

*С.С. Шульц, мл.*

# Земля из КОСМОСА



*Недра*

С. С. Шульц мл.

---

# З Е М Л Я И З К О С М О С А

---

Под редакцией  
Г. Б. ГОНИНА

4458



Ленинград  
«Недра»  
Ленинградское отделение  
1984



550

Ш 95

УДК 551.1/4 : 629.785

Ш 95 Шульц С. С. мл. Земля из космоса.— Л.: Недра, 1984.—  
114 с.

Книга знакомит с историей развития дистанционных и космических исследований, рассказывает о действующих в настоящее время программах исследований Земли из космоса, о возможности использования их результатов в науке, хозяйственной деятельности, связи, при прогнозировании месторождений полезных ископаемых, составлении карт, в охране окружающей среды и в других областях человеческой жизни.

Для широкого круга читателей, включая студентов и школьников старших классов, интересующихся картографией, геодезией, геологией и другими естественными науками.

Ш  $\frac{1904010000-354}{043(01)-84}$  1-85

550

Рецензент — д-р геол.-минерал. наук Б. Н. Можжев (ПГО «Аэрогеология»)

Сергей Сергеевич Шульц мл.

## ЗЕМЛЯ ИЗ КОСМОСА

Редактор издательства Л. А. Рейхерт  
Обложка художника В. Т. Левченко  
Технический редактор И. Г. Сидорова  
Корректор О. Г. Шалапина

ИБ № 4640

Сдано в набор 25.06.84. Подписано в печать 17.09.84. М-38181. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага тип. № 1 и мелованная. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 9,00. Усл. кр.-отт. 9,31. Уч.-изд. л. 10,00. Тираж 40 000 экз. Заказ 206/607. Цена 40 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра». Ленинградское отделение, 193171, Ленинград, С-171, ул. Фарфоровская, 12.

Ленинградская типография № 2 головное предприятие ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 198052, Ленинград, Измайловский пр., 29.

© Издательство «Недра», 1984

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

О чем эта книга?

О нашей планете, реальный облик которой мы впервые смогли увидеть всего 20 лет назад? О том, как за этот короткий срок изменилось наше понимание природы Земли и ее истории, какие перемены вносит использование космических снимков в науку, хозяйство и повседневный быт людей? А может быть, также и о том, как меняемся мы сами, вступая в новый космический век, насколько по-новому начинаем мы видеть все то, что окружает нас на Земле?

Взглянув на репродукции космических снимков, иной читатель скажет: «Да полно! Это ли мир, в котором я живу? И если даже это мой мир, то сколько в нем непонятого, загадочного! Поди, разберись во всем этом. Не лучше ли в работе и в быту пользоваться пока привычными с детства картами, где люди рисуют то, что они доподлинно знают о земной поверхности и что им нужно для дела?»

Дорогой читатель!

Людям нужны и карты, и снимки из космоса. Они взаимно дополняют и обогащают друг друга. Человек впервые смог сравнить созданные им модели строения земной поверхности — карты и схемы разных видов — с реальными фотоизображениями этой поверхности в том же масштабе, с прямой информацией, не пропущенной через человеческий мозг. Многие в этих изображениях нам еще непонятно. Но и то, что понято и использовано, уже сейчас изменяет нашу жизнь, совершает переворот во многих областях науки, хозяйства, быта людей. Прямой экономический эффект от использования космических снимков (иначе говоря, прямая подсчитанная в денежных единицах практическая выгода) не только полностью возместил, но уже превысил расходы человечества на освоение космоса. При этом очевидны возможности гораздо более широкого использования космической информации в хозяйстве и в научных исследованиях и большой ущерб от ее неиспользования.

Особенно велики возможности использования космических данных в сельском и лесном хозяйстве, строительстве, метеорологии, охране окружающей среды, системах связи и информации, в навигации, океанологии, геодезии, картографии, изучении минеральных ресурсов, при прогнозировании полезных ископаемых.

Космические исследования резко повысили требования к качеству аппаратуры, точности лабораторных работ, стимули-

ровали быстрейшее развитие новейших систем обработки и хранения информации, электронно-вычислительной техники, аналитической и лабораторной базы научных исследований, что привело к осязаемому прогрессу в развитии точных наук. Использование космической информации создало основу для планомерных комплексных исследований природы Земли, планет и окружающего их пространства.

Эта небольшая книжка выходит в свет в самом начале новой — космической эры в истории человечества, эры, сущность которой мы лишь начинаем осознать и которая ведет к изменению условий жизни всех людей на Земле, изменению ее природы и окружающей нас среды. Земля стала обозримой. Ее реальные фотоизображения мы впервые увидели на глобальных космических снимках. Мы увидели, что наша планета не так уж велика. Мы увидели, где и как ее заселил человек. Постройки человека — современные и древние, ирригационные сооружения, города и поселки, археологические памятники, лесные угодья и посевные площади — оказались легко просматриваемыми из космоса. И мы задумались над тем, как быстро и необратимо Земля загрязняется человеком и какой опасностью является растущее загрязнение для здоровья людей и для будущего всего человечества.

А еще мы увидели, что наша планета — подвижная планета, более подвижная, чем считалось до самого недавнего времени. На космических снимках мы видим протяженные расколы, разрывы, раздвиги, сдвиги, смещения, формирующие облик современных континентов и границ океанических пространств. Мы убеждаемся в том, что горные хребты образуются в результате сжатия и поддвижения друг под друга плит, блоков и чешуй твердой внешней оболочки Земли, ее литосферы\*, или же вспучивания литосферы в местах ее растяжений. Более того, мы можем сравнить структуры горных хребтов, плоскогорий, равнин, островных дуг в океанах со структурами облачного покрова, в которых можно найти аналоги многих приповерхностных литосферных структур.

Особенности истории развития и современного состояния нашей планеты легко понять, если сравнить ее облик и строение ее поверхности с обликом других планет и спутников планеты Солнечной системы. Если четверть века назад единственным небесным телом, поверхность которого люди могли наблюдать, фотографировать и изучать относительно детально, была Луна (точнее, только одна ее сторона, обращенная к Земле), то сейчас в распоряжении исследователей имеются превосходные снимки всей поверхности Земли, Луны, Марса, его спутников — Фобоса и Деймоса, газовой подвижной оболочки Юпитера, большей части поверхности Меркурия, галилеевых спутников Юпитера — Ио, Европы, Ганимеда и Каллисто. А совсем

\* См. словарь терминов.

недавно мы смогли увидеть фотопортреты Сатурна и его спутников — Мимаса, Энцелада, Тефии, Дионы, Реи, Гипериона, Япета, Фебы. Поверхность наиболее крупного спутника Сатурна — Титана, так же как и Венеры, скрыта под плотным слоем облаков. Несмотря на это, поверхность Венеры уже хорошо изучена и закартирована с помощью радиолокационной (радарной) съемки.

Поверхность каждой планеты и спутника отличается неповторимым своеобразием. За исключением спутников Марса — Фобоса и Деймоса, размеры которых очень невелики, а также удлинённой Амальтеи — маленького ближайшего спутника Юпитера и еще более удлинённого спутника Сатурна — Гипериона, все планеты и спутники имеют форму, близкую к шарообразной. Уже это позволяет предполагать, что формирование планет и большинства их спутников было связано с процессом полного перераспределения первоначально слагавших их пород, с образованием разных по плотности оболочек, вещество каждой из которых было достаточно подвижным, чтобы приобрести наиболее энергоёмкую шарообразную форму. Поверхность некоторых малых по размерам планет и спутников — Меркурия, Луны, Каллисто, большинства спутников Сатурна испещрена ударными кратерами различных размеров — следами падений метеоритов. Вероятно, внешние оболочки этих планет и спутников давно превратились в жесткий панцирь, скрывший вещество внутренних, более подвижных оболочек, что привело к замедлению процесса дифференциации — разделения различного по составу и плотности вещества этих небесных тел. Совершенно по-иному выглядят такие активно живущие планеты и спутники, как Венера, Земля, Ио, Европа и переходные между ними и первой группой — Марс и Ганимед. На их поверхности можно видеть следы активных новейших перемещений вещества и недавней вулканической деятельности; а ударные метеоритные кратеры в значительной степени стерты или деформированы происходящими перемещениями вещества.

Что за процессы тут действуют? Какие законы управляют эволюцией планет? Почему, несмотря на быстрый перенос и переотложение вещества на поверхности активных планет под действием процессов разрушения и силы тяжести, их поверхности не выравниваются, а оказываются сложно устроенными? Почему они покрыты высокими хребтами, плоскогорьями, равнинами, впадинами и глубокими желобами? Какими породами они сложены и как эти породы образовались? Ответы на эти вопросы ищет наука, называемая сравнительной планетологией. И самым близким к нам телом, изучение всей поверхности которого дистанционными методами стало возможным в последние десятилетия, является планета, на которой мы живем.

---

Автор посвящает книгу памяти отца Сергея Сергеевича Шульца старшего.

**ДИСТАНЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
В ПРОШЛОМ И НАСТОЯЩЕМ.  
ТИПЫ И ВИДЫ  
КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК**

Космическое землеведение представляет собой лишь часть бурно развивающегося научно-технического направления, известного под названием дистанционных исследований. Под этим термином подразумевают наблюдение и изучение природных объектов с помощью приборов, отделенных от изучаемых объектов некоторым расстоянием (например, наблюдения в бинокль, телескоп, наблюдения земной поверхности с воздушных шаров, самолетов, зондов, ракет, спутников Земли, орбитальных станций, межпланетных космических кораблей) \*.

Началом эпохи дистанционных исследований поверхности Земли обычно считают запуск первого аэростата — воздушного шара братьев Монгольфье в Анноне близ Лиона 4 июня 1783 г. 21 ноября того же года аэронавты Пилатр де Розье и маркиз д'Арлан поднялись на аэростате в воздух и совершили первый полет над Парижем, пролетев около 10 км. Через 10 дней, 1 декабря, физик Ж. Шарль на аэростате, наполненном водородом, пролетел более 50 км и поднялся на высоту более 3,5 км. В ближайшие годы увлечение воздухоплаванием охватило всю Европу. Одним из первых аэронавтов в России был прославленный генерал от инфантерии С. Л. Львов, поднимавшийся в воздух вместе с французом Ж. Гарнереном.

Новый этап в развитии дистанционных исследований открыло широкое использование материалов аэрофотосъемок при изучении поверхности Земли. Пионером аэрофотосъемок был знаменитый французский фотограф и воздухоплаватель Гаспар Турнашон, получивший известность под псевдонимом Ф. Надар. С 1858 г. он проводил съемки с аэростатов, и его фотографии Парижа с высоты 300 м до сих пор сохраняют историческую и научную ценность. Одновременно со съемками Ф. Надара, в 1858—1865 гг. офицером французских инженерных войск Э. Сивиаем были проведены высокоточные съемки Пирене-

\* В отечественной практике среди специалистов сложилось представление, что к дистанционным исследованиям относятся исследования, проводимые только с помощью летательных аппаратов, подобно тому как под термином «аэрометоды» понималась совокупность методов исследования Земли, проводимых в процессе полета (Физические основы и технические средства аэрометодов. Л., Наука, 1967, с. 3). — *Ред.*

неев и Альп с возвышенных вершин этих горных хребтов, сопровождавшиеся геологическим и орографическим дешифрированием полученных фотопанорам и наземным изучением геологического строения заснятых территорий. В годы Гражданской войны в США (1861—1865) аэрофотосъемка начинает широко применяться в действующей армии в целях военной рекогносцировки и разведки, а в 1880-х гг. аэрофотоснимки находят применение во Франции и Швейцарии при производстве крупномасштабных геологосъемочных и геологопоисковых работ и при проектировании крупных инженерно-технических сооружений — железных дорог, плотин, туннелей.

В России фотосъемки с аэростатов начали проводиться с середины 1880-х гг. В 1886 г. А. М. Кованько были получены удачные снимки Санкт-Петербурга и Кронштадта. Широкое применение аэрофотосъемок при наземных инженерных работах стимулировало создание в 1890—1900-х гг. все более совершенной фотоаппаратуры для получения высококачественных снимков с воздуха. В конце 1890-х гг. при изысканиях вдоль трассы Восточно-Китайской железной дороги инженером Тилле был сконструирован многообъективный фотоаппарат для производства с привязных аэростатов детальных фотопанорамных съемок для топографических целей.

Особую роль в развитии методики дистанционных исследований на рубеже XIX и XX вв. сыграли работы американского геолога и геофизика У. Хоббса. Он ввел в научную литературу новые понятия: «линеамент»\*, «сетка линеаментов», «шаг разрывов», «веер разрывов»; он первый начал сопоставлять материалы аэрофотосъемок земной поверхности с сейсмологическими данными, что позволило ему во многих случаях намечать глубинные продолжения наблюдаемых на аэрофотоснимках структур. У. Хоббс с удивительной прозорливостью, используя материалы немногочисленных в его время дистанционных съемок, сумел показать геодинамическое и структурное единство систем разрывных нарушений, прослеживающихся на снимках, однонаправленность сдвиговых смещений по параллельным друг другу разрывам на обширных пространствах равнин и плоскогорий на западе США и в Западной Европе. Многие его работы семидесятилетней давности и в наше время сохраняют актуальность и кажутся более современными, чем работы недавних десятилетий.

