

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

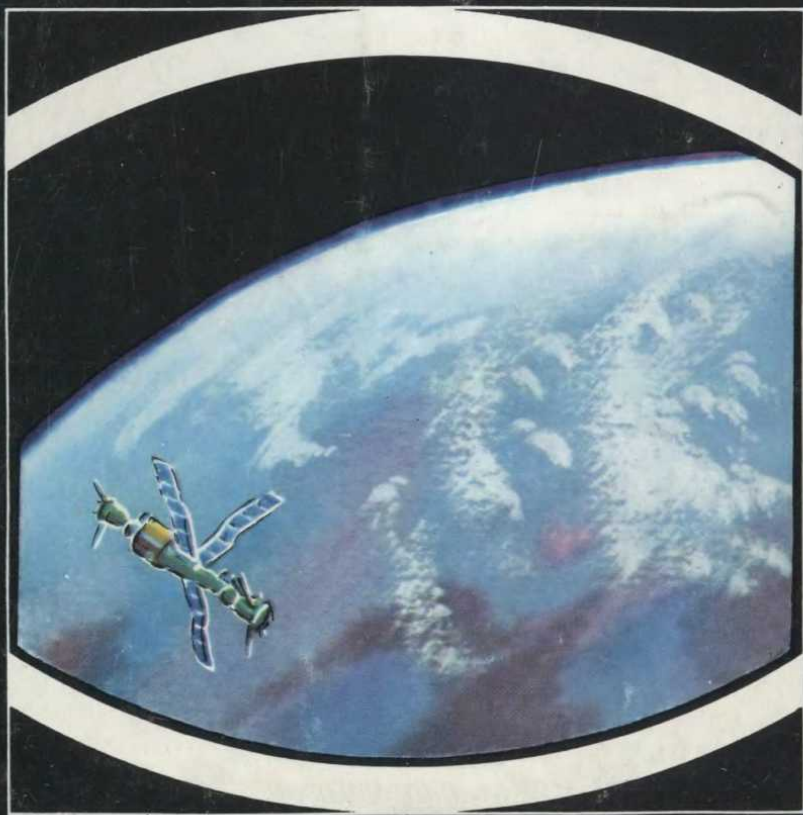


1987/10

В. Г. Трифонов

В. И. Макаров

**КОСМИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ-ГЕОЛОГИИ**



ЗНАНИЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

Подписная научно-популярная серия

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

10/1987

Издается ежемесячно с 1966 г.

В. Г. Трифонов,

доктор геолого-минералогических наук

В. И. Макаров,

кандидат геолого-минералогических наук

КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ — ГЕОЛОГИИ

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3

СТРУКТУРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ 5
ОТ ПОВЕРХНОСТИ В ГЛУБЬ ЗЕМНЫХ НЕДР 15

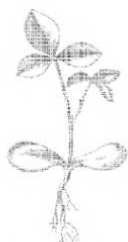
ПОИСКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ 28

СОВРЕМЕННЫЕ И НОВЕЙШИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ 32

ЗАДАЧИ ЗАВТРАШНЕГО ДНЯ 41

ЛИТЕРАТУРА 45

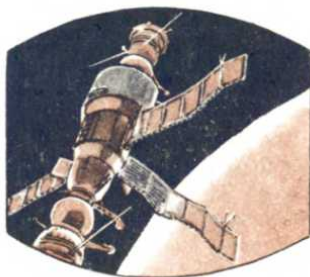
Издательство «Знание»
Москва 1987



Scan AAW



70-летию Великой Октябрьской
социалистической революции
посвящается



Владимир Георгиевич ТРИФОНОВ — доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией Геологического института АН СССР. Заместитель председателя Комиссии АН СССР по изучению природных ресурсов с помощью космических средств. Специализируется в областях изучения Земли из космоса, сейсмотектоники и современной геодинамики. Автор 9 книг и свыше 100 научных статей.

Владимир Иванович МАКАРОВ — кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Геологического института АН СССР. Специализируется в областях геологического применения космической информации и изучения новейших геологических процессов. Автор 7 книг и более 100 научных статей.

Введение

30 лет назад, 4 октября 1957 г., в СССР был запущен первый искусственный спутник Земли. Это величайшее достижение советской науки открыло новые возможности не только исследования других миров, но и изучения нашей родной планеты. А когда в 1962 г. Г. С. Титов сделал первые фотографии земной поверхности с борта космического корабля, возможность стала реальностью. Сначала фотографии земной поверхности, потом и другая космическая информация о Земле оказались интересными, полезными и, наконец, незаменимыми для специалистов, изучающих различные

процессы и явления в недрах нашей планеты и на ее поверхности, в Мировом океане, атмосфере и живой материи, исследующих и прогнозирующих природные ресурсы, сельскохозяйственную, индустриальную и социальную деятельность человечества. Возникла новая наука — космическое земледевие.

Геологи одними из первых взяли на вооружение новый инструмент познания. Это было закономерно, ибо предопределялось тем подходом к природным процессам, который утвердился к середине нынешнего столетия на основе идей великих русских ученых К. Э. Циолковского, В. И. Вернадского и А. Л. Чижевского и заклю-

чался в изучении взаимосвязей геологических явлений и структур на фоне общей эволюции Земли как планеты. В значительной мере признание нового инструмента было обусловлено еще и тем, что ко времени появления космических изображений геологи уже привыкли смотреть на Землю сверху с помощью аэрофотоснимков, правда, фрагментарно и лишь в детальном масштабе. А аэрофотоснимки были почти в каждой геологической экспедиции.

Космические снимки дали геологам большой обзор видения и большую обобщенность изображения геологических структур. Можно было «за деревьями увидеть лес» — понять закономерности взаимоотношений разобщенных геологических образований. Постепенно сложились четыре главных направления геологического использования космической информации:

1. Уточнение контуров распространения горных пород разного состава и возраста на земной поверхности, т. е. составление новых и исправление ранее составленных геологических карт. Изучение структурной геологии — деформаций и смещений, которые испытывают горные породы под действием природных, так называемых тектонических, сил. Выявление пространственных закономерностей тектонических процессов.

2. Выделение линейных, овальных и кольцевых структур, отражающих, как сейчас удалось доказать, на земной поверхности особенности глубинного строения земной коры. Разделение геологических структур по глубинам, на которых они наиболее актив-

но развиваются. Изучение на этой основе соотношений процессов, протекающих на разных уровнях в верхних оболочках Земли.

3. Использование выявленных структурных закономерностей для прогнозирования полезных ископаемых, не только выходящих на поверхность Земли, но и скрытых в ее недрах. Изучение строения рудных районов, полей и месторождений. Обнаружение новых структур, перспективных для поисков нефти и газа.

4. Изучение современных и новейших геологических процессов, действия тектонических сил на современном этапе эволюции планеты, переноса материала на ее поверхности и т. п.

Поскольку недавние геологические события, а тем более события, происходящие на наших глазах, могут быть изучены лучше древних, это дает возможность использовать сведения о них для познания процессов и явлений далекого геологического прошлого и связанного с ними происхождения полезных ископаемых. Вместе с тем изучение современных и новейших процессов служит научной основой для оценки опасности стихийных геологических бедствий: сильных землетрясений, извержений вулканов, обвалов, оползней, просадок поверхности и т. д.

Перечисленные направления исследований сложились не сразу. Они развивались и углублялись с развитием космической техники, средств и способов обработки получаемых материалов. Советской науке принадлежит мировой приоритет в использовании космической информации для исследования глубинного строения земной коры, выявления

конкретных структур, перспективных для поисков нефти и газа, комплексного изучения сейсмоопасных зон и решения ряда вопросов металлогенического прогноза и рудной геологии. Вместе с тем в некоторых аспектах космического землеведения, и прежде всего аспектах технических, мы постепенно начали отставать от США и других развитых капиталистических стран. Одна из важнейших задач ускорения научно-технического прогресса — преодоление этого отставания и более эффективное использование космической информации в интересах науки и народного хозяйства.

Структурная геология и геологическое картирование

Геология занимает особое место среди естественных наук. Если физика, химия, биология, география, астрономия дают нам знания о современном состоянии окружающего мира, процессах и изменениях, которые происходят на наших глазах, то геология позволяет проследить развитие верхней твердой оболочки нашей планеты — земной коры, а по косвенным признакам и более глубоких недр в течение многих миллионов лет. Одна из ведущих идей современной науки — идея эволюции — зиждется прежде всего на геологическом материале. На чем основан эволюционный подход к геологическим образованиям? Во-первых, на установленном факте смены в разрезах земной коры комплексов горных пород, образованных в резуль-

тате различных природных событий, происходивших в разное время. Во-вторых, на изменении от одного комплекса к другому состава остатков древних животных и растений. Они были обнаружены в комплексах осадочных пород — тех, что образовались деятельностью воды, ветра, льда, живых организмов, перемещением материала на земной поверхности под действием силы тяжести. Эволюцией органического мира занимается палеонтология — отрасль науки на стыке геологии и биологии.

В XX столетии появились новые методы определения возраста — радиологические, основанные на времени распада радиоактивных изотопов, содержащихся в породах. Эти методы связали относительную геохронологию, построенную на последовательности образования комплексов пород и их палеонтологических характеристиках, с абсолютной шкалой времени и позволили выяснить возраст тех комплексов пород, которые лишены органических остатков, в частности древнейших пород в истории Земли.

Таким образом, современный лик Земли и горные породы, лежащие приповерхностную часть земной коры, — это продукт длительной эволюции планеты. Важнейший документ, отражающий итог эволюции на сегодняшний день, — геологическая карта. На ней показаны выходы на земную поверхность различных комплексов пород, разделенных по возрасту и составу, их деформации и смещения тектоническими процессами, вещественные и структурные изменения в течение многих миллионов лет. Геологическую карту дополняют различные спе-

циализированные карты. К их числу относятся карты тектоническая, структурные, глубинного строения земной коры, отражающие деформации и смещения горных пород, эволюцию этих преобразований. Существуют карты распространения тех или иных типов горных пород, палеогеографической и палеотектонической обстановки во время их образования, прогнозные карты поисков подземных вод и разных типов полезных ископаемых.

Уже первые попытки дешифрирования и интерпретации космических снимков показали большие возможности их использования для уточнения областей распространения различных геологических структур и комплексов пород. Были выявлены новые черты, не известные ранее, или такие, которым при наземных исследованиях не придавалось должного значения, например линеаменты и кольцевые образования. О них пойдет речь в следующей главе брошюры.

Обнаружилось и одно существенное различие результатов дешифрирования космических снимков и наземных исследований. Геологические границы, которые проводят на картах при наземных работах, являются обычно границами разновозрастных образований независимо от их вещественного состава. При дешифрировании космических снимков именно вещественные различия оказываются в поле зрения. Они определяют стойкость пород к разрушению водой, ветром, к химическим преобразованиям, обуславливающим выражение пород в рельефе, определяют цвет и характер выходов пород на поверхность, типы развивающихся на

них почв и растительности. Все это и находит отражение на космических снимках, которые, таким образом, позволяют выделять вещественные комплексы горных пород, обобщенные в результате естественной генерализации их изображения. Степень генерализации зависит от условий съемки: высоты космического корабля, разрешающей способности фотографической или иной съемочной аппаратуры, состояния атмосферы. Из-за генерализации облик пород на космических снимках отличается от того, что мы обнаруживаем при непосредственном наблюдении с Земли или на аэрофотоснимках. Тонкослоистые толщи предстают на космических снимках усредненно монотонными, а сложно построенные сочетания мелких разломов земной коры сливаются в единые зоны.

Отдельные дешифровочные признаки сами по себе порой не являются определяющими для распознавания геологических объектов, но дают однозначный ответ в сочетании друг с другом. Поэтому изучение закономерностей сочетания горных пород и структур, их так называемых парагенезисов — первоочередная задача космогеологических исследований.

На космических снимках различные геологические тела, особенности их деформаций и смещений устанавливаются по различиям яркости изображения, определяемой интенсивностью электромагнитного излучения природных объектов. Частично это собственное излучение, подобное тому, которое выделяют нагретые тела, но в большей мере — отраженное излучение Солнца. Фиксируются также отраженные ис-

кусственные радиосигналы (радиолокация). Перспективны попытки использовать отраженные лазерные сигналы.

Нередко яркость излучения различных природных объектов почти одинакова. Попробуйте, например, отличить на обычной черно-белой и даже цветной фотографии соль от снега. Но если разделить спектр электромагнитного излучения на узкие диапазоны и измерить в них яркость конкретных объектов, а потом построить кривые ее изменения для каждого из них, то окажется, что эти кривые разные. Иначе говоря, спектральные яркости природных образований индивидуальны, и это помогает отличить один объект от другого.

Использовать спектральные характеристики геологических образований позволила многозональная космическая съемка. Сущность ее состоит в том, что одновременно получают несколько изображений одного и того же участка земной поверхности в разных, сравнительно узких спектральных диапазонах. }

Такие многозональные космические изображения в видимой и самой ближней инфракрасной частях спектра были получены непрерывной телезаписью (сканированием) с американского автоматического спутника ERTS (Ландсат). Подобные материалы дали советские автоматические спутники серии «Метеор».

Новым источником информации стала многозональная фотосъемка примерно в таких же, но более узких диапазонах спектра. Ее выполняют с помощью фотокамеры МКФ-6 (позднее МКФ-6М), устанавливаемой на совет-

ских пилотируемых космических кораблях и орбитальных станциях. Камера содержит шесть объективов с разными светофильтрами и различными типами пленок.

Сейчас в космогеологических исследованиях используются и сканерные изображения и фотоснимки. Преимущество первых в том, что они достигают потребителя быстрее, ибо их можно передавать по радиоканалам, не доставляя пленку. К тому же поступившие радиосигналы непосредственно обрабатываются и преобразуются компьютерами, тогда как ввод в ЭВМ фотоизображения сопряжен с большей или меньшей потерей содержащейся в нем информации. Вместе с тем фотоснимки превосходят сканерные изображения по разрешению на местности.

