

КОСМИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ В ГЕОЛОГИИ



Academy of Sciences of the USSR

Commission of natural resources studies
by space means

'Section «Geology from space»

SPACE INFORMATION FOR GEOLOGY

Космическая информация в геологии / Коллектив авторов. М.: «Наука», 1983. 536 с.

Коллективная монография обобщает результаты исследований, выполненных институтами Академии наук СССР, академий наук союзных республик и рядом других организаций в области разработки методики применения аэрокосмической информации в геологии, использования ее в исследованиях новейших и современных геологических процессов, линейных и кольцевых структур, металлогении и размещения рудных месторождений в рудных районах, при изучении и прогнозировании нефтегазоносных районов. Изложены общая методология исследований, методы инструментального дешифрирования изображений и количественной обработки информации, результаты региональных структурно-геологических и прогнозно-поисковых работ, выявленные геологические закономерности и практические рекомендации.

Табл. 9, ил. 188, библиогр.: с. 506-526 (729 назв.)

Редакционная коллегия:

академик А. В. Пейве (главный редактор),
академик А. В. Сидоренко (главный редактор),
академик А. Л. Яншин (главный редактор),
В. И. Макаров, В. М. Моралев, Ю. Г. Сафонов,
В. Г. Трифонов, П. Ф. Флоренский

Ответственные редакторы:

В. Г. Трифонов, В. И. Макаров, Ю. Г. Сафонов, П. В. Флоренский

Editorial Board:

Academician A. V. Peive (Editor-in-Chief),
Academician A. V. Sidorenko (Editor-in-Chief),
Academician A. L. Yanshin (Editor-in-Chief),
V. I. Makarov, V. M. Moralev, Yu. G. Safonov,
V. G. Trifonov, P. V. Florensky

Responsible editors:

V. G. Trifonov, V. I. Makarov, Yu. G. Safonov, P. V. Florensky

ных аппаратов), и полученные на этом этапе аномальные участки в последующем должны подвергаться более крупномасштабным дистанционным и наземным поисковым работам. Предварительные расчеты показывают, что широкое применение дистанционной геохимической съемки в комплексе с тепловыми съемками позволит существенно повысить эффективность геолого-поисковых работ и сэкономить в масштабах страны значительные средства. Применяя такую комплексную методику дистанционного изучения геологических объектов, мы предлагаем исследовать следующие вопросы.

1. Изучение глубинных структур литосферы с помощью геологического дешифрирования разновысотных аэрокосмических снимков и геотермо-геохимического зондирования. При этом последнее, фиксируя по площадным или линейно ориентированным аномалиям участки и зоны прогрева и насыщенности глубинными компонентами-индикаторами (например, гелием), позволит более однозначно определить положение глубинных флюидоподводящих зон, которые затруднительно трассировать, пользуясь только аэрокосмическими снимками.

2. Выявление зон и участков перспективной нефтегазоносности и полиметаллической рудоносности. При этом дистанционная геотермическая съемка (ИК- и СВЧ-диапазоны) фиксирует (после фильтрации поверхностных помех) прогрев земной поверхности и приповерхностных слоев над нефтегазовыми залежами и сульфидными рудами, а дистанционная геохимическая съемка (на основе лидарной спектроскопии) позволяет оконтурить эти залежи по аномальным содержаниям в приповерхностной атмосфере поисковых на нефть, газ и сульфидные руды соединений-индикаторов (углеводородов-гомологов метанового ряда, йода, сернистого газа и др.).

Огромный объем первичного материала, получаемого при аэрокосмических съемках в видимом диапазоне, съемках в ИК- и СВЧ-диапазонах и лидарной спектроскопии, а также необходимость его обработки в целях исключения поверхностных помех, искажающих глубинный поисковый сигнал, требуют обязательного создания автоматизированной системы обработки (дешифрирования) первичного материала.