По мере развития авиации в начале XX в. аэрофотосъемку земной поверхности начали производить с больших высот, все более высококачественными фотографическими аппаратами, покрывать ею обширные территории. Аэрофотоснимки все более широко применялись в научных исследованиях и хозяйственной деятельности, а также в военной разведке. В 1930-х гг. в Европе и США начали производиться высотные аэрофотосъемки с

---

\* Линеаментам посвящена глава VI.

аэростатов, поднимающихся в верхние слои атмосферы. В результате были получены первые сверхмелкомасштабные фотографии земной поверхности. Появление баллистических ракет в конце второй мировой войны дало возможность производить фотографирование Земли уже с космических высот (более 100 км). Первые опубликованные фотографии Земли из космоса были получены в 1945 г. с баллистической ракеты ФАУ-2, запущенной в США с полигона Уайт-Сэндс в штате Нью-Мексико на высоту 120 км. В конце 1940-х — начале 1950-х гг. в космос были запущены десятки исследовательских баллистических ракет систем ФАУ-2, «Викинг», «Аэробы» и других, с которых производилось фотографирование земной поверхности. Для некоторых участков поверхности Северной Америки и Европы по материалам этих съемок были составлены первые монтажи из космических фотоснимков.

4 октября 1957 г. в СССР был запущен первый искусственный спутник Земли (ИСЗ), 3 ноября 1957 г. — второй ИСЗ, а 1 февраля 1958 г. — ИСЗ «Эксплорер» в США. Были совершены запуски первых автоматических межпланетных станций (АМС): в США — «Пионер-1» (11 октября 1958 г.), в СССР — «Луна-1» (2 января 1959 г.). С орбитальных космических аппаратов, АМС, а позже и с пилотируемых космических кораблей начали производиться космические фотосъемки и телевизионные съемки.

Впервые Землю из космоса увидел Ю. А. Гагарин во время своего первого в мире космического полета 12 апреля 1961 г. Он вел наблюдения суши и океанов, облачности и звездного неба, записывал свои впечатления в бортовой журнал и передавал их по радио. Удивительная красота Земли, наблюдаемой с космических высот, произвела на него огромное впечатление. Чувство неповторимой красоты космического «лика Земли» отмечалось впоследствии почти всеми космонавтами.

Космонавты отмечали и высокую информативность визуальных космических наблюдений, которую нельзя связать с обычной разрешающей способностью человеческого зрения, оцениваемой в среднем примерно в несколько десятков угловых секунд. Казалось бы, что при такой разрешающей способности с высоты 300 км можно было обнаруживать объекты размером только около сотни метров. Однако многие советские и американские космонавты отчетливо видят с борта пилотируемых кораблей и орбитальных станций значительно меньшие по размерам предметы. Из космоса хорошо видны системы дорог, инверсионные следы самолетов и т. д. Возможность наблюдения протяженных объектов объясняется известным фактом, что выделяющая способность зрительной системы в этом случае существенно выше ее разрешающей способности, которая оценивается по предметам изометрической формы. В то же время имеются свидетельства космонавтов о наблюдении отдельных небольших домов, движущихся грузовиков по шоссе и т. п.

Все это говорит о больших возможностях визуальных наблюдений космонавтов.

При всей своей яркости и неповторимости визуальные космические наблюдения очень субъективны; в значительной степени они отражают душевный мир и круг интересов того человека, который ведет эти наблюдения. После запуска в космос для долговременных работ на орбите специалистов в различных областях науки, техники, хозяйства, культуры роль визуальных исследований из космоса может оказаться весьма значительной, а для решения некоторых вопросов — даже главной, основной. Но в настоящее время материалы дистанционных съемок из космоса используются гораздо шире и полнее, чем визуальные наблюдения космонавтов.

Число оригинальных негативов космических снимков уже в конце 1970-х гг. исчислялось многими миллионами и продолжает интенсивно расти. Каждый космический снимок неповторим, не дублирует других космических снимков и несет уникальную информацию, которая зависит от времени съемки, освещенности, сезонных и погодных условий, типа съемочной аппаратуры, спектрального диапазона, в котором производится съемка, ориентации оптических осей фотоаппаратуры по отношению к Земле, типа и качества фотоматериалов, масштаба получаемых космофотонегативов и изготавливаемых с них (иногда со значительным увеличением) снимков. В свою очередь, освещенность местности зависит от высоты Солнца над горизонтом, его азимута, прозрачности атмосферы, отражательной способности ландшафта. Степень увлажненности почв, характер растительности, наличие или отсутствие снежного покрова, иней, бури, облачность могут резко, порой почти до неузнаваемости менять характер космофотоизображения одной и той же местности. Резко различаются и космофотоизображения, полученные в различных участках спектра, либо при съемке на спектральнозональную пленку или со специальными наборами светофильтров, либо при сканерных съемках земной поверхности, когда снимок регистрирует отраженное от земной поверхности излучение в узком спектральном диапазоне (в одних случаях — в видимой, в других — в инфракрасной части спектра).

В настоящее время разнообразные космические исследования, в том числе съемки поверхности Земли, одновременно ведут многочисленные космические аппараты и ИСЗ. До конца 1981 г. на орбиты ИСЗ выведено более 2500, а на межпланетные орбиты — свыше 130 объектов. К началу 1982 г. на геоцентрических орбитах находилось более тысячи спутников, в том числе 621 советский, 426 американских, 21 японский, 10 французских и многие другие. На ночном небе можно увидеть эти закономерно перемещающиеся яркие точки, каждая из которых движется по своей орбите. Некоторые из ИСЗ существуют недолго — недели, месяцы; некоторые — годы; срок дей-



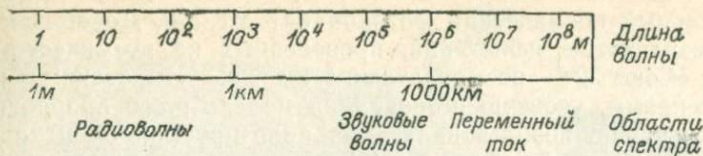
Рис. 1. Электро  
 Черный цвет соответствует участкам спектра, пропускаемым

ствия иных рассчитан на многие десятки лет. В первые годы космической эры космические аппараты запускались только в СССР и США; теперь их запуски проводятся также во Франции, Англии, Индии, Китае, Канаде, Японии и в других странах.

Все космические летательные аппараты, с которых производятся дистанционные исследования земной поверхности, можно разбить по характеру их орбит на пять групп. К первой относятся баллистические ракеты и зонды различных типов, производящие съемки поверхности Земли с высот 80—200 км; ко второй — низкоорбитальные ИСЗ, пилотируемые космические корабли и орбитальные станции, работающие на высотах 150—600 км; к третьей — среднеорбитальные ИСЗ на круговых и слабоэллиптических орбитах на высотах 600—2000 км; к этой группе относится большинство метеорологических спутников и спутников по изучению природных ресурсов Земли, непрерывно передающих на Землю обширную космическую информацию. Четвертую группу составляют космические аппараты, передающие информацию с удлиненных эллиптических орбит с высот от 2 до 60—100 тыс. км и геостационарные спутники Земли, постоянно находящиеся над одной и той же определенной точкой ее поверхности на высоте около 36 тыс. км. К пятой группе можно отнести космические аппараты, производящие съемку Земли с орбиты Земля — Луна, а также с межпланетных космических станций и кораблей.

Космические фотоизображения делятся на плановые, плано-перспективные и перспективные. К первой группе относятся снимки, для каждого участка которых отклонение направления спутник — центр Земли от вертикального по отношению к поверхности Земли не превышает 3—4°, во второй группе такое отклонение для отдельных участков снимка может достигать 4—15°, в третьей группе — превышать 15°.

Материалы космических съемок могут доставляться на Землю как в виде экспонированных негативных или позитивных фотографических пленок различных типов, с которых получают контактные или увеличенные фотоизображения — космофото-снимки, так и с использованием развертки изображения, либо записываемого на магнитную ленту, либо передающегося на



магнитный спектр.

земной атмосферой, а белый — задерживаемым ею.

Землю по радиоканалам. Этот второй тип передачи информации более универсален и оперативен, чем доставка на Землю космифотоинформации на пленках. Более 90 % всех имеющихся снимков поверхности Земли и почти все снимки других планет и спутников передаются по радиоканалам. Они выполняются как в видимой и ближней инфракрасной, так и в других частях спектра и после проведения съемки (а иногда и в момент передачи) передаются на Землю.

Как уже говорилось выше, космические съемки проводятся в различных диапазонах спектра электромагнитных колебаний. Они могут регистрировать как собственное электромагнитное излучение земной поверхности и атмосферы, так и отраженную солнечную радиацию. Электромагнитное излучение, имеющее различные длины волн, по-разному пропускается атмосферой Земли. Атмосфера задерживает большую часть гамма-излучения, рентгеновское и ультрафиолетовое излучение, а также ряд участков видимой и инфракрасной частей спектра, в том числе фиолетовый, сине-зеленый, среднюю и дальнюю инфракрасную части спектра (рис. 1). Излучение, которое достигает земной поверхности, частично поглощается ею, а частично отражается от нее, вторично проходит через различные по плотности слои атмосферы и лишь потом регистрируется космическими аппаратами. Фотографические или сканирующие системы обладают чувствительностью лишь в определенных участках электромагнитного спектра. Кроме того, излучение, поступающее в съемочную систему, может сильно ослабляться влиянием атмосферы, поэтому при съемках стараются использовать те участки спектра, где влияние атмосферы на излучение Земли и на отражающийся от Земли солнечный свет минимально. На современном уровне фотографирование поверхности Земли на фотопленку, так же как и получение нефотографических разверток сканерных изображений земной поверхности, производятся чаще всего одновременно в нескольких спектральных диапазонах, в большинстве случаев в видимой и ближней инфракрасной частях спектра.

Для проведения космических съемок Земли специалистами СССР и ГДР в рамках программы «Интеркосмос» был создан

многозональный космический фотоаппарат МКФ-6. Доработанная по результатам испытаний, проведенных на космическом корабле «Союз-22» космонавтами В. Ф. Быковским и В. В. Аksenовым, усовершенствованная модель этого аппарата МКФ-6М успешно использовалась на пилотируемой орбитальной станции «Салют-6». Аппарат МКФ-6М продолжает эксплуатироваться на запущенной в апреле 1982 г. пилотируемой орбитальной станции «Салют-7», а также на самолетах-лабораториях, работающих по программе исследований природных ресурсов Земли на полигонах СССР и других социалистических стран.

Начиная с 1960-х гг. в научной и хозяйственной деятельности широко используются космические снимки, получаемые с метеорологических спутников Земли («Метеор», «Тирос», «ЭССА», «НОАА», «Нимбус», «Метеосат») и спутников, предназначенных для изучения природных ресурсов Земли («Ландсат»). На первых спутниках системы «Метеор» устанавливались передающие телевизионные камеры; на спутниках «Метеор» второго поколения (рис. 2, а) они заменены многоспектральными сканирующими системами, работающими в различных диапазонах в видимой и ближней инфракрасной частях спектра. В процессе съемки поток света, поступающий в оптическую систему сканера на борту метеорологического спутника, преобразуется в электросигналы, которые передаются по радиоканалам на наземные приемные станции. Здесь они преобразуются и записываются на магнитную ленту либо непосредственно в виде построчной развертки переданного изображения проецируются на фотопленку. Масштаб снимков, получаемых в результате съемки многоспектральным сканером (МСС) малого разрешения на борту спутников «Метеор» равен 1 : 6 000 000, разрешение на местности (иначе говоря, размер наиболее мелких природных объектов, видимых на снимке) — 1 км; масштаб снимков МСС среднего разрешения — 1 : 2 500 000, разрешение на местности — около 250 м.

В последние годы в СССР для оперативного сбора видеoinформации о поверхности Земли с борта спутников системы «Метеор» разработана многоспектральная сканирующая система «Фрагмент» (рис. 2, б), с помощью которой съемки земной поверхности проводятся в восьми интервалах спектра электромагнитных колебаний в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах. Ширина полосы обзора в системе «Фрагмент» — 85 км, разрешение — около 80 м, темп съемки — 590 км<sup>2</sup>/с; процессы обработки информации в системе автоматизированы.