Покажем возможности использования многозональных снимков на примере изученной московским геологом С. Ф. Скобелевым горной области перехода от Памира к Тянь-Шаню. Она особенно интересна для геологов тем, что здесь в сложных геологических структурах реализуется многовековое сближение горных масс Индостана и Евразии. Использовали многозональные фотоснимки МКФ-6, сделанные с борта космического корабля «Союз-22», и созданные путем их синтезирования цветные изображения (рис. 1, 2). Синтезирование достигается проектированием через цветные фильтры на один экран минимум трех негативов одного и того же участка поверхности в разных зонах спектра. Изменяя интенсивность света, пропускаемого через отдельные негативы, можно воссоздать естественную



Рис. 1. Космический фотоснимок Па-миро-Алая; Средняя Азия; сделан с «Союза-22» камерой МКФ-6, разрешение на местности около 70 м

цветопередачу или картину местности в искусственных цветах, при этом интересующий нас геологический объект станет виден более отчетливо.

На космических снимках удалось распознать не только комплексы горных пород разного возраста и состава, но и особенности деформаций и смещений, в которых просматривается процесс сближения. Видны, в частности, складчатые изгибы, тектонические чешуи и покровы, сформирован-

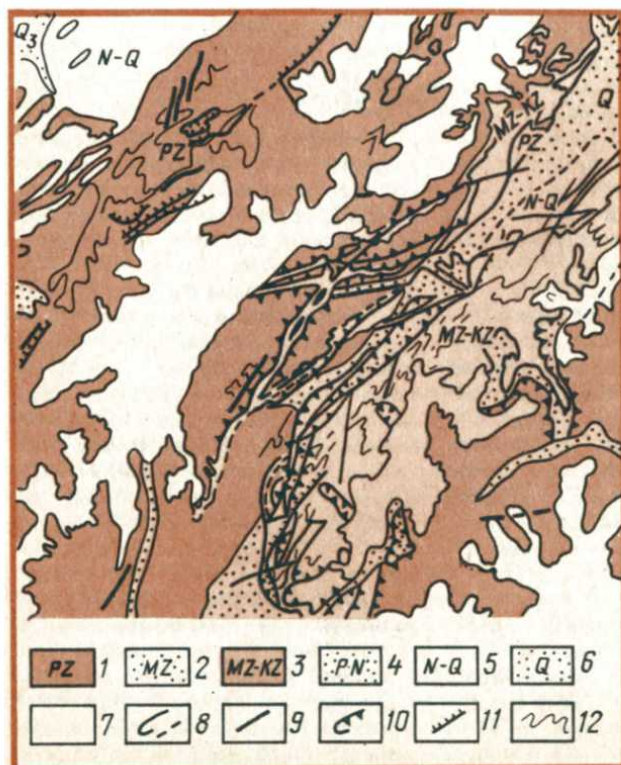


Рис. 2. Фрагмент геологической карты, составленной С. Ф. Скобелевым с помощью снимка рис. 1:

1—6 — комплексы горных пород с индексами возраста; 7 — ледники и облака; 8, 12 — отдешифрированные слои горных пород; 9—11 — разломы, в том числе: 9 — крутые разломы, 10 — тектонические покровы, 11 — надвиги

ные течением и срывом горных масс, подвергшихся интенсивному сжатию. Различаются между собой даже разновозрастные песчаники нижнемелового возраста: более светлые, сносившиеся с Тянь-Шаня и обогащенные карбонатным материалом, и более темные, сносившиеся с юга, обогащенные продуктами разрушения вулканических пород. По существу, это различие в содержании окислов железа, чутко улавливаемое в рассматриваемой части спектра.

Рассмотрим более подробно, чем различается геологическая информация, содержащаяся на снимках в отдельных узких спектральных диапазонах. На изображениях

в диапазоне 0,52—0,56 мкм дифференцируются по вещественному составу молодые (четвертичные) отложения, хуже — более древние породы в зависимости от их увлажненности. В зоне спектра 0,64—0,68 мкм эти различия усиливаются, особенно в горных частях района. Такие снимки хорошо использовать при инженерно-геологических, гидрогеологических и других работах, когда важно знать механические свойства и водонасыщенность горных пород и рыхлых отложений.

В диапазоне 0,7—0,74 мкм почвенно-растительные особенности наименее выражены, отчего проступает информация, относящаяся к крупным формам рельефа.

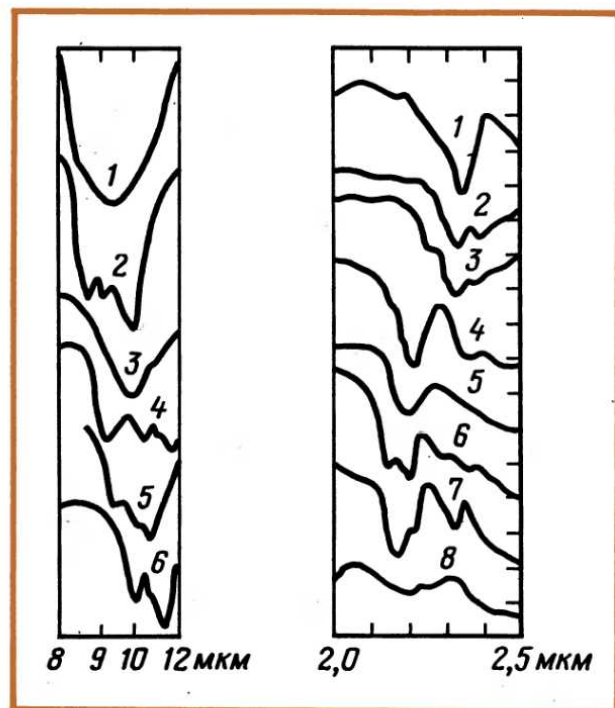


Рис. 3. Лабораторно определенные спектральные кривые минералов, по данным Дж. Р. Ханта, Дж. У. Селисбэри, Г. Л. Рейниса и др.: справа — в ближнем ИК-диапазоне (1 — кальцит, 2 — флогопит, 3 — хлорит, 4 — мусковит, 5 — монтмориллонит, 6 — каолинит, 7 — алунит, 8 — гипс); слева — в среднем ИК-диапазоне (1 — кварц, 2 — альбит, 3 — мусковит, 4 — авгит, 5 — роговая обманка, 6 — оливин)

Она особенно ценна для изучения тектоники и, в частности, новейшей тектонической активности, проявляющейся в деформациях рельефа. На снимках в диапазоне 0,79—0,89 мкм хорошо видны мелкие формы рельефа, отражающие условия залегания и вещественный состав горных пород. Эти снимки дают особенно много для геологического картирования.

Дальнейшие исследования показали высокую информативность для распознавания вещественного состава изображений в ближней (2—2,5 мкм) и средней (8—12 мкм) инфракрасных частях спектра, причем информативны не суммарные характеристики, а спектральные кривые в этих зонах (рис. 3). В диапазоне 2—2,5 мкм различаются лучше всего глинистые и другие минералы, формирующиеся в процессах выветривания и осадконакопления на поверхности Земли. В диапазоне 8—12 мкм, несмотря на разрыв атмосферного окна пропускания лучей на уровне 9,3—9,9 мкм, различаются главные силикатные минералы, слагающие большинство горных пород земной коры и подстилающей ее мантии.

Итак, лабораторные, наземные и аэрокосмические измерения спектральных характеристик в окнах пропускания атмосферы видимой и инфракрасной областей показали принципиальную возможность распознавания боль-

шинства наиболее распространенных минералов и горных пород путем их регистрации с космических носителей. Однако практическое использование спектральных характеристик, измеренных из космоса, встречает ряд трудностей. Они заключаются не только в том, что мы пока не можем получать из космоса картины площадного распространения всех необходимых для диагностики пород спектральных характеристик с нужным пространственным (детальность изображения) и частотным (дробность разделения спектральных диапазонов) разрешением. Главные трудности — в особенностях строения горных пород и их выхода на поверхность.

Во-первых, спектрометрирование практически не дает информации для выделения структур, сложенных близкими по составу породами, если их контуры и характерные особенности не подчеркнуты другими компонентами ландшафта, например увлажненностью или растительностью. Во-вторых, большинство пород состоит не из одного, а из нескольких минералов. Интегрирование их спектральных яркостей зависит не только от относительного содержания, но и от формы зерен породы. В-третьих, обычное на земной поверхности измельчение обнажающихся пород снижает коэффициенты отражения, сглаживая различия яркостей. Еще большую сглаживающую роль играют запыленность пород и особенно их выветривание. Даже слабо измененные поверхности, не мешающие наземному визуальному распознаванию, приобретают спектральные характеристики тонких пленок развивающихся на них вторичных минералов, которые да-

¹ В отдельных случаях мы рассматриваем в брошюре материалы не только космических, но и самолетных съемок. Устанавливаемая сейчас только на самолете аппаратура завтра может быть усовершенствована и займет место на космическом аппарате. Нередко же установка прибора на самолете или спутнике — вопрос только экономической или производственной целесообразности.

леко не однозначно соответствую-
ют первичному составу породы.
Но в наибольшей мере искажает
и сглаживает спектральные ха-
рактеристики горных пород рас-
тительный покров, даже сравни-
тельно редкий.

Все это заставило обратить
пристальное внимание на геоме-
трические характеристики изобра-
жения геологических объектов на
космических снимках. К числу та-
ких характеристик относятся фор-
ма выхода геологического тела на
земную поверхность (или форма
объектов, соответствующих на
земной поверхности геологиче-
скому образованию, скрытому на
глубине); внутренняя текстура его
изображения, определяемая не-
однородностями строения и со-
става, которые проявлены цветом
и особенностями расчленения
местности (рельеф, речная и ов-
ражная сеть), а иногда и распре-
делением растительности; рисунок
поверхности, образуемый сочета-
нием геологических объектов.

**Форма выхода на земную по-
верхность** — важный дешифров-
очный признак для выделения
на космических снимках разного
типа плутонических массивов, сло-
женных застывшей на глубине рас-
плавленной магмой или ее произ-
водными. В результате последую-

щего разрушения покрывки плу-
тонические образования оказа-
лись на земной поверхности. Ле-
нинградский геолог С. С. Шульц
мл. составил таблицу морфоло-
гических типов гранитоидных плу-
тонических массивов (рис. 4) и
убедился в информативности
этого дешифровочного признака
для определения химического со-
става массивов и прогнозирова-
ния связанных с ними полезных
ископаемых, причем признак этот
«работает» независимо от ланд-
шафтных особенностей исследуе-
мого района.

Рис. 4. Таблица геометрических об-
разов массивов гранитоидов на аэро-
космических изображениях, состав-
лена С. С. Шульцем мл.:

I — линейные плутоны: I.1—I.4 —
синклинатические массивы: I.1 —
змея, I.2 — гусеница, I.3 — дракон,
I.4 — корень; I.5—I.8 — посткли-
натические массивы зон проплавления
и раздува: I.5 — стручок,
I.6 — бусы, I.7 — четки, I.8 — оже-
релье; I.9—I.12 — постклинатические
щелевые массивы заполнения: I.9 —
игла, I.10 — стрела, I.11 — топор,
I.12 — клин

II — брахиформные плутоны: II.1—
II.4 — массивы заполнения (конформ-
ные): II.1 — лук, II.2 — щит, II.3 —
бумеранг, II.4 — седло; II.5—II.8 —
массивы проплавления (дисконформ-
ные): II.5 — амеба, II.6 — клякса,
II.7 — мешок, II.8 — пень; II.9 —
II.12 — массивы зон взрыва и раз-
двига: II.9 — труба, II.10 — звезда,
II.11 — лабиринт, II.12 — паук

III — концентрические и изометри-
чные плутоны: III.1—III.4 — мас-
сивы сводовых поднятий: III.1 — круг,
III.2 — овал, III.3 — шестигранник,
III.4 — восьмерка; III.5—III.8 — мас-
сивы изометричных депрессий: III.5 —
кубок, III.6 — медуза, III.7 — тарелка,
III.8 — кольцо; III.9—III.12 — мас-
сивы вихревых структур: III.9 — вихрь,
III.10 — источник, III.11 — всрорнка,
III.12 — конский хвост

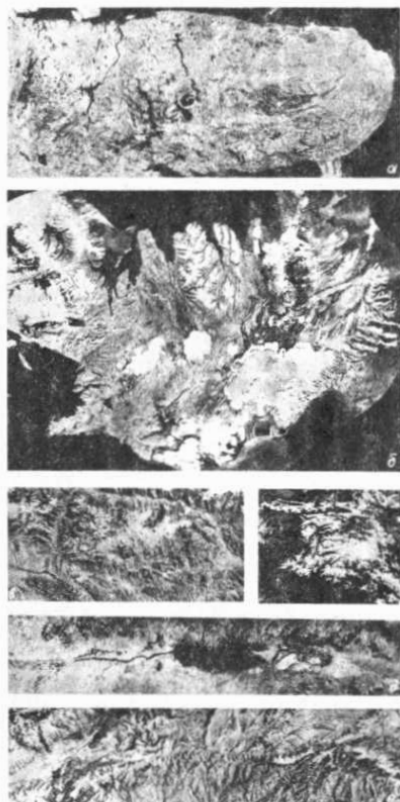


В Кызылкумах (Средняя Азия), например, золотое оруденение, локализуемое в толще черных сланцев, иногда приурочено к неглубоким по происхождению адамеллитовым (разновидность гранита, названная так по горе Адамелло в Тироле) массивам проплавления неправильных, причудливо изрезанных очертаний (форма «амебы»). Расположенные по соседству тоналитовые массивы, напоминающие по очертаниям бумеранг, в отношении золотого оруденения стерильны.

