлению наиболее физиономичных линейных и кольцевых морфоаномалий, которые часто являются «шумом», маскирующим полезную структурную информацию. Среди компонентов ландшафта рельеф и гидрографическая сеть - наиболее информативные геоиндикаторы, так как в большинстве случаев они определяют диапазон распространения почвенно-растительных ассоциаций и в них проявляются литоморфные особенности геологического субстрата.

Развитие форм рельефа и связанных с ними компонентов ландшафта происходит под влиянием эндогенных (включая физические поля) и экзогенных факторов. Основным источником информации о глубинном строении являются пликвативно-разрывные деформации чехла на рельефообразующем этапе с воздействием унаследованных движений, просадок, уплотнения и промывания. Они активно влияют на интенсивность и направленность экзогенных процессов.

Воздействие тектонических движений на ландшафт осуществляется через преобладающий хрупкий или разрывный тип деформаций фундамента и доминирующие пластичные или пликвативные деформации в чехле. Они передаются в суммированном

виде на литоморфную основу и земную поверхность, проявляясь в виде морфоаномалий в первую очередь в закономерном плановом рисунке орографии и гидрографической сети, определяющих распространение почвенных разностей и типов растительности в высотном поле и расчлененности рельефа. Ведущие поисковые признаки структур, имеющие наиболее широкий экстраполяционный диапазон, - рисунок ландшафта в плане и его высотное поле. Они передают размеры простираения, очертания и соподчиненность тектонических элементов. Плановый рисунок структур, зафиксированный в ландшафте, является наиболее информативным индикатором, отражающим на земной поверхности глубокозалегающие структуры, поскольку его местоположение не смещается на любых уровнях денудационного среза структур, а высотное поле рельефа в пределах структур под воздействием экзогенных процессов часто испытывает значительные преобразования. При этом наблюдается перемещение максимальных высот рельефа со свода на крылья или в синклинали (Л.П. Полканова, 1984 г.).

Специфика планового рисунка структур определяется их типом и сохраняется в разных ландшафтных и геологических условиях на древних и молодых платформах в аридных, гумидных, тундровых, таежных и полупустынных областях. Фиксирующие проекцию структур осадочного чехла на земную поверхность прямо- и криволинейные структурно-индицирующие элементы ландшафта формируются под влиянием экзогенной переработки трещин, разрывов, срезов и перегибов литоморфного субстрата, воздействия гидрогеологических факторов и физических полей.

Степень расчлененности рельефа - функция перепада его высот и литоморфных особенностей рельефообразующего субстрата. Ее структурно-индицирующая роль может рассматриваться лишь при одновременном анализе высотного поля рельефа и плановых очертаний различных элементов ландшафта. Если последние признаки выражены четко, то степень расчлененности оказывается лишним критерием.

Структурный анализ ландшафта осуществляется путем дешифрирования аэро- и космических снимков, передающих его формы, и топографических карт, изображающих как очертания, так и высотное поле рельефа. В настоящее время имеются два методических подхода к дешифрированию: структурно-ландшафтный и контрастно-аналоговый, отражающие специфику используемых материалов.

Приемы дешифрирования целесообразно применять исходя из их возможностей, разрешающих характеристик фотодистанционных материалов и задач нефтегазовой геологии. По решаемой задаче и изучаемым объектам метод является структурным, основанным на распознавании образов искомых объектов, по приемам анализа информации на снимках - контрастно-аналоговым, а по способам интерпретации отображаемых на фотодистанционных материалах данных - структурно-ландшафтным. Контрастно-аналоговый подход основан на анализе дешифровочных признаков. Он базируется на том, что сходные структурные объекты, отражающиеся в виде дистанционных образов, проявляются системой общих признаков и при их экстраполяции широко используется принцип аналогии.

На снимках структурные объекты выявляются с помощью фиксации тоновых градаций и точечных элементов, формирующих структуру фотоизображения, или же контурных (линейных), определяющих его рисунок. Таким образом, дешифровочные признаки при выделении изучаемых объектов - комплексные.