Широкое применение во многих странах мира находят снимки, получаемые с ИСЗ «Ландсат» (рис. 3). Первый спутник этой серии — «Ландсат-1», первоначально имевший название ЕРТС-1, — был запущен в июле 1972 г., второй — «Ландсат-2» — в 1975 г., третий — «Ландсат-3» — в 1978 г., четвертый — «Ландсат-Д» — в 1982 г. Спутники серии «Ландсат», вы-

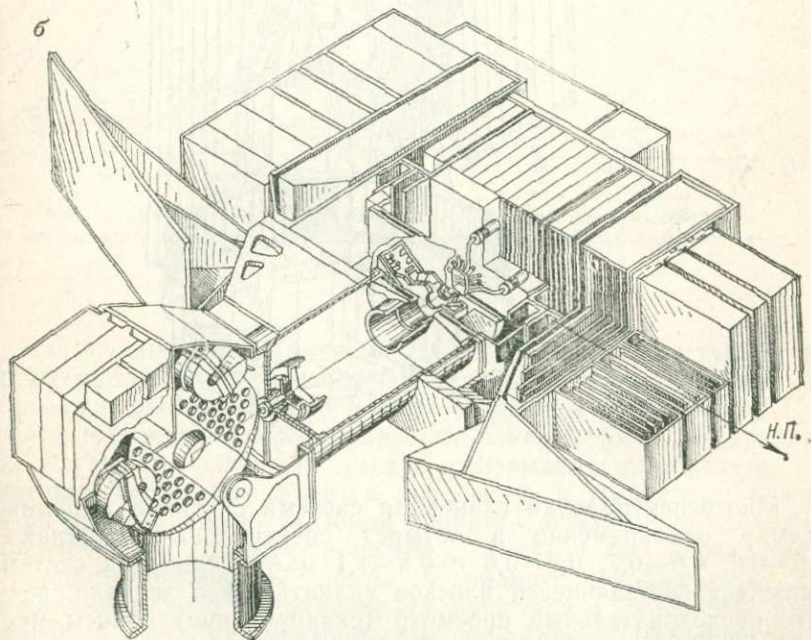
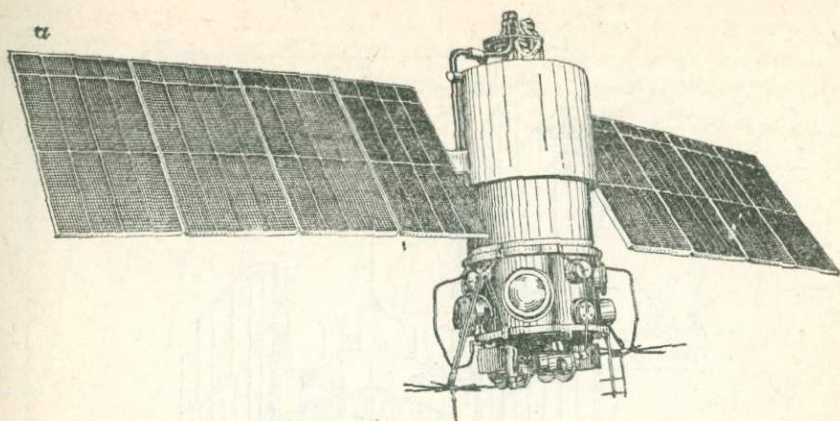
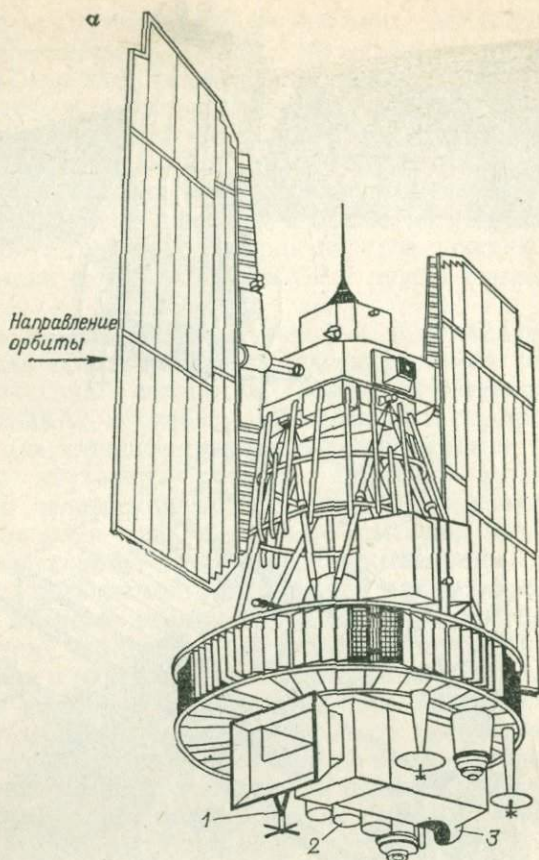


Рис. 2. Внешний вид метеорологического спутника «Метеор-2» (а) и общий вид МСС «Фрагмент» (б).

водятся на круговые околополярные орбиты. Наклон орбит спутников «Ландсат» к плоскости экватора равен  $99,1^\circ$ , высота полета — 903—912 км, период обращения — 103,1 мин, ширина полосы земной поверхности, покрываемой съемкой, — 185 км, оригинальный масштаб самого изображения — 1:3 369 000, рабочий масштаб — 1:1 000 000; при печати возможно увеличение снимков до масштаба 1:250 000. Каждый спутник покрывает съемкой всю поверхность Земли за 18 суток и совершает за этот период 251 оборот,



Многоспектральная сканерная система спутника выполняет съемку одновременно в четырех спектральных каналах — 0,5—0,6, 0,6—0,7, 0,7—0,8 и 0,8—1,1 мкм. Сканерная система включает вращающееся плоское эллиптическое зеркало, ведущее последовательный просмотр (сканирование) полосы местности с постоянной линейной скоростью, перпендикулярно к линии полета ИСЗ. Отраженный от зеркала свет фокусируется на подобный крошечному экрану кончик шнура, состоящего в системах спутников «Ландсат-1 и -2» из 24 волокон-световодов, возбуждая в них электрические сигналы различной интенсивности. Квадратному окончанию каждого волокна-световода, имеющему размер  $60 \times 60$  мкм, соответствует на поверхности Земли участок размером  $78 \times 78$  м (на спутнике «Ландсат-3» —  $40 \times 40$  м), что и определяет разрешающую способность системы. На выходе сигналы усиливаются, обрабатываются и передаются на наземные станции либо в режиме непосредственной передачи, либо с промежуточной записью на борту.

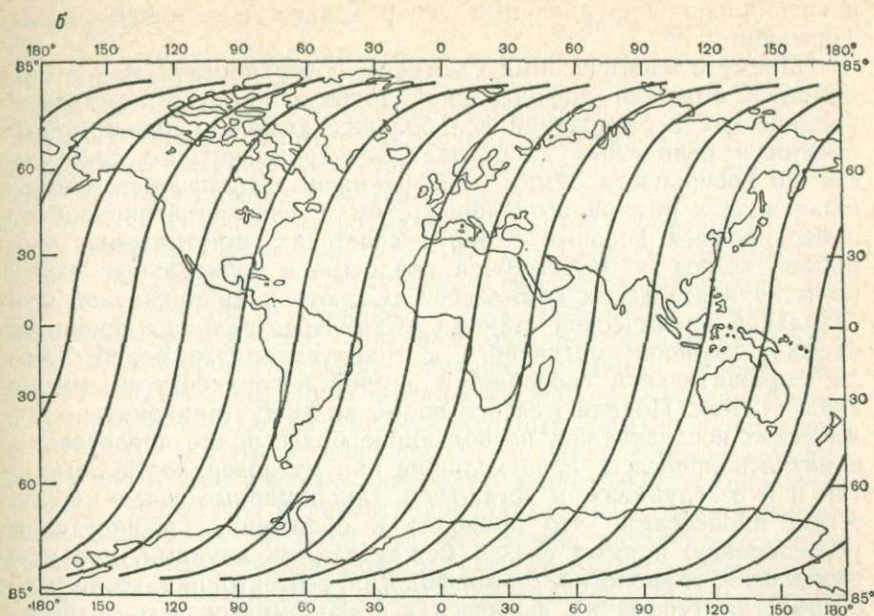


Рис. 3. Общий вид спутника «Ландсат-1» (а) и пример его трассы (б).

1 — антенна для сбора данных; 2 — видеоконные камеры; 3 — мультиспектральная сканирующая система.

Съемочная информация с ИСЗ «Ландсат» поступает на снабженные соответствующей аппаратурой станции приема информации, располагающиеся ныне более чем в 40 странах Северной и Южной Америки, Европы, Азии, Африки, Австралии. Вне зон приема наземных станций информация записывается на бортовые устройства, а затем передается в ускоренном режиме по радиоканалам. На Земле принятая информация проходит первичную и вторичную обработку. Сначала она переводится с видеомагнитофонной ленты в видимое изображение на 70-миллиметровую фотопленку (в масштабе 1:3 369 000) раздельно по каждому спектральному диапазону с 10-процентным перекрытием последовательных кадров, коррекцией геометрического изображения и привязкой к местности с погрешностью до 1 км. Затем фильмы переписывают на 242-миллиметровую фотопленку в масштабе 1:1 000 000, получают более точную привязку к геодезическим пунктам (с погрешностью около 200 м) с помощью ЭВМ, фиксируют на них дату съемки, координаты центральной точки снимка, спектральный диапазон, высоту и азимут стояния Солнца в момент съемки и номер снимка в общем каталоге. Изображение снабжают географическими координатами, размножают и рассылают заказчикам, а оригинал в виде магнитной ленты с цифровой записью поступает

в специально оборудованный центр хранения космической информации.

Наряду с космическими съемками поверхности Земли в видимой и ближней инфракрасной зонах спектра в комплексе космических исследований все большее значение приобретают съемки в невидимых диапазонах электромагнитного спектра: съемки поверхности Земли в инфракрасных диапазонах и примыкающие к ним радиотепловые съемки; спектрометрирование, проводившееся впервые с борта советских пилотируемых кораблей «Союз-7», «Союз-9», а позднее — с орбитальных научно-исследовательских комплексов «Салют» и американской орбитальной космической станции «Скайлэб»; радиолокационная съемка; изучение магнитного и гравитационного полей Земли, отражательной способности земной поверхности и другие виды съемок. Появляются все новые виды дистанционных космических исследований, позволяющие более полно представить и изучить процессы, происходящие как на поверхности Земли, так и в ее глубинах, и установить закономерные связи между этими процессами. Это приводит к сближению, а иногда и установлению прямых связей между такими науками, как метеорология, гидрология, геоморфология, геотектоника, геохимия, петрология, геофизика, физическая и экономическая география, хотя еще недавно многие из этих наук о Земле не контактировали между собой.

В зависимости от пространственного разрешения, обзорности и масштаба космических снимков их обычно разделяют на несколько групп, которым соответствует различная степень генерализации природных объектов, видимых на снимках. В начале 1970-х гг. советский географ Б. В. Виноградов предложил выделить по уровню обзорности следующие четыре группы космических снимков: глобальные, региональные, локальные и детальные. Он подчеркнул при этом, что по уровню пространственного разрешения и масштабу целесообразно проводить более дробную классификацию.

Глобальные космические снимки охватывают целиком полушария Земли или значительные их части. Масштаб оригинальных негативов таких снимков обычно мельче 1:50 000 000, а нередко и 1:100 000 000 ( $10^{-7}$ — $10^{-8}$ ), а разрешающая способность измеряется многими километрами. Для проведения съемок такого масштаба необходимо удаление камеры, производящей съемку, от поверхности Земли на расстояние не менее нескольких тысяч километров при съемке обычными объективами и телевизионной съемке. Многие высококачественные глобальные снимки Земли были получены при полетах автоматических станций и пилотируемых космических кораблей к Луне (рис. 4, см. вкладку). В последние годы такие снимки регулярно получают с метеорологических спутников. Глобальные космические снимки несут богатейшую и разноплановую космическую информацию, которая в настоящее время шире всего используется в

метеорологии, океанологии и при составлении мелкомасштабных карт земной поверхности. Географические и геологические исследования целесообразно начинать с изучения глобальных космических снимков, которое во многих случаях помогает установить наиболее общие закономерности строения и структуры изучаемого региона или участка местности, его положение в структуре континента и Земли в целом.

4458 Региональные космические снимки, имеющие исходный масштаб негативов  $10^{-6}$ — $10^{-7}$ , охватывают площадь в миллионы квадратных километров и имеют разрешающую способность, равную нескольким сотням метров или первым километрам (рис. 5). Региональные космические снимки выполняются метеорологическими спутниками Земли (серий «Метеор», «НОАА», и др.), на которых установлены телевизионные и сканирующие камеры. На региональных снимках поверхности континентов обычно хорошо прослеживаются системы крупных разрывов и линейментов, наиболее значительные концентрические структуры, рудоконтролирующие зоны, тектонические швы складчатых областей. На них можно различать крупные лесные массивы, речные долины, сельскохозяйственные угодья, морфологию поверхности горных и равнинных регионов; хорошо прослеживается ландшафтная и климатическая зональность, границы засушливых аридных и влажных гумидных зон, пустынь и полупустынь; снимки дают концентрированную, но достаточно полную информацию о состоянии облачного покрова и динамике движения воздушных масс. Главными недостатками региональных космических снимков являются искажения, обусловленные кривизной Земли и связанные с этим трудности преобразования изображения в плановые, разномасштабность изображений и сильные искажения масштаба по краям снимка, где плановое изображение сменяется планово-перспективным. Но эти недостатки во многом искупаются главными достоинствами региональных космоснимков — шириной обзора, высокой информативностью, генерализацией и обобщенностью мелких деталей, во многих случаях приводящих к «эффекту просвечивания» — возможности дешифрирования на снимках глубинных структур земной коры.

Локальные космические снимки — самый распространенный вид материалов космических съемок. К этой группе относятся более 90% всех снимков, используемых в настоящее время в науке и в хозяйственной деятельности. Исходный масштаб негативов таких снимков —  $10^{-5}$ — $10^{-6}$ ; они охватывают площади в десятки и сотни тысяч квадратных километров и имеют разрешающую способность, равную десяткам или первым сотням метров (рис. 6). В этих масштабах выполняется большая часть фотосъемок земной поверхности с пилотируемых космических кораблей и долговременных орбитальных станций и телекосмосъемки со специализированных спутников по изучению природных ресурсов Земли. На локальных космических



снимках хорошо прослеживаются и могут быть изучены конкретные географические ландшафты, структуры облачного покрова, динамика течений и движений водных масс в океанах и морях, разветвленная речная сеть, локальные структуры земной поверхности, детали строения горных хребтов, растительные сообщества, поля и посевные площади, крупные гидротехнические и инженерно-технические сооружения, города, линии железных дорог и крупных шоссеиных дорог.