Аппаратура, привлекаемая для решения указанных вопросов, должна быть исполнена в варианте сканера и представлять собой комплексную многоканальную станцию дистанционного активного и пассивного зондирования земной поверхности в разных диапазонах спектра электромагнитных колебаний, т. е. иметь: 1) ИК- и СВЧ-радиометры с точностью не хуже $0,1^\circ\text{C}$; 2) лидарные установки с точностью не хуже 10^{-6} ; 3) устройство для ввода получаемой информации в ЭВМ; 4) разрешение по пространству около 10—50 м (в зависимости от задач); 5) систему визуализации площади съемок.

Ориентировочные расчеты показывают, что экономичность комплексных дистанционных методов в геологии должна быть почти на порядок выше экономичности наземных работ.

КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Источником большинства видов аэрокосмической информации, кроме материалов магнито-, гравиметрической и γ -съемок, является земная поверхность, представляющая собой совокупность природных, в том числе геологических, объектов. Они находятся в различных соотношениях и могут быть связаны генетически. Аэрокосмические методы и средства содержат информацию либо о самих геологических объектах, либо об объектах, с ними связанных, т. е. информацию прямую или косвенную.

Аэрокосмическая информация представляет собой набор сигналов, характеризующих те или иные физические свойства объектов, т. е. является их отражением (образом, изображением). Зарегистрированные сигналы не точно отвечают тем, которые исходят от объектов, из-за искажений, создаваемых передающей средой, прежде всего атмосферой, и регистрирующей аппаратурой. Но даже если эти искажения удастся более или менее корректно учесть, в опознавании геологических объектов по их дистанционным изображениям остаются значительные трудности. Они связаны с особенностями самого источника информации — земной поверхности.

Отождествление природных объектов на их дистанционных изображениях производится по дешифровочным признакам — величине и характеру сочетания сигналов, прису-

ших данному объекту. Крайне редко бывает так, что наличие дешифровочного признака свидетельствует о существовании объекта с вероятностью, равной единице. Таковы, например, спектральные характеристики выходов соленосных отложений, интенсивные положительные аномалии теплового излучения или гамма-излучения, однозначно указывающие на наличие источника, хотя обычно и не раскрывающие его природы. Чаще вероятность реализации дешифровочного признака меньше единицы. Это зависит от того, что регистрируемые сигналы, характеризующие обычно яркость (интенсивность излучения) в том или ином диапазоне и даже совокупность (спектры) таких сигналов в нескольких диапазонах, являются интегральным эффектом, обусловленным всеми природными объектами участка излучения. Это вещественный состав горных пород и их вторичные поверхностные изменения, степень и характер нарушений и деформаций, почвенный покров, растительность, антропогенные воздействия и т. д. Тому же геологическому объекту (например, выходу горной породы) в неодинаковых природных условиях отвечают разные совокупности сигналов, и разные природные объекты, в том числе геологические, дают сходные изображения.

При такой ситуации достоверность опознавания геологического объекта и его особенностей может быть существенно повышена выявлением независимых дешифровочных признаков, получаемых разными дистанционными методами и средствами. В одних случаях это обеспечивает решение поставленной задачи, в других — оказывается недостаточным, тогда возникает необходимость комплексирования материалов аэрокосмических съемок и измерений с другими, наземными источниками геолого-геофизической информации. При этом предварительное использование дистанционных материалов нередко сужает рамки наземных исследований, т. е. удешевляет их и делает более целенаправленными, а комплексная корреляция данных наземных и дистанционных исследований обнаруживает неизвестные ранее качества объектов или уточняет их характеристики. Проблемы комплексирования различных видов дистанционных съемок и измерений друг с другом и с наземными источниками геолого-геофизической информации лучше рассмотреть конкретно, применительно к различным классам задач.