Медно-порфировое и медно-полиметаллическое оруденение

обычно связано с неглубокими плутонами монцонитового и сие-нит-диоритового состава (среднее содержание кремнезема с повышенным количеством щелочных элементов). Таковы крупнейшие месторождения Чили, Перу, США,

Рис. 5. Структурные рисунки различных геодинамических ситуаций на космических изображениях: а — Кольский полуостров со спутника «Метеор», 16 августа 1980 г., красная часть спектра — видны концентрические массивы апатитоносных нефелиновых сие-нитов Хибинских гор и широтная цепочка овально-концентрических массивов щелочных гранитоидов — возможный след проплавления континентальной коры при ее прохождении над мантийной «горячей точкой»; б — рифтовая зона Исландии на мозаике снимков со спутника «Ландсат» — полосчатый структурный рисунок создан чередованием примерно параллельных вулканических цепей в центре зоны и узких поднятых и опущенных блоков на ее периферии; в — часть Заалайского и Алайского хребтов на космическом фотоснимке с «Союза-22» — система дуг с линзовидными выходами отдельных толщ и слоев отражает сложную складчато-надвиговую структуру; г — Памиро-Гималайская область сжатия и скучивания континентальной литосферы со спутника «Метеор», красная часть спектра — надвиги сконцентрированы во фронтальной части дуговидного изгиба и сменяются сдвигами вдоль западного и северо-восточного его краев; д — прямолинейная Левантская левосдвиговая зона на космическом фотоснимке, сделанном камерой КАТЭ-140 с «Салюта-4» — на участке кулисного подставления двух главных ветвей сдвига возникла впадина растяжения Мертвого моря; е — правосдвиговая зона Таласо-Ферганского разлома Тянь-Шаня на мозаике снимков со спутника «Ландсат» — видны уступ вдоль разлома и кулисный ряд сжатых складок на его юго-восточном окончании (справа)



Мексики, Малайзийского медно-порфирового пояса на Филиппинах. К тому же типу относятся и многие месторождения СССР, в частности, Алмалыкского рудного района Срединного Тянь-Шаня (Кальмакыр), Центрального Казахстана (Бошекуль, Коксей), Закавказья (Каджарак, Агарак). На космических изображениях эти меденосные массивы имеют удлиненную, изогнутую, нередко ветвящуюся форму, напоминающую гусеницу, летящего дракона или ветвящийся толстый корень.

Для цепочек массивов типа бус или четок характерно заполнение лейкократовыми гранитами (наиболее высокое содержание кремнезема) с оловорудной минерализацией (массивы Рудных гор и Нигерии, а в СССР — колымские, бураинские, сихотэ-алинские).

Форму стручка имеют на снимках системы массивов апатитовых нефелиновых сиенитов и щелочных гранитоидов (породы с очень высоким содержанием щелочных элементов). Эти концентрические массивы, протягивающиеся в виде закономерно ориентированных цепочек на Кольском полуострове (рис. 5, а), в районе Ветряного пояса Беломорья, в Финляндии, Швеции и Норвегии, возможно, формировались в результате проплавления континентальной земной коры восходящими струями производного от верхней мантии вещества, а их размещение маркирует направление перемещения поверхностных масс над такими древними струями.

Изометричные формы с неровными, но слабо изрезанными границами характерны для несогласных с поверхностными структурами массивов проплавления сиенит-

диоритов (среднее содержание кремнезема, повышенная щелочность) и их производных с более высоким содержанием кремнезема. С ними связано вольфрамовое и молибден-вольфрамовое оруденение (Срединный Тянь-Шань, Центральный Казахстан). Округлая, иногда концентрическая форма с окружающими радиальными структурными элементами типична для массивов, формировавшихся в условиях всестороннего раздвигания. Они сложены высокофтористыми литиевыми щелочными гранитоидами, часто с редкометалльным и танталониевым оруденением.

Связь формы плутонических массивов с их составом и характером оруденения открывает новые пути аэрокосмического прогноза и поиска рудных месторождений.

Внутренняя текстура изображения геологических тел определяется деталями ландшафта, которые в значительной мере зависят от вещественного состава пород и их стойкости к выветриванию и разрушению. Чаще всего внутренняя текстура оказывается эффективным опознавательным признаком в сочетании с формой геологических образований. Они позволяют, например, уверенно выделять молодые вулканы и отходящие от них лавовые потоки, картировать складки в слоистых осадочных толщах. Достаточно уверенно выделяют разломы земной коры по различиям тональности и текстуры изображения на той и другой стороне линии разлома. Крупный молодой Таласо-Ферганский разлом в Тянь-Шане показан на рис. 5, е. Систематический однонаправленный изгиб долин на пересе-

чении с разломом свидетельствует о направлении движений: в данном случае земная кора верхней части рисунка смещалась вправо относительно нижней части.

По особенностям **структурного рисунка** на космических снимках определяют, например, геодинамические условия, в которых происходило в недавнем прошлом и продолжается сейчас развитие того или иного участка земной коры. Различаются зоны растяжения, сжатия и горизонтального сдвига.

Крупные рифтовые зоны растяжения (рис. 5, б) распознают по характерной ленточной полосчатости. Она обусловлена либо сочетанием параллельных, но разновозрастных цепей вулканов, использовавших трещины растяжения в земной коре (Исландия), либо чередованием узких поднятых и опущенных блоков (Байкальская система). Отдельные разломы таких зон чаще всего имеют неровные, изогнутые очертания. Они состоят из отрезков, ветвящихся или подставляющих друг друга, как кулисы в театре.

Крупные зоны сжатия, вызывающего надвигание одних горных масс на другие, образуют дуги, обращенные выпуклостью в направлении надвигания (рис. 5, в, г). Концы одних дуг могут быть скрыты другими, как бы наложенными на них, что нередко отражает реальную последовательность надвигания отдельных пластин. Выходы комплексов горных пород имеют форму линз, зависящую от неравномерного их выжимания или перекрытия соседними комплексами. Такой рисунок проявляется как в масштабе целых горно-складчатых поясов (фронт относительного надвига-

ния Памира на Тянь-Шань), так и в строении отдельных складчато-надвиговых зон.

Горизонтальные сдвиги отличает поразительная прямолинейность, присутствие оперяющих их под углом и расположенных кулисно относительно друг друга складчато-надвиговых структур сжатия либо, напротив, поднятых и опущенных блоков растяжения. Иногда они возникают и непосредственно на линии разлома в тех местах, где он отклоняется от генерального направления, и горизонтальное смещение дополняется сжатием или растяжением сдвигаемых масс. По тому, при каком отклонении возникают структуры сжатия, а при каком — растяжения, можно определить, в какую сторону происходило движение вдоль разлома. Так, в зоне упоминавшегося Таласо-Ферганского разлома горные хребты сжатия отходят в правой части снимка направо вверх (см. рис. 5, е), подтверждая смещение горных масс верхней части снимка вправо. А вдоль Левантского разлома Ближнего Востока имело место обратное движение (рис. 5, д). Его определили по появлению впадины растяжения Мертвого моря в том месте, где ветвь разлома, прослеживаемая в левой части снимка, кулисно подставляется другой ветвью, которая на снимке находится выше и продолжается в его правую часть.

Итак, опознавание и изучение геологических тел и структур на космических снимках по их ландшафтным проявлениям, геометрическим и спектральным признакам помогают установить состав и форму залегания горных пород, их тектонические деформации и смещения. Тем самым улучша-

ются и уточняются геологические карты и другие геологические документы, без которых немислимы поиск полезных ископаемых, выбор места и определение условий строительства, оценка опасности стихийных геологических бедствий.

От поверхности в глубь земных недр

При изучении Земли из космоса, выполняется ли оно путем непосредственных визуальных наблюдений или по фотографическим, сканерным и другим изображениям, геологи, географы, специалисты сельского и лесного хозяйства и других отраслей землеведения получают информацию от одного и того же объекта — земной поверхности. Задача состоит, следовательно, в том, чтобы из сложной интегральной картины, какой является изображение земной поверхности, извлечь нужную составляющую часть. Именно эту особенность космического землеведения подчеркнул академик А. Л. Яншин (1987), отметив тематическую комплексность, межотраслевой характер информации, содержащейся на изображениях Земли из космоса.

Таким образом, приступая к геологическим наблюдениям из космоса или дешифрированию космических снимков в геологических целях, необходимо с самого начала иметь совершенно определенное представление о том, чем является земная поверхность как геологическое образование. С этих позиций в самом общем виде ее необходимо рассматривать как итоговую (интегральную) структуру, созданную в ре-

зультате последовательного наложения и сложения разновозрастных и разной глубины заложения образований и закономерно преобразованную многообразным комплексом экзогенных процессов. В таком определении земная поверхность выступает, во-первых, как категория историческая и, во-вторых, как результат взаимодействия литосферы (эндогенных процессов) с гидросферой, атмосферой и биосферой (экзогенными процессами).

С точки зрения исторической в структуре земной поверхности необходимо прежде всего четко разграничивать ее древние и молодые элементы. Их удельный вес в формировании лика земной поверхности весьма различен. Основные формы современного рельефа континентов, которые прежде всего предстают взору исследователя, определены неотектонической структурой, созданной теми движениями земной коры, которые в общем случае начались 30—40 млн. лет назад (в конце эоцена — олигоцене). Размеры созданных этими движениями форм таковы, что именно они в большинстве своем и в первую очередь распознаются с космических высот.

При этом необходимо помнить, что сами формы новейших структур разнообразны и различны в слабоактивных платформенных областях, горно-складчатых сооружениях и рифтовых зонах. На платформах они отличаются большими размерами, преобладанием изометричных или овальных слабо удлинённых очертаний, малой амплитудой соответствующих форм рельефа (возвышенностей и впадин) и очень малыми градиентами перехода от одних к дру-

гим. Поэтому границы форм обычно как бы рассеяны, «размыты», что очень затрудняет их наземное распознавание и картирование и требует значительного опыта. Генерализация же, которую обеспечивают съемки из космоса, позволяет видеть такие формы и их границы достаточно определенно.

В пределах горно-складчатых областей задача выделения молодых элементов структуры решается значительно проще, ибо они в большинстве своем очевидны. Так, основные хребты и впадины или долины многих горных областей, например Тянь-Шаня или Кавказа, представляют собой не что иное, как крупные складки, охватывающие мощные толщи земных недр и получившие название «складки основания» и «складки коры». Так же глубоки и многие разломы. Деформациями

охвачены в одних случаях древние массивы ранее деформированных горных пород (Тянь-Шань), а в других — на фоне таких глубинных короблений, частично предваряя их, частично одновременно с ними интенсивно развиваются значительно более мелкие по размерам и глубине охвата, но нередко весьма сложные деформации верхних осадочных толщ — структуры покрова (Альпы, Карпаты, Кавказ). И в том и в другом случае деформации покрова образуют внутреннюю структуру складок основания и из-за относительно небольшого размера могут не распознаваться с космических высот (рис. 6). Тем не менее эта внутренняя структура складок основания предопределяет некоторые особенности их общей морфологии (внутренней текстуры изображения).

В ряде областей, однако, распространены молодые складки покрова, которые достаточно обширны и прямо проявлены в рельефе куполообразными линейно вытянутыми возвышенностями или долинообразными понижениями. Такие структуры, сложенные слоистыми и многоцветными толщами осадочных и вулканических пород, обычно хорошо распознаются на космических снимках, например, структуры Таджикской депрессии и юго-восточной части Кавказа (Дагестан, Кобустан и т. п.). В этих случаях, как правило, затрудняется распознавание складок основания (рис. 7).

Различия в проявлении и возможности дистанционного изучения молодых структур покрова в конечном счете предопределены различиями степени деформированности той или иной области или участка и являются на-



Рис. 6. Космический фотоснимок Тянь-Шаня, сделанный в 1975 г. с орбитальной станции «Салют-4» камерой КАТЗ-140

дежным критерием тектонического (структурно-морфологического и кинематического) районирования территорий, которое можно эффективно производить с борта космического корабля или по космическим снимкам.

Древние структуры, в различной мере преобразованные более молодыми движениями, выступают, естественно, в новой композиции и через нее проявлены в тех или иных элементах. В зависимости от степени последующих преобразований и принадлежности к определенной неотектонической области (платформенной, складчатой, орогенной, рифтовой) их значение в формировании рельефа поверхности различно. Структура древних складчатых комплексов в пределах молодых орогенов, например Тянь-Шаня, распознается на ма-



Рис. 7. Космический фотоснимок Дагестана («Салют-12»)

териалах космических съемок так же или хуже, чем молодая складчатость альпийского типа (см. в сравнении рис. 6 и 7). Эта древняя структура определяет лишь некоторые особенности новейших форм и в рельефе проявлена, как правило, мезо- и микроформами. Последние формируются на изображении лишь специфику внутренней текстуры неотектонического блока. Сами же элементы такой текстуры, т. е. формы древних структур, могут не распознаться вовсе, будучи не только мелкими, но и весьма сильно затушеванными контрастными и дробными складками горного рельефа.

Значительно лучше древние складчатые комплексы проявлены в пределах выступов древних массивов на платформах, где их рисунок мало переработан более поздними тектоническими процессами и не затушеван глубокими формами рельефа (Балтийский щит, Центрально-Казахстанский мелкослопчик — рис. 8). В этих условиях избирательно эродированные и отпрепарированные древние структурные формы и вещественные комплексы, особенно крупные, распознаются достаточно хорошо, имея доминирующее значение в рельефе.

Морфологическое сходство древних и молодых складчатых структур и разломов вызывает естественный вопрос: различимы ли они на космических изображениях? Прежде чем ответить на него, обсудим второй аспект рассматриваемой проблемы — взаимодействие эндогенных и экзогенных факторов. Ему посвящена обширная литература. Многие стороны и результаты этого взаимодействия, по крайней мере в об-

щем виде, аксиоматично ясны. Но поскольку при наблюдениях из космоса, анализе и интерпретации космических снимков они приобретают принципиальное значение и требуют особого внимания, подчеркнем некоторые положения.

Конкретные геолого-геофизические разрезы самых разных областей, приведенные в многочисленных публикациях, свидетельствуют со всей очевидностью, что наблюдаемое положение поверхностей раздела глубинных уровней литосферы, т. е. земной коры и самых верхов мантии, наилучшим образом соответствует неотектонической составляющей приповерхностной структуры. Последняя, таким образом, определена глубинными деформациями и достаточно хорошо их характеризует, указывая в числе прочего на их относительно молодой возраст.

Отсюда появляется возможность изучения глубинных структур с помощью космических изображений. Речь идет, по существу, об анализе глубинной составляющей неотектоники.

Молодые тектонические процессы деформируют земную поверхность и приводят в действие экзогенные факторы: прежде всего гравитационные силы, нарушая их равновесие, а также все другие силы и процессы, которые в конечном итоге направлены к выравниванию поверхности. В зависимости от активности деформации (уклонов поверхности) и климатических условий устанавливается определенный комплекс экзогенных процессов (разрушения поверхности или накопления на ней обломочных толщ), который и предопределяет развитие тех

или иных типов рельефа, особенности структуры и распространения почвенно-растительного покрова. Будучи закономерными и проявляясь на космических изображениях, они служат индикаторами новейших тектонических форм разных размеров и особенностей развития.