Недостатком локальных космических снимков является относительно малая степень обзорности по сравнению с региональными снимками. Поэтому при проведении исследований определенной местности целесообразно использовать одновременно как локальные, так и региональные космические снимки, что позволяет определять положение местных локальных структур и объектов в общей структуре и общей ландшафтной картине изучаемой территории. Достоинством локальных космических снимков является их высокая информативность и возможность фотографировать интересующие исследователя объекты с различных космических аппаратов.

Детальные космические снимки имеют исходный масштаб негативов  $10^{-4}$ — $10^{-5}$ . Они охватывают площадь в сотни, тысячи и первые десятки тысяч квадратных километров. Пространственное разрешение на этих снимках измеряется первыми десятками метров. Детальные космические снимки получают путем фотографирования длиннофокусными съемочными камерами с орбит высотой порядка 200—300 км. Как по обзорности, так и по разрешающей способности такие снимки аналогичны высотным мелкомасштабным аэрофотоснимкам, получаемым при съемках с самолетов аэрофотоаппаратами с широкоугольными объективами. На детальных космических снимках хорошо прослеживаются почти все существенные детали строения рельефа земной поверхности, складчатые и разрывные структуры, литологические типы горных пород, характер почв, ирригационные сооружения, посевы сельскохозяйственных культур, лесные угодья, дороги.

## Глава II

---

### АТМОСФЕРА ЗЕМЛИ НА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ

Первое, что бросается в глаза при сравнении космических снимков Земли с космическими снимками других планет, что составляет главную отличительную черту нашей голубой планеты,— это наличие на ее твердой поверхности и над ней двух сплетенных воедино и тесно взаимодействующих оболочек —

атмосферы и гидросферы. Атмосферы есть и у некоторых других планет и их спутников — у Венеры, Марса, Титана; сложно устроенные и чрезвычайно мощные газовые оболочки есть у планет-гигантов — Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна. Но они мало похожи на нашу земную атмосферу как по составу, так и по физическим свойствам. Водная же оболочка — гидросфера — в пределах Солнечной системы существует только на поверхности Земли.

Атмосфера Земли находится в непрерывном движении, в котором участвует и часть гидросферы в виде облаков, состоящих из смеси водных паров, воздуха и мелковзвешенных капелек воды. Именно перемещения облачных масс позволяют визуально наблюдать движения атмосферы и изучать законы, управляющие этими движениями. Большая часть облаков сосредоточена в нижних слоях атмосферы — в тропосфере, на высотах до 8—10 км от земной поверхности. Так называемые радужные облака наблюдаются выше, на высотах 15—60 км от поверхности Земли. На еще больших высотах (74—96 км) в умеренных широтах (45—70° с. ш. и 52—70° ю. ш.) иногда наблюдается тонкий слой так называемых серебристых облаков, о природе которых до сих пор ведутся споры.

Движения атмосферы определяются в значительной степени ее тепловым балансом, который контролирует значения давлений и температур в различных по плотности слоях атмосферы над разными точками земной поверхности. При этом динамика атмосферы в большей степени зависит от внешних, экзогенных, факторов (прежде всего от поступающей на Землю солнечной энергии), чем от внутренних, эндогенных, факторов — теплового потока, идущего из земных недр, магнитного и гравитационного полей Земли. Суточные и годовые циклы вращения Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца, смена дня и ночи и годовых сезонов особенно активно воздействует именно на атмосферу, как на наиболее подвижную оболочку Земли. Они определяют основные черты климатической зональности, существование полярных, холодных областей и экваториальной, жаркой области. Законы перемещений атмосферных масс определяют более дробную климатическую зональность, существование климатических и ландшафтных поясов, гумидных и аридных зон на материках.

На глобальных космических снимках Земли (см. рис. 4, 8, 11) обычно отчетливо выделяется приэкваториальная зона пониженных давлений со спокойной структурой облачного покрова, переходящей по краям в рваные облачные структуры зон активного действия пассатных ветров, дующих от тропиков к экватору с отклонением в западном направлении. Южнее и севернее, в зонах так называемых конских широт (20—40°) заметно преобладание безоблачной погоды, особенно над материками, что обусловлено характерным для этих широт высоким атмосферным давлением и нисходящими движениями

относительно сухого воздуха, которые приводят к развитию полупустынных и пустынных ландшафтов. Севернее и южнее 40-х параллелей в обоих полушариях наблюдаются интенсивные перемещения облачных масс, чаще с запада на восток\*, с широким развитием циклональных завихрений, которые в Северном полушарии всегда закручены против часовой стрелки, а в Южном — по часовой (рис. 7).

В циклонах, образующих иногда протяженные поля вихревых структур, холодный воздух подтекает под теплый, закручиваясь под действием сил, обусловленных вращением Земли. Возникают облачные вихри, имеющие спиралевидную структуру с центром сходимости потоков воздушных масс в центре вихря. Расположенный ниже, ближе к поверхности Земли, центр минимального атмосферного давления иногда отстоит на несколько сотен километров от центра облачного вихря. По мере вытеснения теплого воздуха вверх происходит разрушение вихревой структуры. В антициклонах воздух тоже закручивается, но его движение направлено от центра вихревой структуры — области повышенных давлений — к периферии. Из-за отсутствия облачности антициклональные структуры на космических снимках обычно не просматриваются.

Циклоны нередко развиваются и в экваториальной зоне, зарождаясь здесь обычно между 10—20° с. ш. или ю. ш. над наиболее нагретыми частями океанов. Они обычно меньше по размерам; на небольшой площади здесь сосредоточивается огромная энергия. В результате при быстром движении тропические циклоны (ураганы, тайфуны) производят колоссальные разрушения. От места своего возникновения тропические циклоны движутся сначала на запад, но затем поворачивают к умеренным широтам, где разворачиваются и продолжают движение уже на восток (рис. 8).

Севернее и южнее зон активной циркуляции атмосферы в умеренных широтах располагаются приполярные антициклональные области, в которых ветры дуют от полюсов, отклоняясь под действием вращения Земли от меридианов в западном направлении. Особенно устойчиво господство холодных воздушных масс над Антарктидой, что ведет к почти постоянно безоблачной, антициклональной погоде над ледовым континентом. Сходная климатическая обстановка характерна и для Гренландии.

На границах континентов с океанами, берегах морей и озер дуют ветры, связанные с сезонными и суточными температурными контрастами между сушей и морем: днем и летом суша

---

\* Это объясняется тем, что воздушные потоки, идущие от субтропических максимумов давления к поясам пониженных давлений умеренных широт, отклоняются в Северном полушарии вправо, а в Южном — влево, что в обоих случаях приводит к преобладанию в среднегодовом балансе западных ветров.

нагревается сильнее, чем вода, и образуется тяга воздуха с моря на сушу; ночью и зимой — наоборот. Так возникают бризы и муссоны.

Зимняя муссонная облачность на космических снимках часто имеет в умеренных и приполярных широтах характерный облик тонкополосчатых струй, параллельных друг другу, наглядно иллюстрируя процесс влагонасыщения, разогревания, вздымания и растяжения первоначально сухих и холодных, движущихся с континента в сторону океана, масс воздуха (рис. 9). Сама облачность появляется на некотором удалении от берега; ее отчетливо полосчатая грядовая структура очень типична для зон конвективного перемещения вещества в тех местах, где это перемещение сопровождается растяжением и поднятием.

Сходные по рисунку структуры наблюдаются на снимках в рифтовых и раздвиговых зонах литосферы материков (см. рис. 39). Над внутренними частями океанического бассейна линейная облачность переходит в ячеистую кучевую, слегка приплюснутую сверху и образующую достаточно правильный геометрический рисунок.

Иная картина наблюдается, когда ветры дуют с моря на материк. Летние муссоны несут с собой при этом фронты облачности, которые в умеренных широтах, сталкиваясь с более прогретыми и сухими массами континентального воздуха, нередко перерождаются в циклональные вихри. По-другому выглядят на космических снимках дневные бризы (рис. 10), отгоняющие облачность от береговой линии в глубь суши на 30—50 км. В зоне оттока воздуха, вблизи береговой линии, над морем часто образуются при этом параллельные берегу узкие полосы облаков.

Наряду с облачными массами, располагающимися на небольших высотах, на космических снимках хорошо прослеживаются и более высокие ярусы облачности. На больших высотах обычно располагаются перистые и перисто-слоистые облака, нередко образующие светлые полосы, лучисто расходящиеся от центральных светлых пятен.

Изложенные выше глобальные закономерности перемещений воздушных масс были выявлены и изучены в самых грубых и общих чертах лишь в прошлом веке — первая карта годовых изотерм для поверхности всей Земли была построена в 1817 г. А. Гумбольдтом на основе данных 57 существовавших тогда метеорологических станций. В настоящее время в мире действует метеосеть, состоящая из многих десятков тысяч метеорологических станций и постов, тысячи которых расположены в труднодоступных районах. Однако даже на территории материков они размещены крайне неравномерно. Развитие космической техники способствовало созданию космических метеорологических систем, которые резко повысили возмож-

ности получения метеорологической информации и скорость ее обработки.

Ныне на околоземных орбитах находится одновременно несколько десятков метеорологических спутников, запущенных СССР, США, Японией и другими странами, а также по международным программам. На спутниках установлены как оптико-электронная аппаратура, работающая в видимом и инфракрасном участках спектра и позволяющая детально изучать динамику движения атмосферы и облачного покрова, так и многоканальные радиометры, круглосуточно обеспечивающие исследование атмосферы, распределения температуры в ее нижних слоях (в несколько десятков километров), взаимодействия подстилающей поверхности с воздушными массами и т. п.

Космические съемки дали возможность гораздо полнее и детальнее, чем данные наземных и воздушных наблюдений, изучить циркуляцию атмосферы, распределение в ней облачного покрова, получить точные характеристики плотности, состава, высоты, яркости, структуры слагающих его облаков, скорости их перемещения за достаточно длительные промежутки времени, а также исследовать повторяемость метеорологических процессов и их взаимосвязь с циклами солнечной активности. Это дало возможность за последние годы добиться больших успехов в повышении точности краткосрочных метеорологических прогнозов. Составлены серии эталонных таблиц типов облачных образований и динамики их развития, сезонные и годовые климатологические карты мира и отдельных стран, областей и районов, карты облачности, карты осадков, карты атмосферного давления, карты загрязнения атмосферы в целом и в ее нижних слоях, проведены исследования по изучению пыле-песчаных бурь и распределения пыли в атмосфере. Одновременно ведутся работы по многим другим проблемам метеорологии, таким, в частности, как термическое и геохимическое изучение высоких слоев атмосферы и ионосферы, изучение их физических свойств, определение вертикального и площадного распределения загрязняющих компонентов в атмосфере; исследуются связи атмосферных явлений со свойствами подстилающей поверхности. О результатах некоторых из этих исследований, в частности тех, которые касаются охраны окружающей среды, будет рассказано в главах IX—XV.

С геостационарных спутников, постоянно находящихся над строго определенными точками земного экватора, ведутся систематические съемки земной поверхности с большой частотой (например, с частотой 30 мин). Это дает возможность монтировать получаемые изображения в киноленты, где каждый кадр получен через определенный интервал времени, соответствующий частоте съемки. В результате при просмотре скорость движений атмосферных масс увеличивается в тысячи и десятки тысяч раз, можно наблюдать годовую атмосферную циркуляцию в

пределах полушария, сжатую в краткий временной интервал просмотра фильма (от нескольких минут до нескольких часов). Просмотр подобных фильмов оставляет неизгладимое впечатление: на экране можно видеть равномерно и ритмично пульсирующие системы облачных образований, напоминающие дышащий живой организм. Перемещения масс на разных высотных уровнях оказываются тесно увязанными между собой, образуя единую картину жизни нашей газовой оболочки. При этом характерны постоянно наблюдаемые процессы рождения и накопления облачных масс, их подъема, закономерных горизонтальных перемещений и разрушения.

И еще одна особенность строения перемещающихся облачных масс поражает воображение как при просмотре кинолент, полученных с помощью стационарных спутников, так и при дешифрировании глобальных и региональных космических снимков, — удивительное сходство многих структур атмосферных фронтов и облачных комплексов со структурами горных систем, плоскогорий, равнин и островных дуг на поверхности Земли. Иногда даже на одном и том же космическом снимке наблюдаются сходные по своей геодинамической природе и облику структуры облачного покрова и горных хребтов. Так, на рис. 11 видно большое сходство структуры облачного покрова над северо-западной частью Атлантического океана и структуры Альп, Динарид и Апеннин в Северном Средиземноморье. Облачная структура в два с небольшим раза больше по размерам. Это вообще характерно для облачных структур сравнительно со структурами рельефа. На сходство рисунков облачных и орографических структур на космических снимках Земли уже указывал в своих статьях географ М. Назиров. Просмотрев и проанализировав изображения облачных масс на серии телевизионных космических снимков, нетрудно найти среди облачных структур структуры, достаточно близкие по динамике своего формирования и деталям строения к структуре Пиренеев и Карпат, Урала и Кавказа, Копетдага, Эльбруса, Тянь-Шаня, Памира, Гиндукуша, Гималаев, Японских островов, Кордильер, Анд, Аппалачей и других горных образований, хотя скорости формирования облачных и горных структур различаются в несколько миллиардов раз (облака движутся со скоростью, измеряемой метрами в секунду, а литосферные блоки и плиты — сантиметрами и миллиметрами в год).