При решении структурно-геологических задач применяется ряд аэрокосмических изображений разного масштаба и разрешения на местности, причем масштаб и разрешающая способность наиболее детальных изображений должны примерно соответствовать или быть немного выше детальности картографического материала, документирующего исследуемые структуры. Общая стратегия исследования такова, что на мелко-масштабных изображениях гипотетически выделяются типовые объекты и намечаются их соотношения, а затем картина все более детализируется и уточняется с помощью дистанционных материалов более высокого разрешения. Необходимость использования мелко-масштабных изображений, заведомо не способных передать особенности строения исследуемых структур, обусловлена двумя обстоятельствами. Во-первых, на таких изображениях видны соотношения с другими структурами и место исследуемого объекта в системе, которой может быть ассоциация разновозрастных структур, сочетание структур или структурных направлений разного возраста, пространственное распределение фаций осадочных или вулканических пород и т. д. Во-вторых, характер отображения структур на снимках разного масштаба позволяет предварительно оценить глубину их заложения и классифицировать по этому принципу.

Для выделения и картирования литолого-стратиграфических комплексов пород необходимы многозональные снимки. Весьма полезными могут оказаться также данные многоканальных спектрометрических измерений.

Результаты дешифрирования структурных форм, их элементов и сочетаний, литолого-стратиграфических комплексов пород необходимо проверять наземными исследованиями на типовых участках. Для определения глубины заложения отдешифрированных геологических тел, структурных форм и зон нарушений результаты дешифрирования сопоставляются с имеющейся геолого-геофизической информацией. Могут проводиться и дополнительные геолого-геофизические наблюдения с целью получить такую информацию. После интерпретации всего комплекса данных может возникнуть необходимость снова вернуться к материалам дистанционных съемок и уточнить формы выделенных объектов и их пространственные соотношения.

Тот же ряд разномасштабных изображений применим для изучения и картирования проявлений современных геологических процессов и их источников (сейсмоактивных структур, вулканов, тектонически обусловленных участков эрозии и аккумуляции поверхности и т. п.) В отличие от древних геологических объектов при изучении современных процессов и развивающихся структур возрастает роль периодически повторяю-

щихся дистанционных съемок и измерений. Они помогают определять возникшие изменения (преобразования гидросети, разрушения в очаговой области сильного землетрясения, появление новых оползней, продуктов вулканической и поствулканической деятельности), ставить и решать прогнозные задачи. Долгосрочный прогноз строится на изучении закономерностей тесноты связи интересующего нас явления с той или иной геологической ситуацией, т. е. определенным сочетанием структур, комплексов пород, гидрогеологических особенностей, рельефа. Аэрокосмические съемки и измерения полезны при долгосрочном прогнозе настолько, насколько проясняют эту геологическую ситуацию. Текущий прогноз основан на предвестниках данного явления. Некоторые из них могут регистрироваться дистанционными средствами. Таковы изменения дебита источников подземных вод, газовых выделений и теплового потока в активных структурах перед землетрясениями, изменения режима дегазации вулканов перед извержениями, изменения увлажненности селе- и оползнеопасных склонов и т. п. Уточнение подобных предвестников и способов их дистанционной регистрации позволит поставить вопрос об аэрокосмическом патрулировании областей, где возможны стихийные геологические явления, в целях их предупреждения. Важная роль в этом принадлежит наряду со съемками в видимом и ближнем ИК-диапазонах тепловой, СВЧ-съемкам и в будущем лидарной спектрометрии, а также использованию космических средств для сбора и передачи данных наземных станций наблюдения.

Применение аэрокосмических материалов при геологических исследованиях в целях прогноза и поисков месторождений полезных ископаемых основано прежде всего на выявлении структурных условий, с которыми обычно связаны месторождения. Это в равной степени относится и к нефтегазовым, и к рудным месторождениям. Использование ряда разномасштабных изображений позволяет постепенно повышать точность прогноза и сужать рамки поисков от рудных и нефтегазоносных провинций до районов и конкретных структур. Для изучения рудоносных структур необходимы аэрокосмические снимки высокого разрешения. При этом важную диагностическую роль играют спектральные характеристики горных пород. Возможность обнаружения локальных структур, перспективных для поисков нефти и газа, в значительной мере обусловлена их унаследованным неоктоническим развитием, определяющим выражение структур в современном рельефе, характере четвертичного покрова, распределения почв, растительности и степени увлажненности. Для выявления этих особенностей также важны спектральные характеристики ландшафта.