Высокая геологическая информативность рисунка фотоизображения по сравнению со структурой и фототонном делает этот дешифровочный признак ведущим. Дешифровочные

признаки геологических объектов и их комбинации в зависимости от уровня генерализации, сезонно-технических и временных условий съемки изменяются. Они обладают достаточно высокой степенью достоверности и экстраполяционной устойчивостью в основном на снимках, полученных при одновременных и одно-сезонных съемках в сходных ландшафтных и геологических условиях с близким режимом развития.

Таким образом, структурный метод дешифрирования снимков, базирующийся на образно-аналоговой основе, контурной фиксации изучаемых объектов, контрастах и особенностях фотоизображения, обусловленных структурой ландшафта, является комплексным.

Структурное дешифрирование топографических карт также осуществляется путем выявления структурно-индицирующих криво- и прямолинейных элементов ландшафта (морфографические приемы), отображающих плановую конфигурацию структуры осадочного чехла. Анализ высотного поля и расчлененности рельефа (при их информативности) выполняется с применением структурно-геоморфологических приемов.

Снятие регионального эндо- и экзогенного «шума» целесообразно проводить в процессе структурного дешифрирования всего масштабного ряда дистанционных изображений. При этом выявляются физиономические черты ландшафта, представляющие крупные объекты эндо- и экзогенного происхождения, не связанные с искомыми структурами меньших размеров. Выявленный на мелкомасштабных фотодистанционных материалах ландшафтный «шум», различные помехи отбраковываются при структурном дешифрировании.

Структурное дешифрирование фотодистанционных материалов целесообразно начинать с опознавания в ландшафте установленных положительных и отрицательных структур чехла, разрывных нарушений. При этом складывается представление о возможных вариантах простираций, размеров, конфигураций структур и их отображения в конкретных геолого-ландшафтных условиях. В процессе опознавания анализируется информация по перспективным горизонтам осадочного чехла, создается представление о структурных взаимоотношениях тектонических элементов в пределах изучаемого региона и сужается площадь поиска новых структур (морфоаномалий).

Для повышения эффективности использования аэро- и космических материалов при решении структурных задач применяют различные виды их преобразований (фотографические, оптические и электронные, в том числе использование ЭВМ), комплексирование преобразованных фотоизображений (синтезирование многозональных снимков, квантование зональных отпечатков и фотографическая фильтрация для получения дополнительной информации), а также анализ масштабного ряда снимков. Совмещение схем дешифрирования комплекса преобразованных видеоизображений позволяет эффективнее использовать исходные снимки, повышать достоверность и объективность результатов дешифрирования, существенно дополнять и обогащать дистанционные образы структур.

Важнейшая задача в комплексе аэрокосмических исследований - интерпретация результатов дешифрирования, необходимая для перевода морфоаномалий в ранг структур. Геологическая интерпретация аэрокосмической информации в пределах закрытых территорий встречает ряд затруднений, в частности, при обосновании перехода от ландшафтно-индикационных признаков, наблюдаемых на фотодистанционных материалах и отражающих суммарную эндо- и экзогенную деятельность на уровне земной

поверхности, к структурам более глубоких горизонтов. Наиболее рациональное связующее звено между аэрокосмическими и традиционными геологическими исследованиями при изучении платформенного чехла - геофизические методы, обладающие большой разрешающей способностью, глубиной и высокой пространственной плотностью наблюдений. Опыт комплексирования аэрокосмических и геолого-геофизических данных позволяет сформулировать основные принципы интерпретации результатов дешифрирования.

1. Интерпретация должна осуществляться на основе эквивалентности или близости плотностей ландшафтной информации на фотодистанционных материалах и исходных геолого-геофизических данных, что обеспечивает более полное и достоверное подтверждение структур, выявляемых аэро- и космическими методами.

2. Многоуровневый подход к интерпретации результатов дешифрирования осуществляется на основе корреляции дистанционных образов структур и геолого-геофизических материалов по различным горизонтам чехла с целью накопления необходимых данных, характеризующих их морфологию.