Все более древние структуры, относительно пассивные в новейшее время, должны наблюдаться, очевидно, на фоне молодых. Само нахождение древних образований на поверхности или погребение их под покровом осадочных пород определяется развитием более молодых деформаций земной коры (воздыманием или опусканием земной поверхности) и служит их индикатором. Древние структуры, подобно молодым, определяют пространственное распределение комплексов горных пород разного состава. Последние, будучи выведены на поверхность, подвергаются неравномерным выветриванию и разрушению и предопределяют тем самым многие особенности рельефа, структуры почвенно-растительного покрова и некоторые другие детали рисунка поверхности. Если такого же типа древние структуры находятся в погребенном состоянии, то они в некоторых своих элементах, вероятно, также могут проявиться на поверхности, например, путем нарушения и некоторого преобразования восходящих потоков тепла, газов и жидкостей из более глубоких горизонтов литосферы и формирования соответствующей геохимической структуры поверхности, влияющей также на особенности почвенно-растительного покрова. Естественно, что в первом и втором случаях размерность и

отчетливость контуров и формы проявления элементов древних структур на поверхности будут существенно различными.

Теперь вернемся к поставленному ранее вопросу. В свете изложенных положений о характере, направленности и соотношении эндогенных и экзогенных процессов вопрос этот вполне успешно решается. Главный критерий для распознавания на космических снимках новейших струк-

тур — это активность молодых процессов расчленения поверхности или накопления отложений. В общем случае активность связана прямой зависимостью с активностью проявления новейших тектонических движений.

Так, широкое распространение сложных узоров складчатых и разломно-складчатых структур на фоне равнинного или относительно слабо расчлененного рельефа (подобно дробному узору паркета) — верный признак древности структур (см. рис. 8). Но и здесь нахождение древних структур на поверхности обязано новейшим тектоническим движениям, которые в данном случае поддерживают высокое, открытое положение древних комплексов горных пород, тогда как в других случаях (Западная Сибирь, Туранская низменность, Подмосковье) они опустили те же или подобные комплексы на более или менее значительные глубины, захоронив их под покровом более молодых отложений.

Иначе обстоит дело в пределах Тянь-Шаня и подобных ему областей, например Алтая, Саян. Здесь древние комплексы развиты на фоне горного, более или менее глубоко расчлененного рельефа. Последний служит определенным показателем активных и весьма дифференцированных молодых (неотектонических) движений. На их фоне все древние образования выступают лишь как фактор, определяющий внутренние неоднородности массива и соответствующие возможности и особенности молодых его деформаций. В таких условиях древние структуры предстают как пассивные элементы новейшей тектоники и самостоятельно, в целостном ви-



Рис. 8. Космическое изображение Центрального Казахстана (район оз. Балхаш), полученное со спутника «Метеор-30»

де, как правило, не обнаруживаются.

Приведенные примеры убедительно иллюстрируют тот важный факт, что на земной поверхности одновременно и неразрывно представлены разновозрастные структуры. При этом морфология и ранг геологических образований разного возраста могут существенно различаться, хотя нередко наблюдается достаточно полная унаследованность развития одних от других.

В целом можно сделать вывод, что на земной поверхности и соответственно на космических снимках геологические образования в своем большинстве проявляются через геоморфологические и ландшафтные индикаторы. Один и тот же или одинаковые по своему геологическому содержанию объекты, находясь в различных структурно-орографических и климатических условиях, могут иметь различное выражение на местности и на космических снимках. Многообразие и пространственная изменчивость внешних форм проявления одних и тех же геологических образований неизбежны, естественны и закономерны. Это положение было сформулировано в свое время известным американским геологом и геоморфологом В. Дэвисом, который подчеркивал, что все разнообразие форм рельефа являются функцией трех переменных — геологической структуры, процесса и времени. Приступая к изучению земной поверхности, геолог и геофизик должны быть убеждены, что формы рельефа не случайны, а закономерны и что геологическая структура — одна из ведущих причин появления тех или иных форм рельефа.

Изложенные факты и выводы служат основой для исследования с помощью космических снимков глубинного строения литосферы. Задача эта стала особенно актуальной в связи с тем, что нарастающее истощение рудопроявлений поверхностного и близповерхностного залегания требует поиска рудоносных структур погребенного типа, скрытых на больших или меньших глубинах. Аналогичная проблема давно уже стоит при поисках нефтегазоносных структур. Интенсивное хозяйственное освоение территорий, подверженных воздействию сейсмических и вулканических явлений, непосредственно связанных с современными процессами в глубинах земной коры и в мантии Земли, также требует хорошего знания этих глубин. Необходимы все более определенные знания и понимание закономерностей и процессов пространственного и временного развития структуры литосферы во всем ее объеме.

В геологической практике уже существует немало геологических, геофизических и геохимических методов проникновения в тайны земных недр. Однако нас пока не удовлетворяют полученные результаты. Требуются новые знания и соответственно новые эффективные методы их получения. Но как причастна к этому космическая техника? Нужно ли уходить в космические выси, далеко от Земли, для познания ее недр? Оказывается, нужно, и никакого парадокса в этом нет. В ряду традиционных методов изучения земных глубин их зондирование с космических аппаратов приобретает все большее признание и развитие.

Первые же опыты использования съемок из космоса в геологи-

ческих целях показали, что на космических фотографиях Земли дешифрируются многочисленные образования, не проявленные сколько-нибудь очевидно в структуре приповерхностных уровней коры, изучаемых традиционными методами и в традиционных масштабах. Вместе с тем оказалось, что эти образования отвечают структурам более или менее глубоко погребенных слоев коры и верхней мантии, которые прежде были установлены по геофизическим данным или предполагались, исходя из общих соображений. Первоначально это было показано в работах И. И. Башиловой, В. К. Еремина и Г. В. Махина на примере обширных областей юга Азии и Западной Сибири, в работах В. И. Макарова, В. Г. Трифонова и С. Ф. Скобелева по Памиро-Тяньшаньской области и Кавказу, в работах С. М. Богородского, В. П. Гаврилова, Л. Г. Кирюхина, М. Т. Козицкой, В. А. Козлова, Л. И. Соловьевой, П. В. Флоренского и С. С. Шульца-мл. по Туранской низменности. Дальнейшие исследования, выполненные в этом направлении геологами во многих областях континентов, подтвердили и укрепили полученные выводы.

Лучший пример, пожалуй, линейные. Это своеобразный класс структурных элементов земной коры, первоначально определенный известным американским геологом и геоморфологом В. Хоббсом еще в начале нынешнего столетия, но вызвавший настоящий научный интерес именно с началом космических съемок Земли и других планет. В самом общем виде линейные можно представить как некие прямолинейные или полого изогнутые узкие высокоградиентные зоны изменения различных ха-

рактеристик земной поверхности — геологических, структурных, геоморфологических, вещественно-геохимических, тепловых, ландшафтных, почвенно-растительных и т. д. Отметим важное их свойство: линейные как бы организуют пространственное положение различных черт поверхности, к ним приурочены и вдоль них вытянуты многочисленные более или менее крупные детали земной поверхности (см. рис. 5—8). В целом линейные отражают структуру и напряженное состояние литосферы.

Изображения Земли, полученные из космоса, показали со всей очевидностью, что линейные распространены практически повсеместно и являются неперенными элементами структуры земной поверхности и литосферы в целом. Выполненный авторами этой брошюры анализ линейных, отдешифрованных на первых космических фотоснимках Тянь-Шаня и Кавказа, их сопоставление со всеми имевшимися независимыми данными о структуре этих областей показали, что наряду с линиями, которые соответствуют хорошо известным чертам приповерхностной геологической структуры, многие линейные отражают элементы структур глубоких слоев коры и верхней мантии (Геологическое изучение Земли из космоса, 1978). Во многих случаях обнаружилось значительное несогласие таких линейных по их ориентировке, интенсивности, форме и другим параметрам с главными направлениями приповерхностных структур (рис. 9, см. рис. 6—8). Более того, такое несоответствие в разрезе литосферы может фиксироваться неоднократно, на разных глубинах, что привело к фун-

даментальному выводу о значительных структурно-динамических несогласиях между примерно разновозрастными, но разноглубинными формами, т. е. о дисгармонии и тектоническом расслоении литосферы.

Выполненный анализ показал также, что чем с больших высот осуществляются съемки, а точнее, чем меньшего масштаба и большего территориального охвата получают изображение, тем более глубинного заложения структуры на нем проявляются. Таким образом, съемки с разных высот, с разным территориальным охватом и разрешением на местности, т. е. с разной степенью генерализации, становятся методом последовательного глубинного зондирования разных уровней литосферы. При этом имеется в виду, однако,

что во всех случаях на изображениях проявляется не непосредственно некий глубинный срез литосферы, а лишь соответствующая глубинная составляющая интегральной картины на поверхности Земли, поверхностный след глубинных структур.

Все вышесказанное относится к другому столь же своеобразному классу структурных образований литосферы Земли, которые в литературе именуются кольцевыми, концентрическими и круговыми структурами или образованиями, или структурами центрального типа. Их широчайшее и практически повсеместное развитие на Земле также было установлено благодаря изображениям ее, полученным из космоса (Кольцевые структуры... 1987). Земля в этом отношении как бы перестала отли-

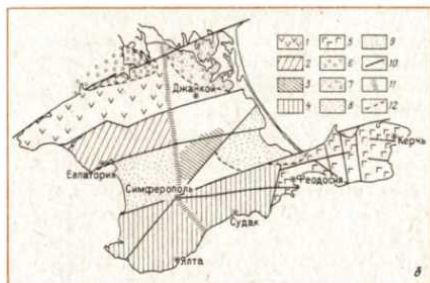
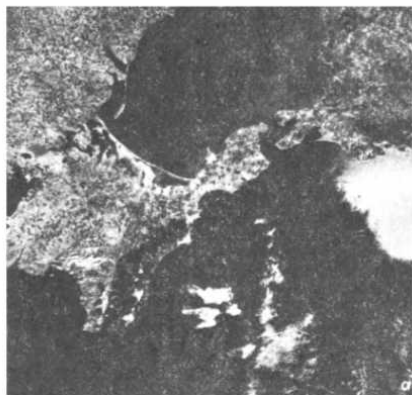


Рис. 9. Космический фотоснимок Крымского полуострова, сделанный с орбитальной станции «Салют-4» (а), и главные линейные (10, 11) и тектонические блоки (1—9), отдешифрированные на нем Н. В. Макаровой, Я. Г. Казем и Д. М. Трофимовым (б)

чаться от Луны, Марса, Венеры и других планет и лун Солнечной системы, испещренных кольцевыми образованиями, а представление о так называемой лунной стадии развития Земли, высказанное в свое время академиком А. П. Павловым, а затем разработанное Е. В. Павловским и рядом других исследователей, получило существенное подкрепление. Это чрезвычайно важно для понимания общей эволюции Земли и ее литосферы.

Теперь достаточно уверенно установлено, что в древнейшие времена развития Земли для нее характерны были структуры изометричных очертаний. В том числе значительной была и метеоритная бомбардировка Земли, не защищенной еще, возможно, столь мощной атмосферой, как в более поздние этапы.

Природа кольцевых образований весьма различна и не всегда может быть установлена достаточно однозначно. Среди них различают ударные (метеоритные) кратеры, вулканические и вулканотектонические, магматогенные (связанные с магматическими телами), метаморфогенные (отражающие структуру подвергшихся существенной переработке так называемых метаморфических комплексов), тектоногенные (связанные с ростом изометрических тектонических форм).

Кольцевые структуры особенно характерны для областей распространения на поверхности древнейших комплексов горных пород, для щитов древних платформ. Это, например, Балтийский и Украинский щиты Восточно-Европейской платформы, Канадский щит в Северной Америке, Алданский щит в Сибири. Но в дан-

ном случае обратим особое внимание, что они проявлены и там, где древние формации погребены под значительными толщами более молодых чехлов, например в пределах Русской плиты Восточно-Европейской платформы. В подобных случаях мы встречаемся, очевидно, либо с поверхностными образованиями типа метеоритных кратеров (например, Аризонский кратер в Северной Америке или кратер Жаманшин в Северном Приаралье), либо с автономными деформациями чехла (например, соляными диапирами), либо с отраженными на земной поверхности кольцевыми структурами погребенного фундамента.

Образования последнего типа в данном случае особенно интересны. Как и линейные глубинного заложения, они обнаруживают своеобразный эффект «просвечивания» на поверхности некоторых элементов структуры глубинных слоев земной коры и верхней мантии. Тем самым геологи получают в руки некоторый дополнительный инструмент изучения структуры земных недр, в том числе весьма глубокого заложения. Но кроме того (и это очень важно!), указанный выше эффект ставил по-новому оценить доступную непосредственному изучению структуру приповерхностных слоев земной коры, выявляя в ней составляющую, которая отражает некоторые глубинные неоднородности и процессы. Нет нужды доказывать, что такой подход к наблюдаемому на земной поверхности вещественно-геохимическому и структурному ее особенностям делает более фундаментальной основу геолого-геофизического прогноза и разнообразных геологических и инженерно-геологических

изысканий. Значительно повышает-
ся их эффективность, а многие

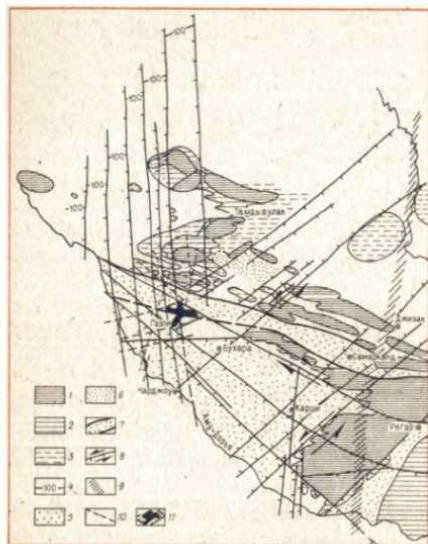


Рис. 10. Схема неотектоники Централь-
ных Кызылкумов:

1—3 — поднятые складки основания, их зоны и системы (в Центральных Кызылкумах поднятия дифференцированы по степени воздымания складчатого основания); 4 — изогипса 100 м в междуречье Амударьи и Сырдарьи; 5 — зоны наиболее активных прогибов и накопления новейших отложений; 6 — наиболее глубокие частные впадины в пределах Кульджуктау-Нуратинской системы поднятий; 7 — обобщенные границы Зеравшанского прогиба; 8 — зоны разломов и резких изгибов поверхности (штрихи обращены в сторону опускания, стрелками обозначены направления возможных горизонтальных перемещений); 9 — Туркестано-Алайский линейament; 10 — разломы, предполагаемые по результатам дешифрования космических снимков; 11 — сейсмостанция Каракыр и плейстоценовая область землетрясений 1976 г.