Динамика формирования облачных образований в атмосфере изучена теперь достаточно детально. Можно полагать, что установление более тесного контакта между метеорологами и геологами и проведение совместного сравнительного анализа закономерностей формирования морфологически однотипных структур атмосферы и литосферы не только возможны, но и безусловно необходимы для более полного понимания геодинамических закономерностей движения вещества нашей планеты.

КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ  
И ГЕОЛОГИЯ

За последнюю четверть века представления о строении и развитии Земли, об устройстве ее внешней твердой оболочки (литосферы), о происхождении глубинных горных пород резко изменились. Новое понимание сущности геологических процессов не случайно совпало с началом космической эры, началом эпохи космогеологических исследований, изучением строения других планет Солнечной системы и их спутников. В настоящее время можно уверенно говорить о коренном повороте в понимании истории Земли и ее современного строения, о революции в геологии.

Главными особенностями этой революции являются переход от представлений о Земле как устойчивой жесткой планете к представлениям о возрастающей с глубиной подвижности вещества Земли; разработка теории движущихся относительно жестких блоков внешней твердой оболочки Земли — литосферных плит; установление геодинамических закономерностей формирования осадочных, магматических и метаморфических горных пород, слагающих земную кору.

Геологи часто определяют сущность происходящих в геологии перемен очень кратко. Они говорят, что фиксистское понимание истории и строения Земли сменяется мобилистским пониманием. Термины «фиксизм» и «мобилизм» связаны с долгим — столетним — спором двух геологических школ. Одна из них (фиксисты) отстаивает тезис об отсутствии крупных горизонтальных перемещений горных пород в процессе образования современной структуры земной коры, формировании и изначальном нахождении комплексов горных пород приблизительно в тех же участках поверхности Земли, где они находятся сейчас. Другая школа (мобилисты) исходит из представлений об активных и значительных перемещениях пород земной коры, иногда на многие сотни и тысячи километров, в процессе геологической истории. Фиксисты и мобилисты по-разному понимают происхождение океанов и континентов, время формирования и особенности строения земной горы, закономерности размещения в ней горных пород и полезных ископаемых. Даже методы геологических съемок, поисковых работ и составления геологических карт у них во многом различны. Несколько утрируя положение, сложившееся на сегодняшний день в науках о Земле, можно сказать, что существуют две геологии — геология фиксистская и геология мобилистская. Соответственно существуют и различные трактовки почти каждого геологического факта и явления, наблюдаемого во время полевых работ, получаемого при лабораторных исследованиях или при дешифрировании космических снимков.

Как могло возникнуть такое удивительное положение вещей?

Если мы вспомним, как развивалась геология в течение последних двух столетий, то оно окажется вполне объяснимым. Геология XIX в. развивалась прежде всего как историческая геология, пришедшая на смену чисто прикладной науке, занимавшейся в течение многих столетий только поиском и добычей руд, строительных материалов, питьевой воды, драгоценных камней и топлива.

Основой изучения последовательных фаз истории Земли являлась молодая, развивавшаяся в конце XVIII — начале XIX вв. наука — стратиграфия, основывающая изучение слоев осадочных толщ на знаменитых тезисах, сформулированных в 1669 г. Н. Стено в его книге «О твердом, естественно содержащемся в твердом». Сущность их можно изложить так: толщи земных осадков слагаются из слоев; чем ниже залегают слои, тем они древнее. Правда, Н. Стено пишет и о том, что «изменение положения слоев является основной причиной образования гор... Возможно, — пишет он, — что горы опрокидывались и слои переносились с одной их стороны на другую; вершины гор под-

пимались и подвергались сжатию; Земля разверзалась и затем снова смыкалась».

Как видим, Н. Стено понимал относительность своих тезисов. Но именно изучение последовательности напластования горизонтально залегающих и полого наклоненных слоев равнинных областей Европы и Америки послужило основой для создания в первой половине XIX в. трудами У. Смита, Ж. Кювье, А. Броньяра, В. Кошбера и других геологов современного понимания последовательных этапов геологической истории и создания возрастной летописи истории Земли — геохронологической шкалы.

Впечатление, произведенное работами этих ученых на их современников, было огромно. Геология превратилась из ремесла кладочискателей в историческую науку. Библейская история Земли, ограничивающая ее существование семью с небольшим тысячами лет, сменилась геологической историей длительностью в сотни миллионов лет, зафиксированной в слоях каменной летописи, содержащих ископаемые организмы, комплексы которых непрерывно менялись в геологическом времени — от пласта к пласту, от слоя к слою. Большинство учебников и руководств по геологии, изданных в XIX в., — это прежде всего учебники и руководства по исторической геологии, авторы которых с удивлением и восторгом описывают новую, радикально изменившуюся историю Земли и мироздания.

Но по мере изучения геологических разрезов становилась все более очевидной удивительная особенность геологического строения каждого изучаемого участка земной суши. Оказалось, что в любом изучаемом регионе на определенной глубине, ниже пластов горизонтально и полого залегающих осадков, а иногда, особенно в горных районах, прямо на поверхности залегают чудовищно искореженные, деформированные, смятые в сложные складки пласты пород, нередко прорванные телами застывших магматических расплавов, а в других случаях — перекристаллизованные и частично переплавленные. Равнинные участки земной поверхности, где комплексы складчатых и магматических горных пород скрыты под горизонтально залегающими осадочными слоями, геологи начали называть платформами, выделяя верхние горизонтально и полого залегающие толщи под названием осадочного платформенного чехла, а подстилающие их смятые толщи и магматические массивы под названием складчатого фундамента платформ. Районы выходов складчатого фундамента на поверхность получили название щитов платформ, а системы горных гряд, сложенные складчатыми и кристаллическими породами, стали называть складчатыми поясами.

Перед исследователями встал вопрос: как же формируются складчатые пояса и как образовался складчатый фундамент континентальных платформ? Какие силы приводят к интенсивным деформациям слоев, которые наблюдаются уже в относительно неглубоко залегающих частях любого участка земной суши? И почему вообще на Земле существуют материка и океаны, а на материках — горы и равнины? Ведь каждая неровность земного рельефа разрушается активными приповерхностными процессами — деятельностью дождей и ветров, рек и морей, ледников и грунтовых вод, подводных течений и селевых потоков, а частицы разрушенных пород переносятся и отлагаются в пониженных участках, накапливая новые пласты осадочных пород. Ученые подсчитали, что процессы перераспределения вещества под действием силы тяжести — разрушения, выравнивания и накопления осадков — идут с такой скоростью, что если бы они не компенсировались какими-то другими процессами, противодействующими гравитации, то Земля превратилась бы в почти идеально выровненный шар, покрытый водами Мирового океана, менее чем за миллион лет.

Долгое время ответом на поставленные вопросы служило представление об остывании огненно-жидких недр Земли, неизбежно сопровождавшемся сжатием и сокращением возникающей твердой оболочки и ее складчато-разрывной деформацией. Так возникла гипотеза контракции (сокращения), сформулированная французским ученым Л. Эли де Бомоном в 1829 г. и пользовавшаяся с середины XIX в. до 20-х гг. XX в. широкой популярностью среди европейских и американских геологов. Складчатость и образование горных

хребтов (орогенез) геологи объясняли как результат последовательного медленного, но непрерывного остывания Земли и сокращения ее радиуса.

Однако гипотеза контракции не объясняла, почему общее сжатие приводит к складчатости не на всей поверхности Земли, а в определенных относительно узких зонах, и при этом именно в тех, где в эпохи, предшествующие складчатости, происходило накопление мощных толщ осадков. Эти узкие зоны интенсивного осадконакопления и позднейшей складчатости американский геолог Дж. Дана назвал геосинклиналями. К началу XX в. геологи установили несомненную взаимосвязь между процессами геосинклинального осадконакопления, вулканической деятельности, последующих складчатых деформаций и глубинного магмообразования, в конечном итоге приводящими к формированию горных складчатых поясов на месте первоначальных геосинклинальных прогибов в результате их инверсии. Всю совокупность перечисленных процессов стали называть геосинклинальным тектоно-магматическим циклом.

Гипотеза контракции подверглась критике и с другой стороны. Изучение различных типов складчатости и разрывов, деформировавших когда-то горизонтально залегавшие пласты горных пород, указывало на очень значительные размеры сокращения пространства, которое занимали эти пласты до складчатости, — часто в 2 или 3 раза, а иногда и в гораздо большей степени. В конце 1870-х и начале 1880-х гг. французский геолог М. Бертран, обобщая свои наблюдения над строением разрезов складчатых толщ во Франко-Бельгийском угольном бассейне и интерпретируя материалы по структуре Гларьских Альп в Швейцарии, опубликованные в 1878 г. А. Геймом, пришел к выводу о широком распространении в складчатых областях грандиозных по амплитуде наложений одних толщ осадочных пород на другие; эти тектонические покровы он образно назвал «перемещенными простынями» («*parpes des chaggiages*»). С этого времени термин «шарьяжные перекрытия», а позже — просто «шарьяжи», стал нарицательным. Год опубликования первых работ М. Бертрана, посвященных шарьяжам, считается многими геологами годом рождения новой мобилистской геологии.

Вскоре представления об обширных тектонических горизонтальных перемещениях на многие десятки и сотни километров чужеродных для данных территорий комплексов горных пород, иногда образующих пластины и чешуи, а иногда — системы опрокинутых и лежащих складок, были убедительно подтверждены как материалами крупномасштабных геологических съемок, так и данными, полученными при проходе туннелей под Альпами, в частности Симплонского туннеля. Выяснилось, что многопокровное шарьяжное строение имеют не только Альпы, но и возникшие одновременно с Альпами горные системы Северного Средиземноморья и Причерноморья — Апеннины, Динариды, Карпаты, Кавказ, а также высочайшие горные сооружения Азии и Америки — Гималаи, Каракорум, Гиндукуш, Кордильеры, Анды и гораздо более древние, сформировавшиеся сотни миллионов лет назад, складчатые системы Аппалачей в Северной Америке, Британских островов и Скандинавских гор в Европе.

В начале XX в. работами многих французских, швейцарских, австрийских, итальянских геологов и в особенности А. Гейма, М. Люжона, П. Термье, Э. Аргана было убедительно доказано, что значительная часть современных Альп сложена тектоническими покровами, осадочные толщи которых не имеют ничего общего с европейскими осадочными толщами соответствующего возраста, но чрезвычайно близки по составу и органическим остаткам к одновозрастным им толщам Северной Африки и Аравии. К этому же времени было установлено удивительное сходство остатков древних позднепалеозойских и мезозойских фаун и флор Южной Америки, Африки, Аравии, Индии, Австралии и даже Антарктиды, что дало основание австрийскому геологу Э. Зюссу в его знаменитом труде «Лик Земли» (1883—1909) рассмотреть все эти материковые блоки как части одного, существовавшего до середины мезозойской эры, гигантского материка, который Э. Зюсс назвал Гондваной (по имени древнего индийского племени гондов).

Более того, на всех материках Гондваны в верхнекаменноугольных и пермских отложениях были обнаружены следы мощного покровного оледенения, современное пространственное размещение которых можно было удовлетвори-

тельно объяснить, лишь допустив раскол и последующее расползание частей этого древнего праматерика.

В 1910 и 1913 гг. появились работы американского геолога Ф. Тейлора и немецкого метеоролога и гляциолога А. Вегенера, обосновывавшие идею пространственного перемещения континентов Земли по ее поверхности. А. Вегенер выдвинул представление о Пангее — едином праматерике, существовавшем в конце палеозойской эры, раскол которого привел к образованию современных континентов. Развивая представления Ф. Тейлора и А. Вегенера, швейцарский геолог Э. Арган в своем докладе «Тектоника Азии» на Брюссельской сессии Международного геологического конгресса в 1922 г., обобщив данные исследований геологов многих стран, показал, что горные сооружения Альпийско-Гималайского складчатого пояса Европы возникли в результате замыкания обширного древнего океана Тетис, наползания обломков Гондваны на Южную Европу и подтягивания других блоков Гондваны — Аравии и Индии — под Иран, Памир и Тибет. Э. Арган обосновал представление об активнейших движениях глубинных масс, создающих наиболее крупные и значительные структуры глубин земной коры — складки основания, отражением которых в приповерхностных толщах является гравитационная покровная складчатость.

К концу первой четверти нашего века многим геологам казалось, что мобилистское мировоззрение в геологии одержало полную победу. Почти всюду геологи начали выявлять шарьяжи, часто основываясь на непроверенных и ограниченных данных мелкомасштабного маршрутного геологического картирования, на внешнем сходстве геологических толщ и пластов без достаточного геологического обоснования. Это привело к большому числу ошибок и только скомпрометировало новые мобилистские представления о покровном строении складчатых поясов. Некоторые геологи, убедившись в неправильности составленных ими на мобилистической основе карт и схем, стали отрицать мобилизм и вернулись на самые крайние фиксистские позиции.