3. Установление проявленности объектов, намеченных по фотодистанционным материалам, на различных уровнях чехла проводится по принципу последовательных приближений от более изученных приповерхностных горизонтов к менее изученным глубинным по схеме дистанционный образ - морфоаномалия - физико-геологическая модель - структура. Это позволяет выявить морфологические особенности исследуемых объектов, степень их унаследованности или новообразованности и динамику развития.

Проявление структурных элементов осадочного чехла на рельефообразующем этапе и связанная с этим перестройка или подновление структурных планов вызывают изменение гидрогеологических и термобарических характеристик осадочных бассейнов, влияя на условия формирования месторождений. Структурные, гидрогеологические, диалогические и другие критерии прогноза нефтегазоносности связаны между собой в пространственном и временном соотношениях при ведущей роли структурного фактора. Устанавливаемые на фотодистанционных материалах в ряде регионов конседиментационно развивавшиеся структуры и разрывные нарушения обуславливали характер распределения мощностей и литолого-фациальных обстановок осадконакопления; новейшие разрывы вызывали образование зон трещиноватости, улучшающих коллекторские свойства пород; разломы и узлы их пересечения воздействовали на гидрогеологический режим и миграцию УВ.

Для регионального и поискового этапов основной объект исследований - региональные и локальные структуры.

В зависимости от характера их развития на рельефообразующем этапе они с большей или меньшей степенью выразительности отражаются на фотодистанционных материалах. Хорошим примером могут служить тектонотипы региональных структур Волго-Уральской провинции, выделенные Р.О. Хачатрянном (1979 г.) Сводовые структуры, подразделяемые на сквозные, наложенные, наложенно-сквозные и погребенные, относящиеся к различным генетическим типам, также отражаются на фотодистанционных материалах. В полной мере это относится и к тектонотипам линейных структур чехла (Д.М. Трофимов, В.А. Богословский, Е.Б. Ильина и др., 1986 г.).

Аэрокосмические методы могут использоваться при палеотектоническом анализе унаследованно развивавшихся структур и при изучении их развития на неотектоническом этапе. Например, Большеземельская морфоаномалия, расположенная в Хорейверской

впадине, отчетливо проявляется на космических снимках со спутника «Метеор». Она зафиксирована в силурийских, девонских и каменноугольных отложениях по сокращению мощностей, а также в физических полях. Это свидетельствует об ее конседиментационном и унаследованном развитии как палеосвода. С ранней перми и в мезозое эта структура не находит отражения, но на новейшем этапе она снова активизируется. Возейское, Макарихинское и другие месторождения, расположенные вдоль ее границ, приурочены к крупным поднятиям, на которые наложились движения, сформировавшие эту структуру.

Структурные взаимосвязи положения локальных поднятий с линейными структурами проанализированы на примере Тимано-Печорской провинции. Они проявляются в виде непосредственного структурного контроля и закономерностей пространственного положения. Необходимо подчеркнуть, что структурный контроль здесь связан не с приразломными валами, как было отмечено в Бузулукской впадине (Д.М. Трофимов, Б.И. Дмитриева, 1981 г.), а с Предуральской зоной линеаментов, которой только на отдельных участках соответствуют известные флексуры, разломы в чехле и фундаменте. По двум зонам линеаментов, отдельные участки которых совпадают с разрывными нарушениями, с двух сторон наблюдаются поднятия различной ориентировки, что, по-видимому, обусловлено сдвиговыми смещениями вдоль этих зон. Подобный характер изменения ориентировки вдоль них отмечается также по отношению к новейшим структурам.

На космических снимках Волго-Уральской провинции отражены в виде линейных дислокаций разрывной природы ряд структур Камско-Кинельской системы прогибов (Мухановско-Ероховская, Сарапульская и частично Нижнекамская). Проявление подобных структур, вероятно, связано не только с активизацией древних разломов на рельефообразующем этапе. Очевидно, большую роль играет переток вод из различных водоносных горизонтов, сопровождаемый процессами растворения, ослабления пород и их разрушением, а также уплотнением осадков и просадочными явлениями.