известные «аномалии» перестают быть таковыми, получая объяснение с позиций глубинной геологии: они аномальны или несогласны лишь относительно структуры приповерхностных слоев. Таким образом получили объяснение или дополнительное подтверждение довольно многочисленные (как известные ранее, так и открытые благодаря космическим съемкам) «антикавказские», «анти Тяньшаньские» и им подобные образования, широко распространенные в других горно-складчатых поясах. Важно отметить, что это имеет не только теоретическое, но и большое практическое значение, поскольку к таким образованиям нередко приурочены повышенная рудоносность, скопления очагов землетрясений («сейсмические дорожки») и т. д.

Возможность выявлять определенные элементы глубинных (погребенных) структур, основываясь на таком многоплановом анализе приповерхностных структур (и в этом отношении необходимо отдать должное космическим съемкам), значительно расширяет арсенал методов изучения структуры литосферы и повышает надежность интерпретаций геофизических и геохимических данных.

Обратимся к примеру Центральных Кызылкумов, которые в последнее десятилетие привлекают повышенное внимание специалистов в связи с тремя катастрофическими землетрясениями, произошедшими в районе Газлийского месторождения газа в 1976 и 1984 гг.

Высокая сейсмическая активность этой слабо дифференцированной и, казалось бы, неактивной территории, принадлежащей к Туранской плите (т. е. к области плат-

форменного типа), была, в общем-то, неожиданной, хотя отдельные ученые (Б. А. Петрушевский, Г. П. Горшков, В. И. Уломов) высказывали некоторые опасения на ее счет. Теперь обнаружены и исторические сведения о проявлениях здесь сейсмичности в прошлом.

Космические изображения этой области весьма информативны и показывают (даже неподготовленному человеку!) структуру значительно более сложную, чем та, которая предстает наземному наблюдателю и известна по существующим геологическим картам. Совместный анализ космических изображений, данных специальных геолого-геоморфологических наземных исследований и имевшейся геофизической информации позволил наметить в Центральных Кызылкумах ряд разнориентированных линейных зон и блоков и оценить с региональных позиций их возможные морфологические и кинематические характеристики и относительные различия в глубине заложения (рис. 10).

На фоне структур северо-западного направления, резко преобладающего в приповерхностных слоях, прослеживаются более расплывчатые и менее определенные элементы северо-восточной и субмеридиональной ориентировки. По некоторым косвенным признакам они представляются поверхностными проявлениями активных деформаций глубинных слоев коры и верхней мантии. При этом есть основания предполагать, что субмеридиональные направления здесь наиболее глубоки и с ними можно связывать образование структур растяжения и горизонтальных левосторонних сдвигов (с относительным

смещением блоков в направлении против часовой стрелки). В средней части коры активное значение имеют структуры северо-восточного простирания, в том числе глубинные взбрососдвиговые зоны.

Сосуществование и активное развитие таких разнонаправленных и разнотипных деформаций заставляют предположить, что здесь между дисгармонично деформируемыми слоями земной коры должны возникать субгоризонтальные тектонические срывы. Предположение принципиального значения! Ибо такие срывы также могут быть причиной сейсмических явлений.

Имеющиеся теперь довольно богатые сейсмологические и другие данные геофизического зондирования структуры земной коры области Газлийских землетрясений хорошо согласуются с такой картиной глубинных деформаций. Это касается прежде всего закономерностей пространственного и временного распределения очагов главных сейсмических ударов и их афтершоков в объеме сейсмоактивного блока: их плотность весьма изменчива по глубине (в разрезе коры), а в плане также намечаются отдельные активные зоны, ориентированные по указанным выше направлениям. С этим связано существование, а может быть, и возникновение в земной коре Кызылкумов, на глубинах около 7, 10, 12—16 и 25—32 км, горизонтов аномального уменьшения скорости распространения сейсмических волн, которые могут быть горизонтами тектонического разупрочнения среды.

Итак, на космических снимках Земли проявляются элементы структуры глубоких, и притом

весьма глубоких (десятки километров!), слоев литосферы. То, что это не мистика, не плод досужего воображения, доказывают теперь уже достаточно многочисленные и хорошо документированные примеры на самых разнообразных территориях, расположенных на разных континентах. Но возникает естественный вопрос: каков механизм формирования на земной поверхности (а затем и на космическом изображении) глубинной информации, в каких особенностях земной поверхности проявлен глубинный «сигнал»?

Чтобы ответить на такой вопрос, сущность которого сама по себе весьма значительна, обратимся к принципам взаимосвязи разнотипных слоев литосферы. Очевидно, все многообразие процессов, происходящих на разных глубинных уровнях литосферы, можно свести к следующим обычно взаимосвязанным формам. Это механические деформации (сейчас не будем касаться их причин), внедрения магматических расплавов и вещественные преобразования, которые сопровождаются плавлением либо сложным комплексом метаморфических процессов и связанными с ними тепловыми эффектами и высвобождением некоторой части вещества в виде газовых эманаций и флюидов (растворов).

Эти процессы, развиваясь в некотором интервале глубин литосферы, воздействуют, очевидно, на все вышележащие ее слои, вплоть до поверхности, вызывая либо их деформацию, либо определенные вещественно-геохимические изменения. Естественно предположить, что, передаваясь снизу вверх, и тепловой, и флюидно-

газовый потоки, и механические деформации в той или иной мере преломляются и преобразуются в соответствии с особенностями вещественного состава и структуры всей вышележащей толщи. Происходит определенное рассеивание глубинного «сигнала», которое в разрезе литосферы можно представить в виде некоторого конуса рассеяния (рис. 11).

Следовательно, говоря о проявлении погребенных структур на земной поверхности, мы должны предполагать вторичность и рассеянный характер тех признаков, которые отражают эти структуры. Рассеянные деформации, геотермические и геохимические ореолы и зоны рассеяния определяют те или иные особенности геологического субстрата, рельефа и почвенно-растительного покрова и через них становятся заметными и могут проявиться на космических изображениях в виде так называемых фотоаномалий, фотолинементов и других образований.

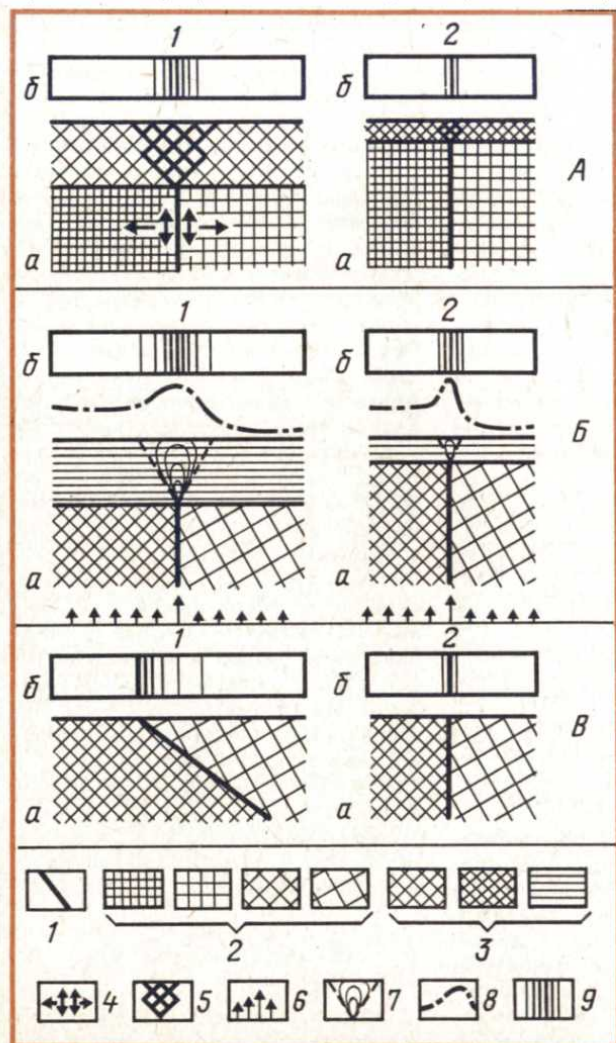
В случае механической передачи глубинного «сигнала» происходящие в некотором интервале глубин движения, например относительно перемещения вдоль разлома (рис. 11, А), вызывают определенную деформацию всего вышележащего комплекса слоев (назовем его условно покровом). Эта деформация определяется существующей неоднородностью (структурой) покрова и проявляется на поверхности в виде ореола вторичных форм, который при большой генерализации космических изображений концентрируется на них, например в виде линеамента. Ширина и внутренний рисунок этого ореола (конуса рассеяния) зависят от фор-

Рис. 11. Принципиальная схема положения разломов в разрезе литосферы и их отражения на земной поверхности и на космических изображениях в виде линеаментов:

А, Б — скрытые (не достигающие земной поверхности) разломы, прерывающиеся на больших (1) и меньших (2) глубинах, в разрезе земной коры

(а) и на космическом изображении (б); В — открытые (достигающие земной поверхности) разломы, наклонные (1) и вертикальные (2), в разрезе (а) и на космическом изображении (б)

1 — разломы; 2 — блоки земной коры, разделяемые разломами; 3 — слои земной коры, не затронутые непосредственно разломами; 4 — возможные варианты механических смещений по разломам; 5 — конус рассеяния механических деформаций; 6 — неравномерный восходящий поток глубинных флюидов, газов, тепла; 7 — конус рассеяния потока флюидов, газов, тепла; 8 — условная кривая величины теплового потока над зоной разлома; 9 — условная интенсивность аномалий на дневной поверхности, связанных с разломами и определяющих яркость и морфологию проявления линеаментов на космических изображениях



мы и интенсивности первичной деформации (смещения по погребенному разлому), от толщины и особенностей структуры покрова.

Следовательно, космические изображения позволяют прогнозировать не только пространственное положение, но и некоторые кинематические и морфологические особенности глубинных деформаций. Действительно, комплекс вторичных форм, которые возникают над погребенным активным разломом растяжения, должен отличаться от таковых над разломами сжатия или сдвига. Пока это решено лишь на принципиальном уровне, но имеет большие перспективы. В этом отношении первостепенное значение приобретает анализ геометрических (структурно-текстурных) образов наземных объектов и их космических изображений, о чем говорилось в предыдущем разделе.

Геотермо-геохимическая форма передачи глубинной информации на земную поверхность обеспечивается непрерывными процессами физико-химических и структурных преобразований вещества, которые происходят с определенными особенностями на разных глубинных уровнях литосферы и сопровождаются выделением и вертикальной миграцией газово-жидких продуктов этих преобразований и тепла.

Поток флюидов и тепла, направленный из недр Земли к ее поверхности, имеет региональный диффузный характер и является практически сплошным. Однако его плотность и состав неодинаковы во времени и по площади. Эта неравномерность обусловлена как первичными (генетически-

ми), так и вторичными (наложенными) причинами.

Первичные неоднородности глубинного потока флюидов и тепла отражают структуру той среды, в которой они зарождаются. Вторичные же неоднородности определены особенностями состава, структуры и проницаемости слоев, через которые этот поток проходит. Если даже допустить, что флюидно-газовый восходящий поток изначально равномерен и химически однороден, то его качественные и количественные характеристики на земной поверхности будут пространственно неоднородными, отражая структурные и вещественные неоднородности тех слоев коры, сквозь которые поток проходит. Преобразуясь особенностями почвенно-растительного покрова и другими характеристиками поверхности, структура глубинных флюидно-газовых и тепловых потоков становится видимой и может быть запечатлена на космических изображениях. Таким образом, в сложном геохимическом спектре земной поверхности, соответствующих особенностях почвенно-растительного покрова и ландшафтов в целом и характеристиках поля отраженного и собственного электромагнитного излучения земной поверхности заключена разнородная информация, в том числе та, которую глубинные флюиды и тепло несут о своих материнских средах и о слоях коры, сквозь которые они прошли на пути к поверхности.

Поиски полезных ископаемых

Задача поиска месторождений минерального сырья — перво-

родная задача геологии — естественно стала одной из основных с самых истоков и космической геологии. Как и в случае решения ее традиционными методами, соответствующие разработки пошли по двум взаимосвязанным направлениям. Одно из них предусматривает использование космических средств и методов (прежде всего космических изображений земной поверхности) в комплексном анализе особенностей геологического строения с целью выявления структурных и вещественных ситуаций, региональных форм, благоприятных для концентрации металлов, углеводородов и других полезных компонентов. Это — направление прогноза месторождений по сумме косвенных признаков. Второе направление связано с развитием космических методов прямого поиска месторождений.

За, в общем-то, еще непродолжительный срок развития космической геологии исследования продвинулись в основном по первому направлению. В СССР, США и многих других странах получены значительные результаты. На прошедшем в апреле 1987 г. Всесоюзном совещании по использованию аэрокосмической информации сообщалось, например, что только производственное геологическое объединение «Аэрогеология» Министерства геологии СССР на основе анализа космических изображений в комплексе с традиционными геолого-геофизическими и геохимическими методами ежегодно рекомендует около 100 перспективных площадей.

Применение космических методов в **рудной геологии** было наиболее результативным в части

изучения линейных и кольцевых структур, о высокой эффективности выявления и изучения которых на космических изображениях мы уже говорили. Среди линейных структур глобального и регионального масштаба особое металлогеническое значение имеют структуры так называемого сквозного типа. По представлениям, развиваемым советскими учеными под руководством И. Н. Томсона и М. А. Фаворской и разделяемыми многими другими исследователями в СССР и за рубежом, это разнопорядковые, длительно развивающиеся глубинные системы дислокаций и высокой проницаемости земной коры, неоднородные по простиранию и не везде достигающие поверхности Земли в прямом своем виде.

Характерная особенность таких структур — их несогласное положение относительно устанавливаемых традиционным геологическим картированием структурных зон. Многие из них определяют в пределах рудных провинций полосы и узлы размещения наиболее крупных месторождений.