К этому времени геологам пришлось отказаться от представлений об огненно-жидких недрах Земли. Чрезвычайно важные данные о внутреннем глубинном строении Земли дала геологам новая наука — сейсмология, изучающая глубинные сейсмические толчки и скорости прохождения продольных (по ходу движения волны) и поперечных (поперек хода) сейсмических волн в глубинах Земли. Сейсмологические исследования позволили установить, что Земля покрыта внешней относительно маломощной корой (мощностью около 30—40 км, в горных регионах — до 60—70 км под континентами и всего 5—15 км под океанами); в коре скорости прохождения сейсмических волн, как продольных, так и поперечных, последовательно возрастают с глубиной, но не превышают 7—7,5 км/с. Кора отделяется от нижележащей мощной оболочки — мантии Земли — сейсмической границей, на которой резко увеличиваются скорости как продольных, так и поперечных сейсмических волн; эта граница названа по имени югославского сейсмолога А. Мохоровичича, открывшего ее в 1909 г. Мантия Земли, слагающая весь объем от глубины 10—60 до 2900 км от земной поверхности, характеризуется большими скоростями прохождения сейсмических волн, чем кора, и представляет собой не огненно-жидкую, а твердую оболочку, по химическому составу отличную от алюмосиликатной коры и имеющую магниезиально-силикатный состав. Поэтому кору Земли (как континентальную, так и океаническую) часто называют «сиаль» (Si—Al), а мантию Земли — «сима» (Si—Mg). На границе около 2900 км ниже поверхности Земли располагается наиболее резкая граница раздела и преломления сейсмических волн — граница между мантией и ядром Земли, открытая сейсмологом Б. Гутенбергом в 1914 г. Плотность вещества возрастает здесь почти в два раза, а скорость поперечных сейсмических волн скачкообразно падает до нуля. Это значит, что ядро является жидким. Позже было установлено, что внутренняя часть ядра с глубины 5120 км до центра Земли (6371 км) — так называемое ядрышко диаметром 2500 км — находится в твердом состоянии, хотя по составу оно, вероятно, близко к внешнему жидкому ядру и, как и последнее, состоит в основном из железа.

Первоначально казалось, что данные о мощном жестком панцире Земли — ее твердой коре и мантии — более согласуются с взглядами фиксистов,

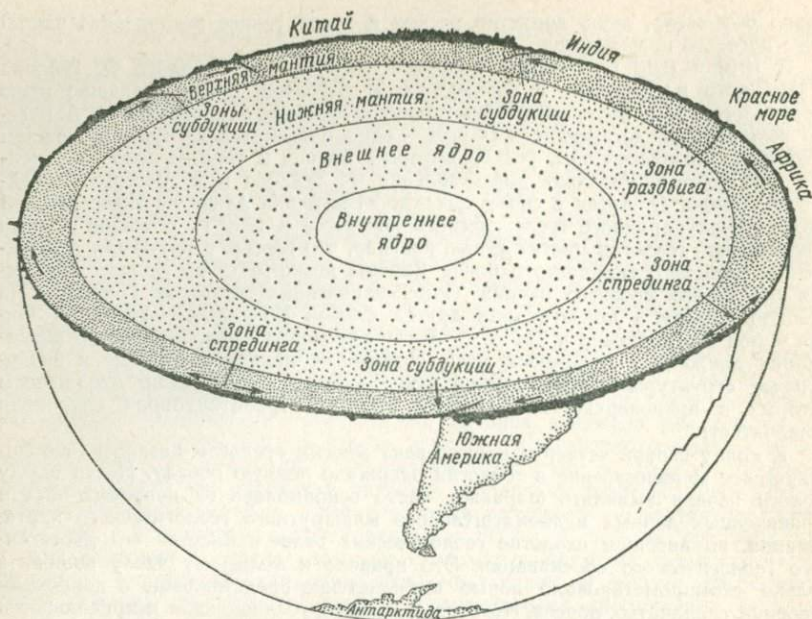


Рис. 12. Внутреннее строение Земли по сейсмологическим данным. Мощности коры, литосферы и астеносферы преувеличены.

чем с мобилистскими представлениями. Известный английский геофизик Х. Джефрис считал сейсмологические данные главным аргументом, доказывающим нереальность вегенеровской теории движения материков.

Однако уже в начале 1930-х гг. Б. Гутенберг установил существование внутри мантии Земли на глубине около 100—300 км под континентами и 50—150 км под океанами слоя, в котором скорости сейсмических колебаний, как продольных, так и поперечных, слегка понижались; это свидетельствовало о частичном плавлении внутри выявленного слоя вещества мантии и способности образующейся смеси твердого тугоплавкого остатка и расплава к пластическому течению. Этот слой Б. Гутенберг назвал астеносферой; а за вышележащей более жесткой массой земной коры и верхов верхней мантии закрепилось название «литосфера», т. е. «каменная сфера», каменная внешняя оболочка Земли (рис. 12).

Сейсмологические данные показали, что литосфера Земли не представляет единого, во всех своих частях одинаково жесткого панциря. Она разделена на плиты и блоки, границы которых достаточно четко вырисовываются на схемах распространения проекций очагов землетрясений на поверхность Земли — на картах эпицентров землетрясений (рис. 13).

В океанах сейсмические границы между литосферными плитами обычно соответствуют осевым зонам протяженной системы закартированных к середине XX в. срединно-океанических хребтов, их разломам и системам глубоководных желобов и островных дуг. На континентах сейсмические границы приурочены к окраинно-континентальным хребтам (таким, как Кордильеры или Анды), внутриконтинентальным горным сооружениям (Гималаи, Памир) и внутренним морям (Средиземное море). Во многих случаях высокая сейсмическая активность этих областей совпадает с высокой вулканической и тектонической активностью.

Сейсмоактивные зоны под срединно-океаническими хребтами всегда являются зонами растяжения, прослеживаются в глубь Земли не более чем на

50—70 км от ее поверхности и ориентированы перпендикулярно к поверхности Земли. Сейсмоактивные зоны глубоководных желобов и островных дуг, а также окраин континентов являются зонами сжатия; они обычно полого или круто наклонены к земной поверхности и прослеживаются на значительно большие глубины (до 300—400, а иногда даже до 600—700 км).

В начале 1960-х гг. были опубликованы статьи Г. Хесса и Р. Дитца, в которых впервые была четко сформулирована и объяснена сущность главных геодинамических процессов, действующих в верхней оболочке нашей планеты: процесса спрединга — формирования и разрастания океанической коры Земли в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов и процесса субдукции — поглощения океанической коры в зонах глубоководных желобов. Литосферные плиты, вся литосфера Земли предстали перед геологами как огромные перемещающиеся ленты конвейера, поднимающиеся из мантии в зонах срединно-океанических хребтов и погружающиеся обратно в мантию в зонах глубоководных желобов. Континенты Земли впаиваны в ползущие плиты океанической коры и перемещаются вместе с ними. Океаническая кора — продукт первичной дифференциации мантии; она недолговечна и является лишь полуфабрикатом, за счет переработки которого в зонах ее поглощения — зонах субдукции — рождается глубоко дифференцированное вещество континентальной коры.

Из концепции Г. Хесса и Р. Дитца следует, что каждый складчатый пояс континента — это рубец на месте замкнувшегося океана геологического прошлого и что вся история Земли (во всяком случае, за последние два — три миллиарда лет) — это история раскрытия и закрытия очередных поколений океанов и формирования в процессе их замыкания новых порций континентальной коры.

Г. Хесс пришел к концепции разрастания океанической коры и ее позднейшего поглощения далеко не случайно. В течение нескольких десятилетий он изучал так называемые офиолитовые ассоциации горных пород континентов. Термин «офиолиты» в современном понимании вошел в геологию после появления работ Г. Штейнмана, и в особенности после опубликования его фундаментального доклада «Офиолитовые зоны в Средиземноморских горных цепях», сделанного им в Мадриде на XIV сессии Международного геологического конгресса в 1926 г. Так названа ассоциация горных пород, встречающаяся почти в каждом складчатом поясе и характеризующаяся своим закономерно повторяющимся разрезом. В эту ассоциацию пород входит серпентинитовый меланж, иначе говоря, тектонически окатанные блоки горных пород в серпентинитовой основной массе, захваченные и перемещенные этой массой в процессе ее пластического движения: комплекс чередующихся слоев чисто оливиновых ультраосновных пород, габбро, амфиболитов, параллельно-полосчатых даек диабазов, шаровых базальтовых лав и глубоководных кремнистых осадков. Удивительное сходство разрезов офиолитовых комплексов, изучавшихся Г. Хессом в различных регионах, привело его к мысли, что все выходы офиолитовых ассоциаций в разрезах складчатых областей — это блоки океанической коры и верхней мантии, маркирующие швы замкнувшихся океанов прошедших геологических эпох. Этот вывод Г. Хесса, опубликованный им в 1964 г., был, возможно, не менее важным, чем введенные им в геологию представления о разрастании океанического дна и поглощении (субдукции) океанической коры.

Представление об офиолитовых ассоциациях пород складчатых поясов Земли как о пластинах и блоках океанической коры и литосферы геологического прошлого, зажатых в складчатых поясах между толщами пород, которые сформировались в краевых частях древних континентов в процессе замыкания некогда существовавших океанов, разделявших эти континенты, получило дальнейшее развитие в трудах советских геологов — академика А. В. Пейве, А. Л. Книппера, С. В. Руженцева, А. С. Перфильева, Н. А. Богданова; английских геологов Дж. Дьюи и Дж. Бёрда; итальянских геологов П. Пассерини, В. Бортолотти, Д. Джанелли; американцев Р. Колмана, Э. Бейли, К. Блейка и других исследователей. Зоны развития офиолитов стали рассматриваться в качестве границ формаций различных континентов и

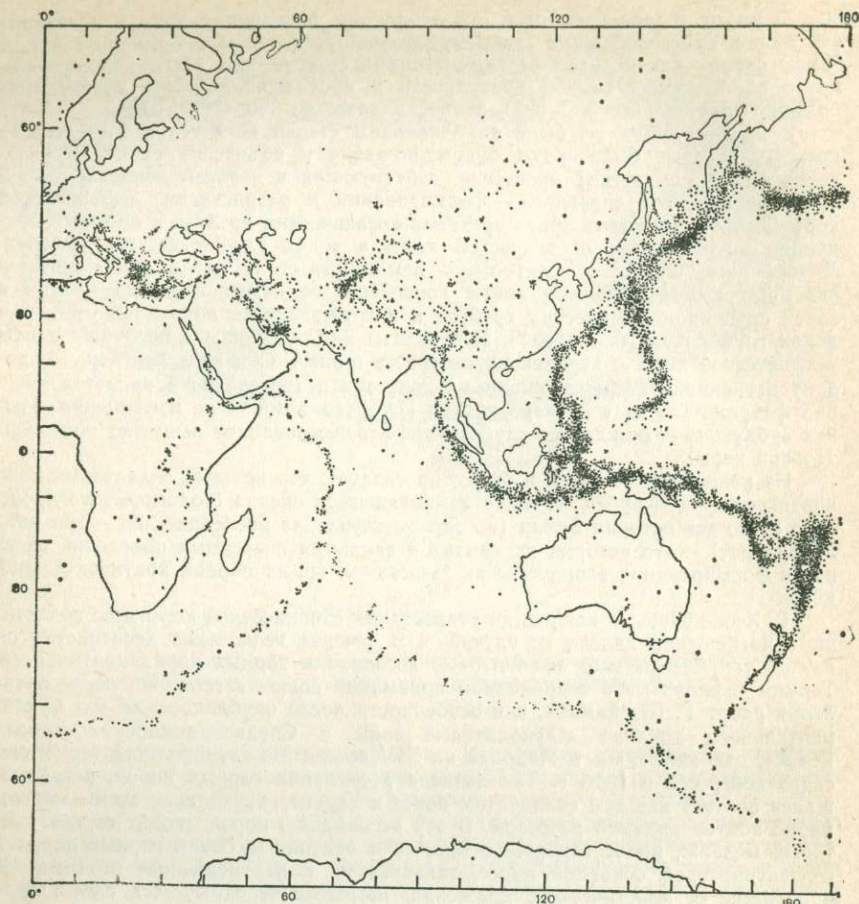
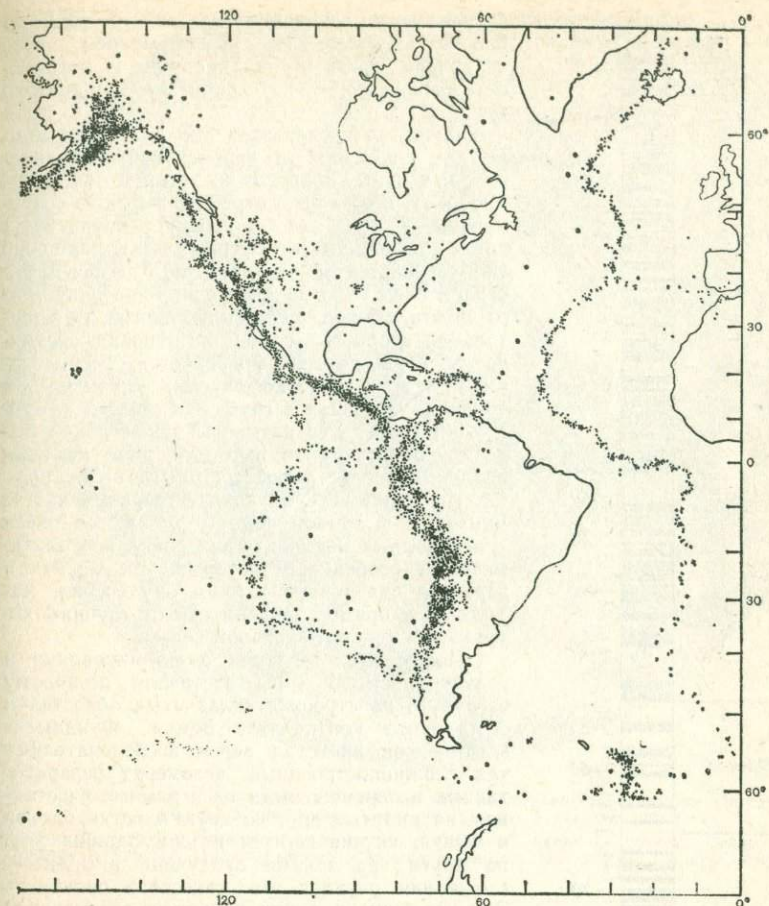


Рис. 13. Размещение эпицентров землетрясений с глубиной очагов

островных дуг, скученных и соединенных в составе складчатых поясов в процессе замыкания океанов геологического прошлого.