Подобный механизм, по-видимому, типичен для системы микрограбенов и горстов, выявляемых на фотодистанционных материалах в восточных районах Волго-Уральской провинции (А.А. Аксенов, В.П. Гацков, В.В. Стасенков, 1984 г.).

Одна из задач регионального этапа - комплексное изучение крупных конседиментационных разломов и их возможных связей с неантиклинальными ловушками. Методика, разработанная В.Н. Потапенко (1985 г.), позволяет на основании комплекса признаков, ведущие среди которых - дистанционные, в пределах моноклинально залегающих толщ ДДВ прогнозировать стратиграфические и литологические ловушки, связанные с разрывными нарушениями.

Приведенные примеры свидетельствуют об эффективности региональных аэрокосмических работ. Несмотря на различие изученных структур, формировавшихся в разное время и в неодинаковых условиях, общим для них является активность на рельефообразующем этапе. Это имеет практическое значение и позволяет целенаправленнее размещать геофизические работы.

Возможности применения аэрокосмических методов для поискового этапа изучены меньше. Однако детальными исследованиями ВНИГНИ в 1982-1984 гг. были установлены 74 прогнозируемых объекта, из них 14 - по Восточному Прикаспию, 23 - по Тургайской синеклизе, 5 - по Западной Туркмении и 32 - по Виллюйской синеклизе. Подобные задачи решаются по многим нефтегазоносным провинциям.

На поисковом этапе весьма важно прогнозировать зоны трещиноватости продуктивных горизонтов перспективных структур с помощью комплекса аэрокосмических и геолого-геофизических исследований. Успешное решение этой задачи показано на примере Астраханского свода (И.Н. Капустин, С.Е. Петров, 1984 г.).

Анализ современного состояния методики и результатов аэрокосмических исследований позволяет наметить основные направления работ.

Совершенствование структурного дешифрирования аэро- и космических снимков должно быть направлено на распознавание на фоне суммарной ландшафтной информации образов региональных и локальных структур продуктивных горизонтов чехла. Для этого необходимо осуществлять выбор и классификацию эталонных образов различных типов структур, а затем по ним можно обучать специалистов и составлять программы ЭВМ для обработки дистанционных материалов.

Комплексирующие многоспектральных, инфракрасных и радиолокационных съемок позволит существенно расширить возможности дистанционных методов, так как оно базируется на различных по физической природе данных: узких спектральных характеристиках ландшафта, теплоемкости земной поверхности, ее расчлененности и ряде других параметров, т. е. увеличивает количество суммируемых информативных признаков, характеризующих структурные образы.

Одна из важнейших задач - совершенствование методики комплексной интерпретации фотодистанционных, геологических, геофизических, гидрогеологических и геохимических данных. Сложность ее заключается в неоднозначной изученности разноглубинных горизонтов чехла, имеющих неодинаковую плотность исходных данных по ним. Для корректного решения этой задачи необходимо привлекать современные методы математической обработки информации.

Решение указанных проблем будет способствовать повышению эффективности аэрокосмических исследований, являющихся составной частью комплекса геологоразведочных работ, ускорению поисков нефти и газа, в частности увеличению фонда локальных поднятий.

Таблица

Этапы	Стадии	Основные структурные задачи	Комплекс дистанционных материалов	Методы преобразования дистанционных материалов	Основные приемы структурного дешифрирования	Результирующие материалы по этапу дешифрирования	Виды интерпретации	Результирующие материалы
Региональный	Прогноз нефтегазоносности	Тектоническое и неотектоническое районирование, прогноз разломов и структур, уточнение их взаимоотношений, выявление зон приразломных дислокаций	Космофотокарты; черно-белые, многозональные, цветные, спектрональные и синтезированные космоснимки; топокарты; преобразованные фотоизображения	Электронные преобразования: квантование, синтезирование, цветокодирование, фотографическая коррекция, фильтрация, автоматизированная обработка	Контрастно-аналоговый с анализом дешифровочных признаков структур I. Опознавание известных разнопорядковых структур чехла по их	Схема (карта) структурного дешифрирования дистанционных материалов; схема районирования (по форме и ориентировке структурных элементов чехла)	1. Сопоставление дистанционных и геолого-геофизических данных при изучении крупноамплитудных структур и разломов 2. Направленные преобразования геолого-геофизических данных (фильтрация, трансформация, тренд-	Карты сопоставления результатов структурного дешифрирования и геолого-геофизических данных: а) по горизонтам чехла, б) по рельефу