Оригинальный метод прогнозирования рудных месторождений по их связи с некоторыми особенностями структуры линейных сетей регионального и локального масштаба разработан группой сотрудников Института литосферы АН СССР под руководством В. М. Моралева. В основе этого метода — статистический анализ закономерностей пространственного развития линейных элементов, отдешифрованных на космических изображениях, и их связи с различными другими геологическими характери-

стиками исследуемых территорий и известными рудопроявлениями. Примененный на северо-востоке СССР, этот метод уже дал положительные результаты — прогноз подтвердился специальными наземными изысканиями.

Не менее важно металлогеническое значение кольцевых структур Земли. Сейчас большинством исследователей принимается, что крупные кольцевые структуры могут определять размещение специализированных рудоносных площадей, а относительно небольшие образования такого типа играют рудоконцентрирующую роль.

Многие исследователи существенное металлогеническое значение придают узлам пересечения линейных и кольцевых структур. Накопленный положительный опыт использования этих структур в металлогеническом прогнозе в большинстве случаев имеет характер эмпирических поисков некоторых закономерностей и взаимосвязей. Высокий коэффициент пространственной связи кольцевых структур и известных месторождений полезных ископаемых (по данным московских геологов Я. Г. Каца и М. З. Глуховского, он составляет 70—75%) показывает, что эта связь не случайна и имеет явную генетическую природу. Но проблема металлогении кольцевых структур (как, впрочем, и линейных) сложна и решается пока очень не однозначно. Прежде всего неоднозначность связана с генетическим, возрастным и структурным разнообразием и слабой изученностью кольцевых структур.

Читателю, который интересуется этой проблемой, мы рекомен-

дуем познакомиться со специальными разделами крупнейших сводок последних лет (Анализ космических снимков... 1979; Космическая информация в геологии, 1983; Кольцевые структуры... 1987).

Космические методы прямой индикации высокой концентрации руд в земной коре находятся пока в стадии научно-методических и технических разработок. В целом их можно отнести к космическому геотермо-геохимическому зондированию Земли. В основе его находится факт, что над месторождениями некоторых видов полезных ископаемых (нефть, газ, сульфидные и другие руды) существуют тепловые аномалии, обусловленные своим возникновением экзотермическим окислительным процессам в залежах и перекрывающих толщах, а также геохимические аномалии в почвенно-растительном покрове и приземном слое атмосферы, связанные с флюидным выносом специфических соединений и элементов и дегазацией залежей.

Распределение геохимических аномалий и особенностей температурного поля может быть использовано для поиска залежей полезных ископаемых. Перспективными методами подобных поисков являются тепловая космическая съемка земной поверхности в инфракрасном и радиосверхвысокочастотном (СВЧ) диапазонах спектра электромагнитного излучения и активная локация путем лазерного облучения земной поверхности и приземного слоя атмосферы и анализа спектрального состава излучения, рассеянного (или поглощенного) искомыми элементами или соединениями (метод лидарной спектро-

скопии) (Космическая информация в геологии, 1983).

Нефть и газ — важнейшие виды минерального сырья. Сейчас это не только широко используемое топливо, но и источник химического производства. Тратятся огромные деньги на поиск и разведку нефти и газа, и, к сожалению, не всегда успешно. Космические средства помогают более эффективно прогнозировать и искать новые месторождения. Как и при поисках других минеральных ресурсов, эта работа состоит из нескольких стадий.

Прежде всего необходимо изучить общее геологическое строение нефтегазоносных провинций, выявить в них районы и зоны, наиболее перспективные для дальнейших работ с точек зрения тектоники и набора пород, подходящего для концентрации углеводородов. Обычно их месторождения располагаются в крупных впадинах, заполненных осадочными породами, на равнинах или между горами.

Молодые рыхлые наносы нередко скрывают особенности глубинного строения впадин, и космические снимки оказываются весьма полезными. По существу, это тот путь исследования, который изложен в предыдущем разделе брошюры: дешифрирование разномасштабных снимков, анализ выражения линеаментов и других выделяемых структур в рельефе и ландшафте поверхности, их сопоставление с геолого-геофизическими данными и комплексная интерпретация. Таким путем выделяются, например, погребенные зоны поднятий внутри впадин, весьма перспективные для дальнейших поисков. Как возможные источники нефти и

газа заслуживают внимания и некоторые дешифрируемые на снимках особенностями цвета и текстуры изображения комплексы горных пород, например, рифовые известняки или отложения древних дельт.

Следующая стадия исследований — выделение внутри благоприятных зон и областей конкретных структур, перспективных для постановки детальных поисковых работ на нефть и газ. Вода, нефть и газ скапливаются обычно в одних и тех же слоях, пористость или трещиноватость которых способствуют миграции и скоплению жидких и газообразных продуктов. Но нефть, а тем более газ легче воды, и поэтому они скапливаются в относительно поднятых частях слоя. Обогащение нефтью и газом поднятых участков делает их легче соседних, обогащенных водой. Чтобы выравнять возникшее неравновесие, поднятия пополняются дополнительным притоком материала, что пусть не на много, но усугубляет их воздымание. Задача аэрокосмических исследований сводится к поиску таких поднятий.

На космических снимках погребенные поднятия нередко выражены фотоаномалиями, т. е. изменениями тональности изображения. Чаще всего это происходит потому, что слабо поднятой оказывается над такими структурами и земная поверхность. Изменяется обводненность, а вместе с ней видовой состав и состояние растительности, что преобразует общий тон и цвет местности на снимке. Появление аномалии может быть связано и с развитием особых мелких форм рельефа, различных на более детальных снимках. На поднятиях Средней

Азии, например, отмечаются увеличение глубины врезания в поверхность мелких оврагов и специфический рисунок водотоков, огibaющих растущее поднятие или расходящихся от его вершины в стороны. В условиях Сибири к таким признакам добавляются особенности расположения и следы миграции болот. Впервые фотоаномалии, отвечающие предполагаемым локальным структурам, были отдешифрированы на космических снимках Западного Казахстана (Туранской низменности) московским геологом-нефтяником П. В. Флоренским в 1973—1974 гг. Дальнейшие исследования показали, что одна из выделенных структур действительно содержала нефтяное месторождение.

Для прогноза продуктивности скважин на перспективных локальных структурах важным оказывается и анализ линеаментов. В их зонах, обладающих повышенной трещиноватостью, дебит скважин иногда возрастает в несколько раз.

Один из факторов, определяющих развитие космических методов при поисках **подземных вод**, — перенос тепла. Их восходящие потоки, связанные с участками повышенной проницаемости (ими могут быть зоны тектонического дробления, зоны разломов и высокой трещиноватости, отдельные высокопористые типы горных пород), служат причиной тепловых аномалий на земной поверхности. Эти аномалии могут достигать нескольких градусов при скоростях движения подземных вод, исчисляемых метрами в год.

Таким образом, с помощью съемок земной поверхности в тепловом ИК- и СВЧ-диапазонах спектра

возможно анализировать распределение тепловых аномалий и через них выходить на прогноз источников подземных вод. Образы гидрогеологических объектов дополняются также некоторыми спектральными и геометрическими характеристиками изображений, получаемых в видимом диапазоне и отражающих определенные особенности почвенно-растительного покрова, влажности субстрата, рельефа и общей геологической ситуации.

Методом поиска подземных вод является радиолокационная съемка. Повышенная влажность грунтов, создающая сильно отражающую поверхность (в том числе погребенные), на изображениях проявляется темными тонами. Однако самостоятельное применение этого метода эффективно лишь при неглубоком залегании водонасыщенных горизонтов.

Наибольший эффект дает применение космических методов в комплексе с другими способами индикации территорий, благоприятных в отношении водоносности. Прежде всего речь идет о комплексном анализе и поиске перспективных геологических структур и формаций.

Современные и новейшие геологические процессы

В предыдущих разделах уже обращалось внимание на то, что на космических изображениях Земли наилучшим образом проявляются самые молодые элементы структуры, сформированные в последний своеобразный этап тектонической эволюции Земли.

Этот неотектонический, или новейший, этап начался около 40 млн. лет тому назад. Движениями новейшего этапа охвачена вся планета, ими предопределены основные формы рельефа континентов, их общее высокое положение и большая контрастность. На огромных площадях земная кора континентов подверглась интенсивному короблению и горообразованию. По окраинам континентов, обрамляющих Тихий океан, а также в ряде внутриконтинентальных зон развился активный вулканизм.

Общее высокое стояние материков Земли предопределило резкое преобладание на них процессов континентального рельефообразования и осадконакопления. Общепланетарная и высотная климатическая дифференциация (поясность и зональность) обусловили большое разнообразие природных условий. В приполярных областях и высокогорных зонах широкое распространение, особенно в антропогенную эпоху², приобретают ледниковые формы, в южных широтах господствуют формы жарких пустынь и полупустынь. Значительные территории развиваются в условиях высокой влажности при умеренных и высоких температурах. При всем этом разнообразии внешних условий процессы рельефообразования и накопления осадочных отложений в различной степени, но достаточно ярко отражают и характеризуют развитие тектонических форм.

Особое значение для нас имеет самый последний, современный,

² Эпоха появления и все более активного распространения и влияния человека. Ее начало условно отнесено к 1,8 млн. лет назад.

или, как его иначе называют, голоценовый, отрезок геологической эволюции Земли, продолжительность которого определяется примерно в 10 000 лет. Он является органической частью новейшего этапа в целом, но отличается некоторыми специфическими чертами, в том числе особенностями и возможностями его изучения и особой ролью, которую он играет в определении условий нашего бытия. В памяти многих наших современников еще свежи воспоминания о катастрофических землетрясениях, вулканических извержениях, грандиозных оползнях, обвалах и других подобных явлениях. В сферу активного хозяйственного использования вовлекаются обширные новые территории, для чего требуется хорошее знание происходящих там геологических процессов или возможных последствий искусственного воздействия на природу.

Все это делает изучение новейшего и современного этапов развития геологической структуры чрезвычайно актуальной задачей. И в этом отношении космические методы уже приносят пользу и имеют большие перспективы развития.

Так, например, сопоставление разновременных изображений речного бассейна дает возможность оценить качественную и количественную картину хода эрозионно-аккумулятивных процессов (смещение и перестройка русла, наращивание или убывание речной дельты, миграция и интенсивность потока материала, выносимого рекой в море или озеро и т. д.). Аналогичные задачи могут успешно решаться для озерных бассейнов и морских по-

бережий. Ярким примером тому служит Аральское море, контуры которого изменяются из года в год, и это можно зарегистрировать на космических снимках.

Анализ пространственного распространения разновозрастных и разного генезиса форм рельефа и отложений, которые могут распознаваться на космических изображениях, помогает понять общие тенденции новейшей и современной динамики поверхностных процессов, а через них проследить развитие тектонических деформаций. Таким путем удается обнаруживать не только более или менее заметные тектонические структуры, но порою и чрезвычайно слабые деформации поверхности, которые недоступны для изучения традиционными геологическими методами. Дело в том, что эффект значительной генерализации делает видимыми многие широкие зоны тектонических деформаций, которые «охватить глазом» при наземных и даже аэровизуальных наблюдениях практически невозможно. Даже крайне незначительные изменения наклонов дневной поверхности, которые могут быть вызваны тектоническими движениями, приводят к соответствующему распределению и особенностям эрозионно-денудационных и аккумулятивных форм и процессов, что и делает заметными следы этих движений (тектонические структуры). В этом отношении космическое зондирование особенно перспективно для равнинных областей. Заметим, кстати, что благодаря применению космических методов исследований все более и более выясняется достаточно высокая тектоническая активность платформенных территорий.

Очень важный вывод, особенно учитывая широко развернувшееся строительство таких объектов, как атомные электростанции, которое требует особенно высокой точности знаний о возможных движениях поверхности.

Изучение новейшей и современной динамики изменений структуры земной поверхности, связанных с развитием тектонических деформаций, требует сравнительного анализа повторных космических изображений. Важно подчеркнуть, что тектонические процессы протекают медленно, поэтому между повторными съемками существуют большие интервалы времени. И даже в этом случае необходимы очень высокоточная привязка и координатное соответствие сопоставляемых материалов. При этом очевидно, что для решения таких задач, по-видимому, наиболее перспективны геометрические образы объектов и в меньшей мере их спектральные характеристики.

Однако для изучения динамики ряда активных объектов более эффективно применение съемок и измерений в определенных зонах спектра. Прежде всего это вулканы. Слежение за их активностью и тенденциями развития процессов в лавовых очагах лучше всего осуществляется путем съемок в тепловом инфракрасном диапазоне.

Изучение современной динамики структуры земной поверхности смыкается с проблемой оценки опасности стихийных геологических бедствий. Бедствия, вызываемые геологическими процессами, многообразны и взаимосвязаны в рамках сложной системы (рис. 12). Выделяется группа природных явлений, опасных для жиз-

и аккумуляции обломочного материала. С оледенениями, тоже зависящими от климата, связаны не только специфические типы горных пород, но и изменения уровня моря (часть воды забирается ледниками), которые, в свою очередь, влияют на процессы эрозии и аккумуляции. Таким образом, весь окружающий нас мир представляет собой взаимосвязанную систему процессов. Приведение в действие или изменение одного из них нарушает сложившееся равновесие и сказывается на течении всех других процессов.

Человек нарушает течение природных процессов, прямо или косвенно определяющих геологические явления, нередко опасные для самого человека. Такие воздействия мы называем антропогенными. Наиболее очевидны геологические следствия эксплуатации месторождений полезных ископаемых, строительства, прокладки коммуникаций. Например, установлено опускание земной поверхности в местах значительной откачки подземных вод и эксплуатации месторождений и в меньшей степени под всеми крупными городами. Несомненно, хотя и не до конца выяснено, воздействие строительства и наполнения крупных водохранилищ на сейсмичность и аккумуляцию обломочного материала. Вызываемые человеком экологические изменения влияют на геологические явления подобно аналогичным природным процессам.

В рамках небольшой брошюры невозможно описать использование аэрокосмической информации для изучения и прогнозирования всех видов геологической опасности. Ограничимся лишь опасностью сейсмической, и прежде всего

оценкой возможности сильных землетрясений. Прежде, однако, решим, что мы должны выяснить с помощью космических средств для оценки сейсмической опасности, а для этого обсудим, хотя бы в общем виде, причины землетрясений.