Гипотеза Г. Хесса и Р. Дитца нашла неожиданно быстрое и блестящее подтверждение в результате изучения магнитного поля океанов Земли. К моменту публикации работы Г. Хесса благодаря исследованию остаточной намагниченности горных пород различного возраста французским геофизиком Б. Брюнесом, японцем М. Матуймой, американцами А. Коксом, Р. Доуэлом и Б. Далримплом, австралийцами Д. Тарлингом, Ф. Чеймлоном и И. Мак-Дугаллом было выяснено, что в истории Земли многократно происходили инверсии ее магнитного поля, и эпохи прямого, аналогичного современному магнитного поля чередовались с эпохами, во время которых магнитное поле Земли имело обратную современной ориентировку. К концу 1960-х гг. была составлена единая магнитостратиграфическая шкала инверсий магнитного поля для всей кайнозойской эры и конца мезозойской эры (рис. 14). К этому же времени с помощью точных магнитометров было изучено магнитное поле многих океанических регионов Земли и установлена его полосчатая природа и зеркальная симметрия в размещении полос по обе стороны от рифтовых зон



0—700 км за 1961—1967 гг. (по М. Барзанги и Дж. Дорману).

(зон растяжения) срединно-океанических хребтов (рис. 15). В 1963 г. английские геофизики Ф. Вайн и Д. Мэтьюз и одновременно с ними и независимо от них канадский геофизик Л. Морли объяснили наблюдаемую полосчатость магнитного поля океанов последовательным наращиванием в процессе спрединга все новых порций океанической коры, на которые, как на магнитофонную ленту, записывается история инверсий геомагнитного поля Земли. Это позволило уже к 1968 г. составить детальную карту возраста донных осадков и подстилающих их базальтов и габброидов океанической коры большей части современных океанов.

В том же 1968 г. на воду было спущено исследовательское судно «Гломар Челленджер», построенное специально для глубоководного бурения дна океанов и выполняющее работы по Международному проекту глубоководного бурения. За прошедшие годы «Гломаром Челленджером» в разных участках дна Мирового океана было пробурено несколько сотен скважин, изучение кернов которых блистательно подтвердило прогнозы, выполненные на основе анализа полосовых магнитных аномалий океанического дна. Проверка проводилась тремя независимыми методами: определением абсолютного возраста

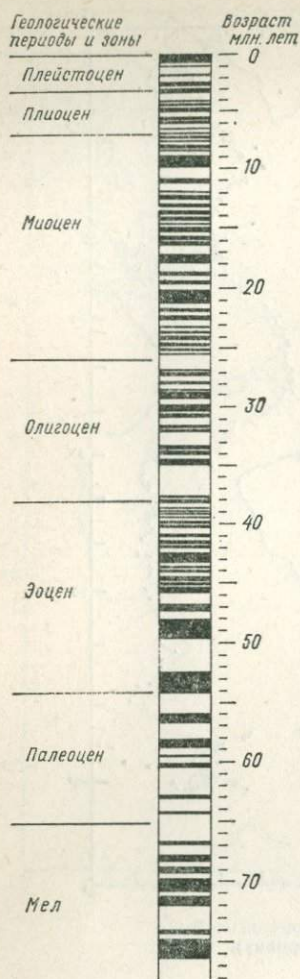


Рис. 14. Хронология инверсий магнитного поля Земли для последних 76 млн. лет (магнитностратиграфическая шкала) (по А. Коксу, Дж. Далримпу и Р. Доэлю, 1977).

базальтов в основании осадочного разреза; биостратиграфическим исследованием всей осадочной части керна скважины и магнитостратиграфическим изучением всего поднятого керна.

Развитие представлений о литосфере Земли как совокупности перемещающихся литосферных плит привело во второй половине 1960-х гг. к созданию стройной картины современной кинематики движений крупнейших плит — тектоники литосферных плит, или новой глобальной тектоники (рис. 16). Каждая плита ограничена с тыла зоной срединно-океанического хребта, с боков — системой сдвигов, а с фронтальной стороны — зоной поглощения океанической коры, которая фиксируется сейсмологами как зона глубокофокусных сейсмических толчков, уходящая в глубь мантии, — зона субдукции (иногда ее называют также зоной Вадати — Беньоффа по имени впервые исследовавших строение подобных зон геофизиков).

Над зонами субдукции в верхних частях мантии и в земной коре формируются очаги гранитоидных магматических расплавов, геохимические особенности которых, так же как и характер связанного с ними оруденения, находятся в прямой зависимости от глубины погружения сейсмофокальной зоны.

Новые представления о формировании и развитии земной коры заставили по-новому взглянуть на строение складчатых областей и фундамента континентов Земли. Фундамент континентов предстал перед исследователями как сложнопостроенный агломерат переработанных и перемещенных на огромные расстояния, надвинутых друг на друга пластин, блоков и чешуй, скучивавшихся и напользавших друг на друга над зонами субдукции в процессе замыкания океанов геологического прошлого. Эти пластины и блоки прорваны застывшими магматическими расплавами — «глубинными пузырями» вещества, поднимавшегося из зон субдукции (рис. 17). Складчатый фундамент состоит из разновозрастных складчатых поясов, которые чаще всего представляют собой полосы новообразованной континентальной коры, сформировавшейся за счет скучивания тектонических покровов (рис. 18, 19).

Восстановление истории развития складчатых областей показывает, что над зонами субдукции геологического прошлого протекали процессы не только сжатия, но и растяжения, расширения, разрыва земной коры, связанные с подъемом снизу нагнетаемого в глубину вещества, приводившие к формированию систем окраинных и средиземных морей с корой океанического типа и островных дуг, оторванных и отброшенных от континента. При этом сначала на краю континента над зоной субдукции формировалась зона растяжения — рифт; затем происходил разрыв континентальной коры, и краевая полоса континента превращалась в островную дугу, отделяясь от континента окраинным морем типа Японского, Охотского или Карибского.

В настоящее время геологи могут достаточно полно изучить геологическую историю таких складчатых областей, как Альпийско-Гималайский пояс, воз-



Рис. 4. Глобальный космический снимок Земли с автоматической станции «Зонд-7», сделанный с расстояния около 70 тыс. км 8 августа 1969 г.

В нижней части снимка видна территория Северной Африки, Аравии, Средней Азии, Тибета и Тарима. Индия (на юге), Европа и Сибирь (на севере) скрыты облаками.



Рис. 5. Региональный космический снимок Приаралья, Кызылкума, Заунгузских Каракумов и западных отрогов Тянь-Шаня, полученный со спутника «Метеор-30» 19 августа 1980 г. в красной и ближней инфракрасной частях спектра (0,7—1,1 мкм).

В центральной части снимка прослеживаются концентрические структуры песков Кызылкум, где на поверхность выходят осадочные и кристаллические породы фундамента.

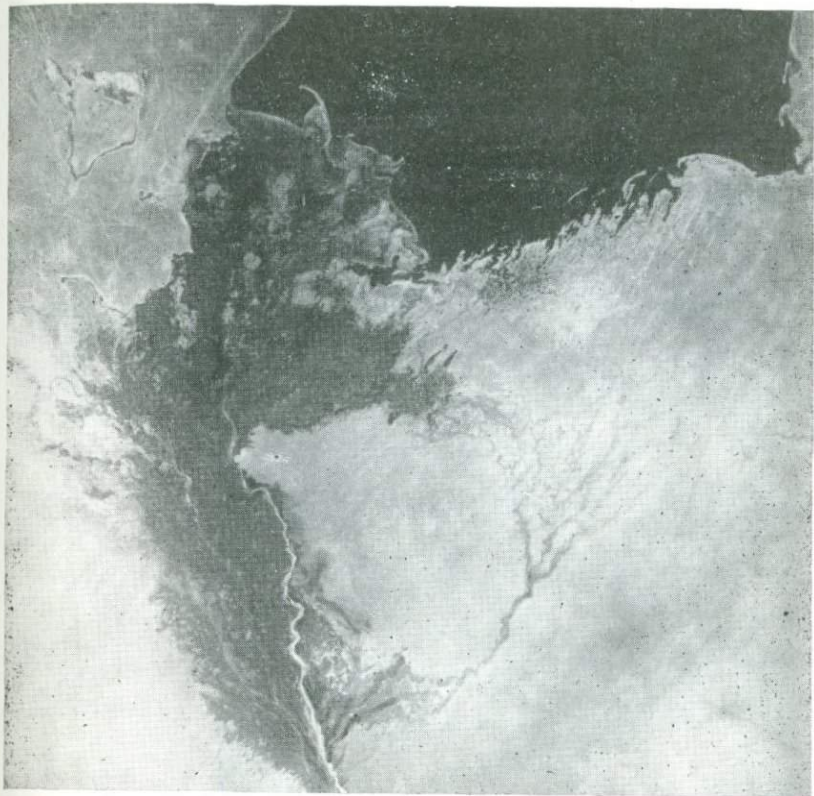


Рис. 6. Локальный космический снимок территории Юго-Восточного Приаралья, полученный при фотографировании поверхности Земли с пилотируемой орбитальной станции «Салют-4».

В верхней части снимка — Аральское море, современная дельта Амударьи и полуостров Муйнак; ниже — древняя дельта Амударьи и хребет Султан-Увайс (Султануиздаг); правее — высохшая Акчадарьинская дельта Амударьи и староречья Сырдарьи в песках Кызылкум.



**Рис. 7. Циклоны и ураганы на космических снимках Земли.**

**а** — циклон над северо-западной частью Тихого океана восточнее Курильских островов. Телевизионный снимок со спутника «Метеор-10», полученный 9 января 1973 г. В верхней части снимка — полуостров Камчатка. Как и все циклоны Северного полушария Земли, циклон закручен против часовой стрелки.

**б** — ураган «Глэдис» над Мексиканским заливом к западу от Флориды. Снимок получен 17 октября 1968 г. космонавтом У. Ширрой с борта пилотируемого космического корабля «Аполлон-7»

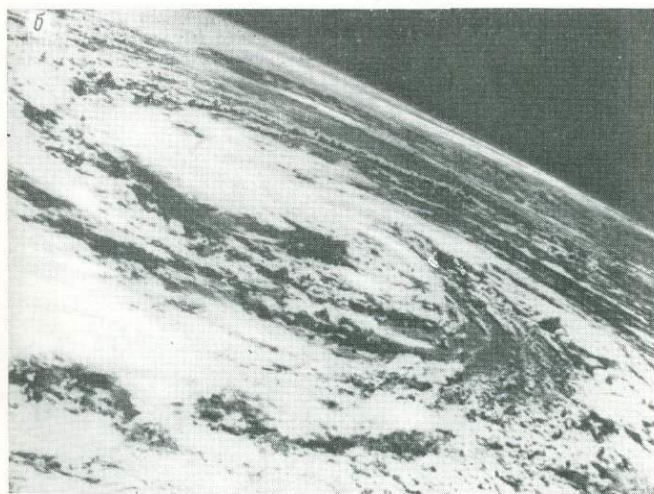




Рис. 8. Глобальный снимок Земли с автоматической межпланетной станции «Зонд-5», сделанный с расстояния около 90 тыс. км 21 сентября 1968 г., почти в день равноденствия. Видна поверхность Земли от  $55^{\circ}$  з. д. до  $55^{\circ}$  в. д. Хорошо просматривается система циркуляции земной атмосферы. Зона пониженных давлений вблизи экватора с характерной рваной облачностью с севера ограничена тропической засушливой областью конских широт, безоблачной над Северной Африкой и Аравией. Севернее и южнее  $40$ -х параллелей прослеживаются циклональные вихри, движущиеся с запада на восток, особенно четкие в Северном полушарии.



Рис. 9. Зимний муссон над северо-западной частью Тихого океана и Курильскими островами. Снимок со спутника «Метеор-25», полученный 15 февраля 1978 г. и выполненный в ближней инфракрасной части спектра (0,8—1,0 мкм).

Холодный воздух при движении от ледового покрова Охотского моря на юго-восток через Курильскую гряду согревается, влагонасыщается, поднимается и образует конвективные струи облаков с характерной струйной раздвиговой полосчатостью. Южнее разогревающиеся массы воздуха поворачивают на восток, в сторону Тихого океана.