Принципиально иным путем дистанционного поиска залежей нефти, газа, а вероятно, и сульфидных руд является обнаружение связанных с ними положительных тепловых аномалий и специфичных газовых эманаций. Возможности для этого открывают тепловая съемка и лидарная спектроскопия. Независимость этих критериев от структурных признаков месторождений делает особенно ценным комплексирование тепловой съемки и лидарной спектроскопии с многоканальным спектрометрированием и разномасштабной мезозональной съемкой в видимом и ближнем ИК-диапазонах.

Итак, сочетание разномасштабных аэрокосмических съемок и измерений в разных спектральных диапазонах существенно повышает возможности их применения для решения различных геологических задач. Сами по себе дистанционные методы и средства обычно не дают полных решений этих задач. Но их комплексирование с наземными методами и средствами геолого-геофизических исследований существенно удешевляет работы и делает их более эффективными как в теоретическом, так и практическом отношении.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение (А. В. Пейве, В. Г. Трифонов, А. И. Яншин)	3
<i>Часть первая</i>	
ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ	7
<i>Глава 1. Методология и методические основы геологического дешифрирования космических снимков</i> (В. И. Макаров)	7
<i>Глава 2. Использование математических методов в дистанционном зондировании для решения геологических задач</i> (В. К. Кучай, Д. Н. Чучадаев)	14
<i>Глава 3. Методика инструментального дешифрирования аэрокосмических изображений</i> (С. Ф. Скобелев, А. С. Петренко)	20
<i>Глава 4. Корреляция космической и геолого-геофизической информации</i> (А. С. Петренко, П. В. Флоренский)	31
<i>Глава 5. Структурно-геологические исследования и геологическое картирование с помощью материалов космических съемок</i>	45
Принципы составления космотектонических и космофотогеологических карт (В. А. Буш)	45
Проблемы улучшения традиционных геологических карт (С. С. Шульц мл.)	50
Применение многозональных космических снимков при структурно-геологических исследованиях (С. Ф. Скобелев)	52
Выявление и картирование массивов плутонических пород и их петрохимическая диагностика (С. С. Шульц мл.)	58
Металлогеническое значение структурно-геологической интерпретации космических снимков на примере Алтая (В. Д. Баранов, М. И. Диденко)	64
Структурно-геологическое изучение горно-складчатых областей (С. Ф. Скобелев, И. И. Войтович, В. Н. Смирнов, С. В. Левашова)	68
<i>Глава 6. Методические основы, особенности и перспективы использования специальных видов дистанционной съемки</i>	76
Тепловая съемка (В. И. Лялько, М. М. Митник, с дополнениями Л. Д. Вульфсона)	76
Радиолокационная съемка (А. В. Доливо-Добровольский)	90
Спектрометрирование горных пород (Н. Кацков, Х. Спиридонов, М. Червенышка)	98
Лидарная спектрометрическая съемка (В. И. Лялько)	101
<i>Глава 7. Комплексное применение дистанционных методов при геологических исследованиях</i> (В. Г. Трифонов)	105
<i>Часть вторая</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СОВРЕМЕННЫХ И НОВЕЙШИХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	108
<i>Глава 8. Современные и новейшие эндогенные процессы</i>	108
Молодая тектоника и прогноз землетрясений (В. Г. Трифонов, В. И. Макаров)	108
Соотношения между механизмами очагов землетрясений и проявлениями сейсмических зон на космических снимках (И. В. Ананьин)	117
Современные вулканические явления и структуры (И. А. Гусев)	122