Землетрясения — проявление современной тектонической жизни земных недр. Они могут быть вызваны разными причинами. Известны землетрясения, связанные с подземными природными взрывами, которые обусловлены глубинными газовыделениями, их взаимодействием с вмещающими горными породами, изменением агрегатного состояния горячих подземных вод, которые по мере подъема попадают в зоны все более низкого давления. Распознают землетрясения, связанные с подъемом расплавленной магмы, с обрушением подземных пустот (обычно на очень небольших глубинах).

Но большая часть землетрясений, как считают специалисты, связана с постепенно накапливающимися напряжениями в горных породах, вызванными действием различных тектонических сил. Преодолев прочность пород, напряжения вызывают быстрое разрушение, образование подземных разломов, по которым происходят перемещения, снимающие часть напряжений. От области таких быстрых перемещений распространяются сейсмические волны, которые, достигнув земной поверхности, воспринимаются нами как землетрясения, приводящие к гибели построек и человеческим жертвам. С землетрясениями могут быть связаны вторичные явления: образование трещин, выделение подземных вод и газов,

обвалы, оползни, сели. Они также нередко имеют катастрофические последствия, иногда превышающие эффект самого сейсмического толчка.

Чем более велики накопленные в недрах тектонические напряжения и область, охваченная ими, тем сильнее землетрясение. При относительно неглубоком землетрясении (до 20—30 км) возникший на глубине разлом может достигнуть поверхности и вызвать ее смещение. Естественно, что у крупного разлома, возникшего или активизировавшегося при сильном землетрясении, шансов достигнуть поверхности больше, и смещения по нему на поверхности окажутся значительнее, чем у небольшого разлома, возникшего при слабом землетрясении на той же глубине.

Существуют разные аспекты оценки сейсмической опасности. Следует отдельно говорить об определении области возможных сильных землетрясений, конкретных участков, где они наиболее вероятны, и о предполагаемых сроках землетрясений. Для таких

определений используют сейсмологические, геодезические, гидро-геохимические и геолого-геоморфологические методы. С помощью последних можно выявить области и конкретные участки возможных сильных землетрясений, оценить их максимальную магнитуду и местами среднюю повторяемость, т. е. продолжительность времени от одного события до другого. Работа эта состоит из нескольких последовательно или параллельно проводимых исследований (рис. 13). В каждом из них используются материалы аэрокосмических съемок.

Прежде всего надлежит убедиться в высокой недавней тектонической активности области. Это помогают сделать неотектонические исследования и определение тенденций новейшего развития территории. Почти все сильные землетрясения случаются в областях значительных новейших движений земной коры, а определение направленности неотектонического развития позволяет выделить те структуры, которые на последних стадиях новейшего этапа развивались интенсивнее других. О том, как используются космические снимки для изучения новейших структур, мы рассказали. Здесь приведем лишь один пример.

Рассматривая космические снимки северо-западной Сирии, мы обнаружили на них следы двух направлений новейших структур. Одни структуры протягиваются с севера на юг и имеют вид редких разломных уступов поверхности. Другие структуры вытянуты с юго-запада на северо-восток. Это разломы и складки слоев, слабее и не всегда точно отраженные в рельефе. Структуры

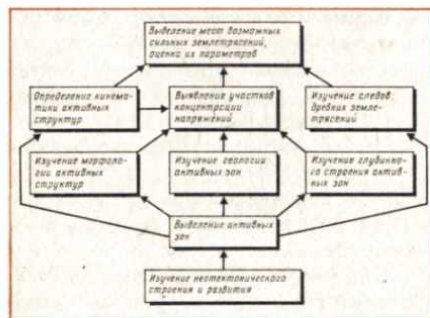


Рис. 13. Технологическая схема работ по оценке опасности сильных землетрясений космогеологическими методами

второго направления смещены разломами первого, меридионального простираения в местах их пересечения. Очевидно, разломы первого направления моложе, и потому более вероятно, что они сохраняют активность до сих пор.

Признаки такой активности — следы тектонических подвижек в течение голоцена. На рис. 5, е представлен разлом, горизонтальные движения вдоль которого сместили и изогнули русла оврагов: их верховья сдвинуты вправо относительно низовий. Поднятие или опускание одной из сторон разлома относительно другой выражается иначе: образованием на местности уступа, изменением степени расчлененности рельефа (см. рис. 5, б, е), сужением или расширением пересекаемых долин, характером растительности, обусловленным разнообразием рельефа и обводненности. На аэрокосмических снимках это проявляется различиями цвета и текстуры изображения.

Выделив зоны активных разломов, мы более строго очерчиваем районы высокой сейсмической опасности, ибо подавляющее большинство сильных землетрясений приурочено именно к таким активным зонам. Однако не все активные зоны и не на всем своем протяжении порождают сильные землетрясения, потому что тектонические движения в активных зонах могут происходить как в виде почти мгновенных импульсов, разделенных эпохами относительного покоя, так и плавно или столь слабыми и частыми скачками, что они воспринимаются нами как непрерывные движения. Импульсы — это и есть землетрясения. Мы можем выявить участки активных зон с им-

пульсным режимом двумя геологическими способами: во-первых, обнаруживая следы древних сейсмических катастроф и признаки того, что эти катастрофы повторяются регулярно; во-вторых, находя обоснования возможности высокой концентрации тектонических напряжений в значительном объеме горных пород и их последующей быстрой разрядки. Первый способ известен как палеосейсмологический, а второй может быть назван геодинамическим.

Специфические формы рельефа и деформации земной поверхности, создаваемые действием ударной волны и нарушением гравитационного равновесия при сильных землетрясениях, были описаны В. П. Солоненко и другими сейсмологами «иркутской школы» для юга Сибири, В. К. Кучаев и А. А. Никоновым для Средней Азии. Такие формы хорошо видны на аэрофотоснимках, а крупнейшие из них — и на космических изображениях (см. рис. 1). Оказалось, что разные формы возникают при разной интенсивности сотрясений, и, стало быть, по таким формам ее можно оценить. В одних и тех же местах были обнаружены формы разной сохранности, более древние и более молодые. Определяя их возраст радиоуглеродным методом (по отношению радиоактивного изотопа ^{14}C к обычному углероду ^{12}C), удалось определить средний период повторяемости сильных землетрясений.

Сложнее обнаружить признаки импульсности в самом активном разломе. Но и здесь сделаны первые шаги, причем с использованием аэрофотоснимков. Наиболее убедительные данные представлены для активных сдвигов.

Движения по ним происходили длительное время. Поэтому ранее возникшие овраги и долины, расщепленные разломом, смещены им на большую величину, чем молодые. Посмотрим, как развиваются такие долины. Сначала, например, вековой от таяния снега на горном склоне появляются маленькие рытвины. Большинство из них на следующий год исчезнет, уступив место новым рытвинам, но по некоторым пойдут талые воды и на следующий год, и они углубятся. Получится уже маленький овраг. Затем отдельные овражки станут развиваться быстрее других и перехватят у них сток. Проследившая эту эволюцию овражных систем дальше, мы приходим к выводу, что больших речных и овражных долин на склоне хребта гораздо меньше, чем мелких оврагов, а последних меньше, чем только что возникших рытвин. Если вдоль такого склона длительно развивается активный разлом, больших смещений крупных старых долин по нему будет меньше, чем небольших смещений мел-

ких оврагов, которые из-за своей молодости не успели сместиться на такую же величину, как старые долины. Это наглядно можно увидеть на гистограмме, где по вертикальной оси отложено количество смещенных оврагов, а по горизонтальной — величины их смещений.

Вот мы и добрались до главной части наших рассуждений. Если движения по разлому происходили непрерывно, верх гистограммы будет иметь вид постепенно понижающейся лестницы. Если движения происходили импульсами, разделенными эпохами покоя, лестница будет полуразрушенной: выделятся характерные величины смещений, разделенные минимумами — провалами. Каждый характерный максимум отражает приращение суммарного смещения по разлому при очередном сильном землетрясении.

Мы измерили смещения оврагов на протяженных отрезках нескольких крупных активных сдвигов: Таласо-Ферганского в Средней

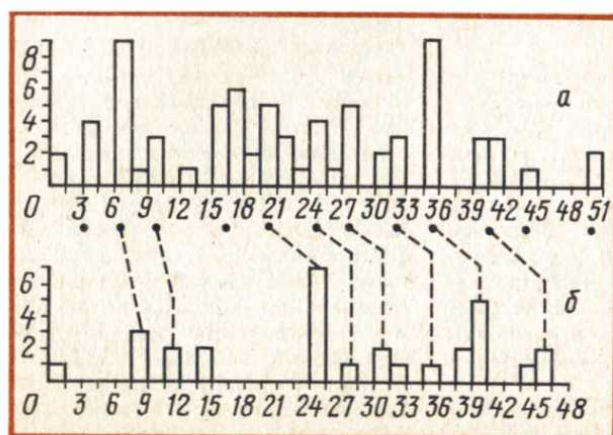


Рис. 14. Гистограммы распределения величин голоценовых правосторонних смещений в юго-восточной части Таласо-Ферганского разлома: а — в районе перевала Джилангач и б — в долине р. Пчан. По горизонтали — величины смещений, по вертикали — количество смещенных форм рельефа; точками обозначены следы возможных сильных землетрясений

Азии, Хангайского, Кобдинского и Долиноозерского в Монголии. Полученные гистограммы (рис. 14) имели «зубчатый» вид, свидетельствующий об импульсности подвижек, т. е. о том, что они происходили при сильных землетрясениях. С помощью радиоуглеродных датировок возраста смещенных пород удалось определить, что такие импульсы повторялись в зоне Хангайского разлома примерно через 600 лет, а в зоне Кобдинского и южной части Таласо-Ферганского — через 700—800 лет.

К сожалению, природа далеко не всегда дает нам возможность выполнить столь детальные и тонкие исследования. Тогда применяется менее точный, но более универсальный геодинимический метод выявления сейсмоопасных участков активных зон. Чтобы иметь достаточные основания говорить о возможности высокой концентрации тектонических напряжений в большом объеме горных пород (а именно это указывает на опасность сильных землетрясений), нужно знать и характер голоценовых движений в активной зоне, и ее геологическое строение, и особенности глубинной тектоники.

Важно выяснить, например, как сосредоточены голоценовые смещения: в узкой полосе или рассеяны на большой площади, иначе говоря, нужно закартировать все активные разломы и трещины зоны. Как мы уже убедились (см. рис. 5, б, в, д, е), аэрокосмические снимки позволяют это сделать достаточно точно. Если смещения сосредоточены в узкой полосе, вероятность концентрации напряжений выше.

В первом разделе брошюры было показано, что с помощью аэро-

космических снимков можно определить направление перемещений горных масс в активной зоне: вертикальное и горизонтальное, во фронт разлома (сжатие или, наоборот, растяжение) или вдоль него. Можно оценить и геодинимическую обстановку во всей зоне — сжатие, растяжение или сдвиг. Подавляющее большинство сильных землетрясений сосредоточено в активных поясах сжатия. Если же проанализировать сейсмичность в зонах конкретных разломов, то обнаружатся различия. В зонах разломов с вертикальным смещением и растяжением и в зонах горизонтальных сдвигов сильные землетрясения обычно происходят вдоль главных разломов или непосредственно возле них. В зонах надвигания и сжатия они чаще приурочены к второстепенным разломам или случаются перед фронтом крупного надвига, где напряжения особенно высоки. Таковы, например, сильнейшие землетрясения Индии: они происходят не в Гималаях, области наиболее интенсивных голоценовых движений, а перед ними — в предгорьях и на подгорной равнине.

Мы уже рассматривали применение космических снимков для изучения геологического строения: состава горных пород и их залегания. Знание этих характеристик активной зоны помогает оценить прочность пород, от которой также зависит возможность концентрации напряжений. Если активная зона сложена, например, глинами или рыхлыми песчаниками, возможность концентрации напряжений невелика. В гранитах, гнейсах и других крепких породах она возрастает. Зависит такая возможность и от степени раз-

дробленности пород активной зоны.

Третья глава была посвящена исследованию с помощью космических снимков глубинного строения земной коры. Это очень важный параметр для оценки сейсмической опасности. Если активный разлом выходит на поверхность, возникающие напряжения снимаются подвижками по нему легче, чем в том случае, когда разлом скрыт на глубине. Его могут скрывать толща недеформированных отложений, надвинутая пластина горных пород или слой земной коры с иным, чем на глубине, расположением активных структур. В последнем случае особенно опасны участки, где разломы разных направлений, активные в разных слоях земной коры, сочленяются друг с другом. Тогда очаг землетрясения приобретает сложные очертания, как, например, при Гаэлийских землетрясениях 1976 г. в Средней Азии.

По какой-либо одной геологической характеристике нельзя уверенно говорить об опасности сильных землетрясений и их интенсивности на данном участке активной зоны. Сочетание нескольких показателей опасности делает прогноз места возможного землетрясения более убедительным. И обратите внимание еще на одну особенность. Надежный результат получается не при изолированном рассмотрении одних лишь аэрокосмических материалов, а при их комплексном анализе совместно с разнообразными геологическими и геофизическими данными, полученными при наземных наблюдениях и измерениях.

Задачи завтрашнего дня

Развитие методов и технологии применения космической информации в геологии — сложный комплекс мер, включающий и проведение фундаментальных исследований по отысканию новых направлений и способов, и доведение уже сформированных идей и обнаруженных закономерностей до стадии использования большим кругом специалистов, и внедрение научных достижений в массовую практику геологических работ.

Одна из задач — освоение новых видов аэрокосмических съемок в нетрадиционных диапазонах, особенно в средней инфракрасной зоне спектра, в которой регистрируется собственное тепловое излучение Земли. Это позволяет осуществлять съемку в любое время суток, в том числе ночью. Сопоставляя материалы съемок и измерений в узких диапазонах ближней и средней (тепловой) инфракрасной области, удается различить главные породообразующие минералы и продукты их преобразований, а стало быть, и горные породы, сложенные этими минералами. Здесь многое предстоит сделать, существенно усовершенствовать аппаратуру (особенно в части повышения разрешающей способности), провести лабораторные измерения спектральных характеристик свежих и выветрелых пород разного типа и разработать на этой основе целостную методику распознавания.

Особенно большие перспективы съемка в тепловом ИК-диапазоне имеет для выявления и изучения динамики подземных вод, зон разломов, высокой трещинова-

тости и проницаемости, для изучения глубинных структур.