Оценка зон нефтегазонакопления	Изучение структур чехла второго и третьего порядков, уточнение их границ, морфологии, неотектонической активности и связей с крупными структурами; корректировка строения структур разного порядка	Космофотокарты; черно-белые, цветные, спектрзональные, синтезированные и преобразованные аэро- и космоснимки; топокарты; радиолокационные и инфракрасные снимки	снимков на ЭВМ (подчеркивание контуров структур, повышение контрастности и распознавание их образов, построение карт изолиний оптических плотностей, выделение линейных элементов, их плотностей и ориентировки)	поисковым признакам. II. Сравнительный анализ масштабного ряда космоснимков и топокарт(по принципу от общего к частному) для снятия регионального фона различной природы, физиономичных элементов ландшафта и экзогенных явлений III. Выявление физиономичных и криптоморфных морфоаномалий с помощью структурно-ландшафтного (геоморфологического) анализа	анализ), исходя из дистанционных образов структур. Корреляционный анализ (при количественной обработке аэрокосмической информации) дистанционных и геолого-геофизических данных 3. Построение физико-геологических моделей структур	поверхности фундамента (1:500 000- 1:1 000 000) Схема тектонического районирования Схема новейшей тектоники Карта первоочередных объектов для постановки региональных геофизических работ
--------------------------------	--	---	--	---	--	---

Поисковый	Выявление и подготовка объектов к поисковому бурению	Прогноз локальных поднятий, изучение их морфологии, генезиса, закономерностей пространственного положения, неотектонической активности и перестройки на рельефообразующем этапе; уточнение структуры перспективных горизонтов чехла; выявление зон повышенной трещиноватости и малоамплитудных нарушений изучение активных конседиментационных разломов чехла с целью прогноза связанных с ними литологических стратиграфических и тектонически экранированных ловушек	Черно-белые, многозональные, спектрозональные и синтезированные космо- и аэрофотоснимки; топокарты; радиолокационные и инфракрасные снимки; материалы лидарных (лазерно-геохимических) съемок	Структурно-ландшафтный с анализом геоиндикаторов I. Сравнительный анализ масштабного ряда аэрокосмоснимков и топокарт (по принципу от частного к общему и от общего к частному) - опознавание разнопорядковых структур чехла для снятия регионального фона различной природы II. Опознавание известных локальных структур чехла по их поисковым признакам III. Выявление морфоаномалий (прогнозируемых поднятий) по поисковым	Карта структурного дешифрирования дистанционных материалов; карта морфоаномалий; структурные карты по различным горизонтам чехла с учетом результатов дешифрирования и неотектонической активности локальных поднятий Карты строения морфоаномалий, карты малоамплитудных разрывов и зон трещиноватости	Карта сопоставления результатов структурного дешифрирования, геологических, геофизических и геохимических данных (1:80000 - 1:200 000) Карта неотектонической активности локальных поднятий; карта прогноза зон повышенной трещиноватости и Карта первоочередных объектов постановки поисковых работ
-----------	--	--	---	--	--	---

Поиск месторождений (залежей)	Уточнение структуры локальных поднятий по перспективным горизонтам чехла, прогноз типов структур; выявление и уточнение нарушений, флексур и зон трещиноватости, «мертвых» для сейсморазведки участков; оценка неотектонической активности локальных поднятий или их частей	Многозональные и синтезированные аэрофотоснимки; топокарты; инфракрасные снимки; материалы лидарных съемок	признакам локальных структур (плановому рисунку элементов ландшафта, расчлененности рельефа и его гипсометрии)
-------------------------------	---	--	--