Следует обратить внимание и на большие возможности радиолокационной съемки в сантиметровом диапазоне радиоволн, подчеркивающие особенности рельефа местности, фактуру и физические свойства поверхности отражения, рисунок, образованный сочетанием пород разного типа, зоны разломов, зоны повышенной обводненности. При выборе надлежащего диапазона зондирования на радарном снимке можно увидеть даже геологические структуры, скрытые под чехлом рыхлых отложений. Очень важно, что радиолокацию можно осуществлять в любое время суток и облака — не помеха для получения радарного изображения. Это дает возможность делать радарную съемку в любую погоду и в тех районах, где облачность почти постоянна.

Совершенствование методов и средств получения космической информации — серьезная и многоплановая проблема, но еще больше нерешенных задач в области обработки получаемой информации. Уже сейчас обнаруживается противоречие между чрезвычайно высокопроизводительными способами получения первичной информации (съемки из космоса), не имеющими ограничений ни по пространству, ни по времени, и возможностями наземной обработки этой информации.

И дело не только в том, что требуются дорогостоящие технические комплексы по обработке космических снимков, включающие быстродействующие ЭВМ с огромной памятью. Дело в том, что фактически не существует теории целевой обработки, и рабо-

та, в общем, носит характер эмпирических поисков, перебора многочисленных вариантов сложения, деления или умножения и других манипуляций со спектральными характеристиками и их сопоставлений с геологической, геофизической, геохимической и другими видами уже существующей (априорной) информации³.

Важнейшая задача — совершенствование методов распознавания геологических структур по геометрическим признакам. В первую очередь необходимы создание банка данных — набора фотопортретов различных геологических образований, выделение главных диагностических признаков каждого из них, систематизация и типизация геологических объектов по таким признакам.

В перспективе развития космических методов геологических исследований и изысканий рассматриваются также методы несколько нетрадиционные, которые сочетают быстроедействие получения информации и результата. К числу таковых относятся, например, методы прямого геотермо-геохимического зондирования земной поверхности из космоса с целью непосредственного установления на местности конкретных геохимических аномалий, т. е. мест повышенной концентрации металлов и углеводородов. Этот поиск не ограничивается залежами, выходящими на поверхность, но как следует из вышеизложенного, распространяется на объекты и процессы глубинного заложения.

Во многих случаях геохимические аномалии дополняются по-

³ Сама по себе эта априорная информация может оказаться недостаточной, неполной или во многих отношениях неоднозначной.

ложительными тепловыми аномалиями, которые могут контролироваться зонами повышенной проницаемости земной коры и с которыми генетически связаны и геохимические аномалии. В отдельных случаях тепловые аномалии имеют приповерхностную природу, возникая в результате экзотермических реакций преобразования, например, сульфидов, углеводородов и других минеральных соединений в зоне выветривания.

Так или иначе, мы уверены в существовании на земной поверхности и в приземном слое атмосферы геохимических аномалий различной специализации, в том числе связанных с возможными глубинными источниками. Задача состоит в разработке метода и аппаратуры активной локализации из космоса с целью выявления конкретных (в качественном и количественном отношении) геохимических аномалий. На сегодняшний день наиболее перспективными представляются разработки методов и средств лазерной локализации поверхности Земли с космических носителей в комплексе с указанными выше методами зондирования теплового поля (ИК-тепловой диапазон съемки). Прямое геотермо-геохимическое зондирование можно, вероятно, использовать также для выявления и режимного наблюдения (мониторинга) сейсмоактивных зон.

В области изучения современных геологических процессов, состояния и изменения геологической среды много неотложных задач и нерешенных вопросов. В предыдущем разделе брошюры была показана сложная взаимообусловленность природных явлений, некоторые прямые и обратные связи, которые существуют не только

между геологическими процессами, но и между геологией и биосферой, атмосферой, климатом, жизнью и хозяйственной деятельностью человечества. На примере оценки опасности сильных землетрясений мы показали, как сейчас используются аэрокосмические снимки для изучения и прогнозирования стихийных геологических бедствий. Но землетрясениями опасные для человека геологические и связанные с ними явления не исчерпываются. Взаимообусловленность таких явлений, оценка всех последствий происходящих природных изменений, в том числе и вызванных самим человеком, требуют дальнейших серьезных исследований.

Возникает задача: а нельзя ли уловить происходящие геологические изменения и, в частности, современные тектонические движения повторными съемками с самолетов и спутников? Один из путей — космическая геодезия. С помощью лазеров можно с большой точностью определить расстояние от космического аппарата до определенных точек на земной поверхности и, зная положение спутника, рассчитать расстояние между этими точками. Проводя такие операции многократно в течение нескольких лет, можно определить, изменилось ли расстояние между точками. Таков принцип космической геодезии. Что же касается его практической реализации, то пока результаты получены лишь в областях наиболее интенсивных современных движений, в частности, в Калифорнии, и находятся на грани возможных ошибок метода. Укажем также на интересные работы, выполняемые в этом направлении рядом стран Западной Европы (проект

ВЕГЕНЕР) и социалистических стран (проект ИДЕАЛ) по созданию системы спутниковых геодезических измерений с целью установления направления и скорости перемещения материков. Полученные результаты вселяют уверенность, что с усовершенствованием метода и увеличением периода наблюдений мы получим более надежные данные.

А как быть с ничтожными относительными смещениями земной поверхности, которые происходят между небольшими участками и могут служить предвестниками надвигающейся сейсмической катастрофы? Космическая геодезия такие слабые и локальные изменения ни сейчас, ни в ближайшем будущем не уловит. Здесь предлагается другой подход: улавливать не сами смещения, а их ландшафтные проявления. Например, небольшое поднятие какого-либо участка изменяет гидрогеологический режим и соответственно характер и состояние растительности, а такое изменение уже можно уловить путем сравнения ранее выполненных и новых съемок.

Подобное сравнение материалов повторных инфракрасных съемок, способное уловить изменения теплового режима, и лидарной спектрометрии, регистрирующей состав и интенсивность газовой выделений, может охарактеризовать динамику жизни активных разломов. Такой подход основан на обнаруженных изменениях на земной поверхности, связанных с глубинными тектоно-магматическими процессами, с изменениями напряженного состояния земных недр, их проницаемости, качественными и количественными вариациями газово-жидких глубинных эманаций и теплового потока.

Очевидно, что режимные наблюдения сейсмоактивных зон могут осуществляться либо полностью с космического носителя, либо основной комплекс измерений может выполняться наземными средствами (например, с помощью систем наземных автоматизированных измерительных платформ и станций), а орбитальные средства используются как оперативные системы сбора полезной информации и передачи ее в центры обработки и предупреждения.

Развитие всех перечисленных новых направлений аэрокосмических исследований весьма трудоемко и не может быть осуществлено без широкого привлечения компьютеров. Нужны совершенные устройства, способные быстро прочитать аэрокосмическое изображение, преобразовать его, сравнить с другой информацией, отнести к тому или иному известному классу и, наконец, воссоздать на выходном канале график, снимок или иной результат обработки. Для решения таких задач необходимо не только улучшение качества и увеличение количества ЭВМ, снабженных необходимой «периферией», но и разработка новых машинных программ. Для одних задач их методология ясна, но для других, например, для распознавания геологических тел и структур по геометрическим признакам требуются принципиально новые решения. Возможно, они окажутся сходными с теми, которые используются в криминалистике для воссоздания облика преступников по словесным описаниям. Разница, однако, существенная: природные объекты гораздо более разнообразны, чем лица людей, характеризующиеся стандартным набором признаков.

И наконец, последнее, о чем хотелось бы сказать. Чтобы повысить экономическую эффективность народнохозяйственного использования космической информации, надо, наряду с улучшением техники и технологии работ, сделать их действительно массовыми. Это означает, что такая информация должна стать более доступной, чтобы было налажено удобное оповещение и снабжение ею, чтобы стало больше средств и методов обработки. Дело и в психологической и профессиональной подготовленности людей. Космическая информация перестанет быть

сферой деятельности ограниченного круга специалистов, когда все выпускники картографо-геодезических и природоведческих вузов и техникумов научатся пользоваться ею, когда с помощью школ и курсов повышения квалификации и обмена опытом с ней ознакомятся и оценят ее преимущества работающие инженерно-технический персонал и командиры производства. И это будет подлинной перестройкой в деле использования космических достижений в развитии народного хозяйства страны.

Литература

Анализ космических снимков при тектоно-магматических и металлогенических исследованиях. — М.: Наука, 1979.

Виноградов Б. В. Космические методы изучения природной среды. — М.: Мысль, 1976.

Геологическое изучение Земли из космоса. — М.: Наука, 1978.

Кац Я. Г., Рябухин А. Г., Трофимов Д. М. Космические методы в геологии. — М.: Изд-во МГУ, 1976.

Кольцевые структуры континентов Земли. — М.: Недра, 1987.

Космическая информация в геологии. — М.: Наука, 1983.

Космическая фотосъемка и геологические исследования. — Л.: Недра, 1975.

Макаров В. И., Скобелев С. Ф., Трифонов В. Г., Флоренский П. В., Щукин Ю. К. Глубинная структура земной коры на космических изображениях. — В кн.: Исследование природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. — М.: ВИНТИ, 1974. — Т. 2. — С. 9—42.

Тектоническая расслоенность литосферы новейших подвижных поясов. — М.: Наука, 1982.

Шульц С. С. мл. Земля из космоса. — Л.: Недра, 1982.

Яншин А. Л. Развитие космического землеведения в Академии наук СССР. — Л.: Наука, 1987.

Яншин А. Л., Трифонов В. Г. Взгляд из космоса // Наука в СССР. — 1986. — № 3. — С. 26—35.



Рецензенты: А. А. Белов — доктор геолого-минералогических наук, С. В. Руженцев — доктор геолого-минералогических наук.

Трифонов В. Г., Макаров В. И.

Т69 Космические исследования — геологии. — М.: Знание, 1987. — 48 с. — (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Наука о Земле»; № 10).

12 к.

Рассматриваются направления и методы использования космической информации при геологических исследованиях: в структурной геологии и геологическом картировании, изучении глубинного строения земной коры, прогнозе и поиске рудных полезных ископаемых, воды, нефти и газа, изучении новейших и современных геологических процессов и оценке опасности стихийных геологических бедствий. Предлагаются пути повышения народнохозяйственной отдачи таких работ.

Брошюра рассчитана на лекторов, слушателей и преподавателей народных университетов, читателей, интересующихся вопросами изучения Земли из космоса.

1801000000

ББК 26.3

Научно-популярное издание

**Владимир Георгиевич Трифонов,
Владимир Иванович Макаров**

КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ — ГЕОЛОГИИ

Главный отраслевой редактор А. Нелюбов
Редактор Л. Иваненко
Художник Б. Саконтиков
Худож. редактор М. Гусева
Техн. редактор Н. Калюжная
Корректор Е. Альшевская

ИБ № 8687

Сдано в набор 23.06.87. Подписано к печати 21.08.87. Т-00660. Формат бумаги 60×84¹/₁₆. Бумага офс. № 2. Гарнитура журнально-рублиная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,80. Усл. кр.-отт. 6,06. Уч.-изд. л. 3,31. Тираж 25 100 экз. Заказ 1203. Цена 12 коп. Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 876610. Ордена Трудового Красного Знамени Калининский полиграфический комбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 170024, г. Калинин, пр. Ленина, 5.

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ

В 1987 г. по серии «Науки о Земле» выйдет 12 брошюр. Среди них:

Клюев Н. Н.,
кандидат географических наук

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТПК

Брошюра посвящена проблемам совершенствования природопользования при формировании территориально-производственных комплексов. Показана роль рационального размещения производительных сил в разрешении природоохранных проблем, рассмотрена практика учета природоохранных факторов при организации некоторых ТПК страны.

Одеков О. А.,
член-корреспондент АН Туркменской ССР

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Рассказано об особенностях землетрясений. Большое внимание уделено исследованию их природы. Описываются наиболее сильные землетрясения последних лет и бедствия, которые они причинили. Особое место занимает рассказ о возможностях прогнозирования землетрясений.

Серебрянный Л. Р.,
доктор географических наук,
Орлов А. В.,
кандидат географических наук

ЧЕЛОВЕК В МИРЕ ЛЬДА

Брошюра знакомит читателей с существующими представлениями о древнем и современном оледенении Земли и его влиянии на климат.

Судо М. М.,
доктор геолого-минералогических наук

ГЕОЛОГИЯ И ЭКОНОМИКА

Освещены тенденции в развитии геологоразведочных работ, а также проблемы поисков и раз-

ведки новых месторождений. Особо выделены вопросы рационального и комплексного использования и всемерной экономии топливно-сырьевых ресурсов.

Козловский Е. А.,
министр геологии СССР

НОВОЕ О СТРОЕНИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Рассказывается о самой глубокой в мире скважине на Кольском полуострове, а также о глубочайших скважинах в зарубежных странах. Приводятся данные о строении земной коры, полученные при глубоком бурении.

Петров В. П.,
доктор геолого-минералогических наук

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

В решениях XXVII съезда КПСС уделено большое внимание развитию сырьевой базы строительства и сельскохозяйственного сырья (минеральные удобрения, кормовые добавки). В брошюре рассматриваются основные виды неметаллического сырья, способы их добычи и сферы применения.

Прялухина А. Ф.,
кандидат географических наук

ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Рассматриваются природные ресурсы Дальнего Востока, их значение для народного хозяйства страны, рациональное их использование и охрана.

Горлов А. А.,
кандидат технических наук

ЭНЕРГИЯ ОКЕАНА

Рассказывается об энергетических ресурсах Мирового океана. Это энергия, которую можно получать за счет разницы температур на различных глубинах, использования приливов, ветровых волн и течений. Описаны действующие энергетические установки и показаны перспективы развития энергетики океана.

ДОРОГОЙ ЧИТАТЕЛЬ!

Брошюры этой серии в розничную продажу не поступают, поэтому своевременно оформляйте подписку. Подписка на брошюры издательства „Знание“ ежеквартальная, принимается в любом отделении „Союзпечати“.

Напоминаем Вам, что сведения о подписке Вы можете найти в „Каталоге советских газет и журналов“ в разделе „Центральные журналы“, рубрика „Брошюры издательства „Знание“.

Цена подписки на год 1 р. 44 к.



СЕРИЯ

НАУКИ О ЗЕМЛЕ