Рис. 10. Космический снимок западного побережья Африки в районе Гвинейского залива, сделанный с космического корабля «Аполлон-6» в апреле 1968 г.

Интенсивный дневной бриз отгоняет облачность от берега в глубь материка на расстояние до 40—50 км. Воздух, поступающий на материк, возмещает конвекционное воздушное течение, формирующее гряды облаков над океаном, которая ориентирована вдоль береговой линии. Расположенные значительно выше полупрозрачные перистые облака не участвуют в этих движениях воздушных масс и имеют иную ориентировку.



Рис. 11. Снимок Земли со стационарного метеорологического спутника «Метеосат» с высоты около 35 тыс. км, сделанный в полдень 15 мая 1979 г.

Циклоны как в Северном, так и в Южном полушарии движутся над Северной и Южной Атлантикой, большая часть территории Южной Европы и Африки свободна от облачности. Хорошо видны разрывы и линейные элементы Северной Африки, пересекающиеся в районе нагорья Тассилин-Аджер, плато Тадемаит и нагорья Тибести. На востоке и юго-востоке Африканского материка прослеживается система Великих африканских рифтов — раздвиг, раскалывающих континент. Эта система через заполненный молодыми базальтовыми излияниями раздвиговый треугольник Афар в Эфиопии соединяется с раздвигами Красного моря и Аденского залива, оторвавшими Аравийский полуостров от Африки.

Рис. 23. Космический снимок северо-западной части Охотского моря, полученный со спутника «Метеор-30» 9 апреля 1982 г. в оранжево-красной части спектра (0,6—0,7 мкм).

Хорошо прослеживается динамика движений ледовых масс, увлекаемых подледными течениями, зоны раздвига, смещений и сжатия льда.

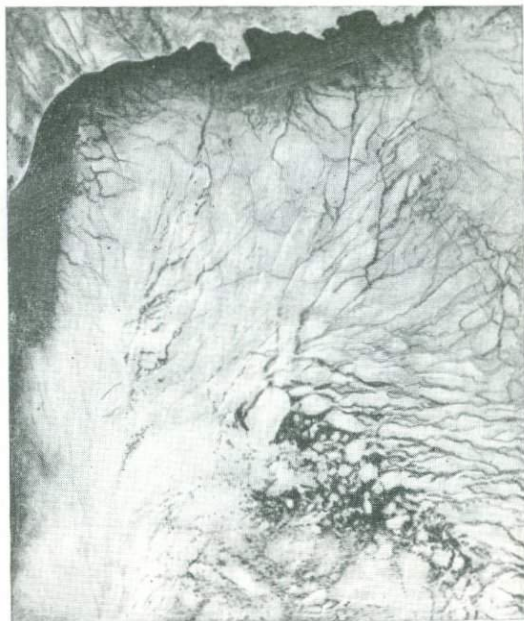


Рис. 24. Пассивная континентальная окраина. Побережье штата Техас, США, вблизи г. Галвестон. Космический снимок получен с пилотируемого космического корабля «Аполлон-9» в марте 1969 г.

Правее выровненной береговой линии можно видеть направление движения мутьевых потоков, которые перемещают осадки с континентального шельфа в Мексиканский залив.

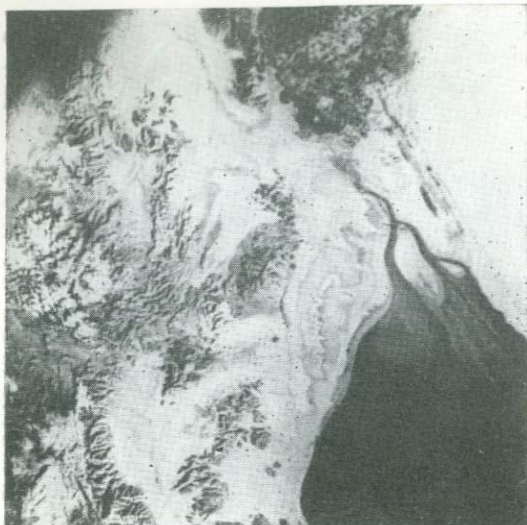


Рис. 25. Активная континентальная окраина. Снимок получен с пилотируемого космического корабля «Аполлон-9» в марте 1969 г.

Калифорнийский залив в районе дельты р. Колорадо. Темный участок в водах залива — центр антициклонической циркуляции вод залива, движение которых отражается на ломаном расположении линейных гряд перыстых облаков над заливом.

Рис. 26. Активная область современного орогенеза. Гибралтарский пролив между Марокко и Испанией на космическом снимке с пилотируемого космического корабля «Аполлон-9», март 1969 г.

Африка слева, Европа справа. Видна взаимосвязь систем горных хребтов Марокко (Эр-Риф) и Андалузии (Кордильера - Пенибетика). Как над Средиземным морем, так и над Атлантическим океаном прослеживаются ломаные линейные формы облаков, возможно отражающие тепловую неоднородность водной поверхности.





Рис. 29. Вулканы Земли на космических снимках.

**а** — трещинные вулканические излияния в районе треугольника Афар в Северо-Восточной Африке вблизи зоны сочленения Красного моря с Аденским заливом. Снимок с пилотируемого космического корабля «Аполлон-9», март 1969 г. Темные хребты, сложенные базальтами плейстоценового и голоценового возраста, разделяются белесыми полосами солончаков и соленых озер, формирующихся в результате продолжающихся раздвиговых движений.

**б** — щитовой вулкан Эми-Куси в горах Тибести (Центральная Сахара). Типичный пример щитового вулкана над «горячей точкой», напоминающего по форме щитовые вулканы Марса и особенно крупнейший из них — Никс Олимпика.



Продолжение рис. 29.

6 — вулканы Серро-ла-Маличе (в центре снимка), Чиколоапан, Инктасикуатль и Попокатепетль (справа внизу) вблизи столицы Мексики г. Мехико. Типичные стратовулканы, имеющие от 4 до 5 км в высоту и до 40—50 км в поперечнике. Снимки с пилотируемого космического корабля «Аполлон-9», март 1969 г.

2 — вулканы южной части полуострова Камчатка. В верхней части снимка — Ключевская группа вулканов, расположенная в центральной части Восточно-Камчатского грабена. Снимок сделан с космического корабля «Салют-6». Камчатка, почти целиком сложенная продуктами вулканической деятельности, представляет собой пример современного формирования континентальной коры над активной зоной субдукции.



Рис. 30. Космический снимок Армянского нагорья, полученный с «Союза-12» 23 сентября 1973 г.

Четко прослеживается субширотный разрыв, проходящий вблизи северного берега озера Севан и отделяющий северную часть заснятой площади (территорию Памбакского и Шахдагского хребтов) от южной (Армянского вулканического нагорья).



Рис. 33. Большой Кавказский хребет на космическом снимке, полученном со спутника «Метеор-25».

Здесь, как и на других снимках Кавказа, отчетливо видна моновергентная структура Большого Кавказского хребта, сформированная в результате поддвижения тектонических пластин южного склона хребта под его северный склон.

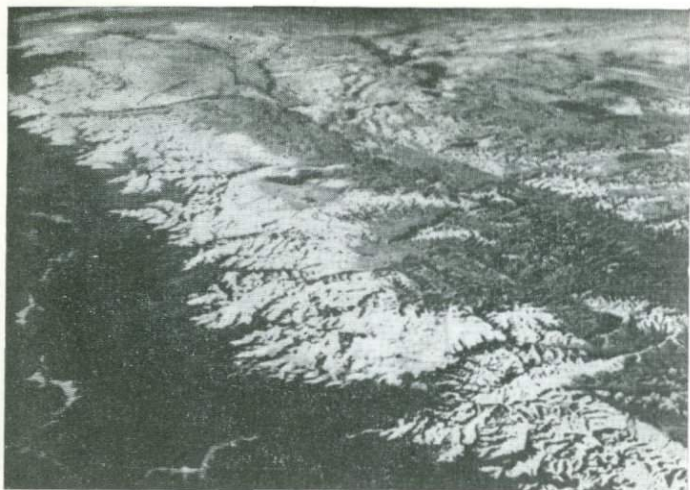


Рис. 34. Высочайший хребт Земли — Гималаи, возникший в результате подтягивания Индии под Тибет и сдвигания мощности легкой алюмосиликатной континентальной коры. Снимок, полученный с пилотируемого космического корабля «Аполлон-7» в октябре 1968 г.

В правой части снимка видно плоскогорье Тибет, в левой нижней — Индию и долину Ганга. Самая высокая вершина Гималаев — Эверест — располагается в центральной части снимка, немного правее и ниже S-образно изогнутого озера.

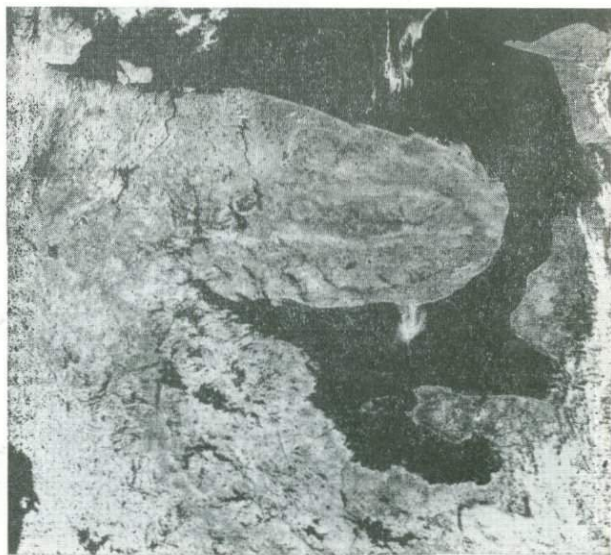


Рис. 35. Космический снимок Кольского полуострова, выполненный со спутника «Метеор-30» 16 августа 1980 г. в видимой красной части спектра.

В центральной части полуострова четко прослеживаются концентрические массивы апатитовых пород Хибинских гор и широтно ориентированная цепочка овально-концентри-

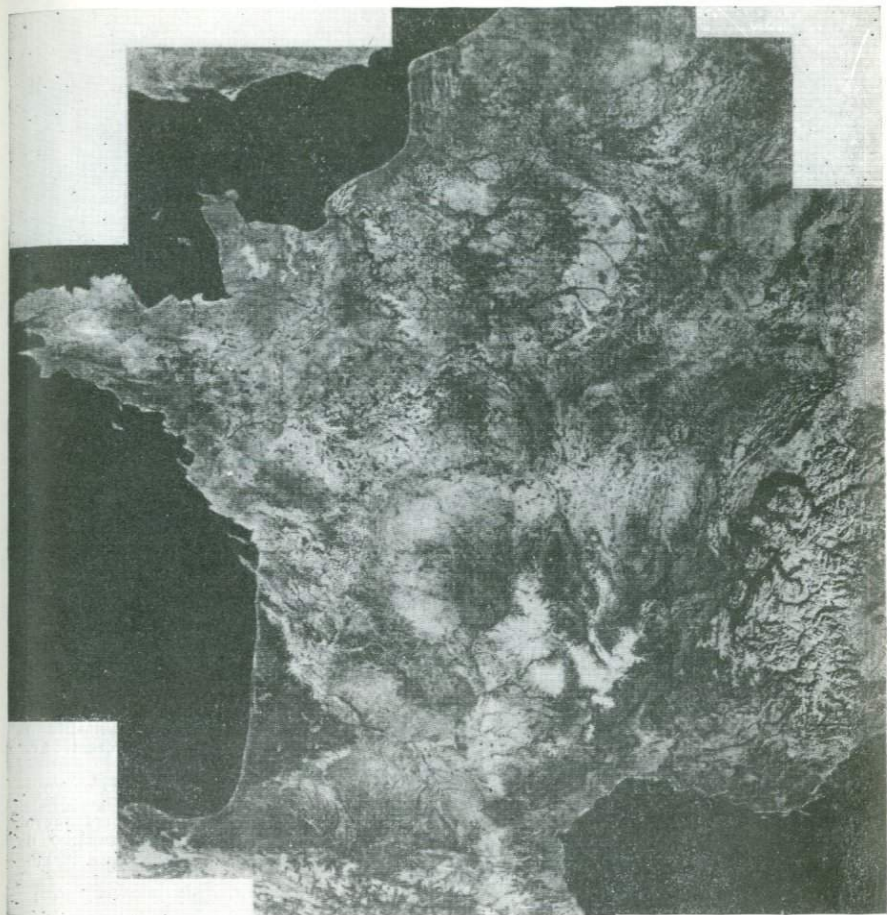


Рис. 36. Космофотокарта Франции, составленная из космических снимков со спутника «Ландсат-1», снятых в оранжево-красной части спектра (0,6–0,7 мкм).

Хорошо видна овально-концентрическая структура Парижского бассейна — пологого прогиба фундамента северо-западной Европы, заполненного палеозойскими осадочными толщами. Южнее виден овал Центрального Французского массива — сводового поднятия, продолжающего медленно подниматься в настоящее время. Треугольный опущенный блок на юго-западе страны, выделяющийся темной окраской, обводненный и покрытый растительностью, продолжает вглубь материка раздвиговую структуру Бискайского залива, образовавшуюся в результате поворота Пиренейского полуострова против часовой стрелки.

ческих массивов щелочных гранитов — возможный след проплавления континентальной литосферы Балтийского щита при ее прохождении над «горячей точкой» (восходящей струей дифференциатов мантийного вещества в геологическом прошлом).

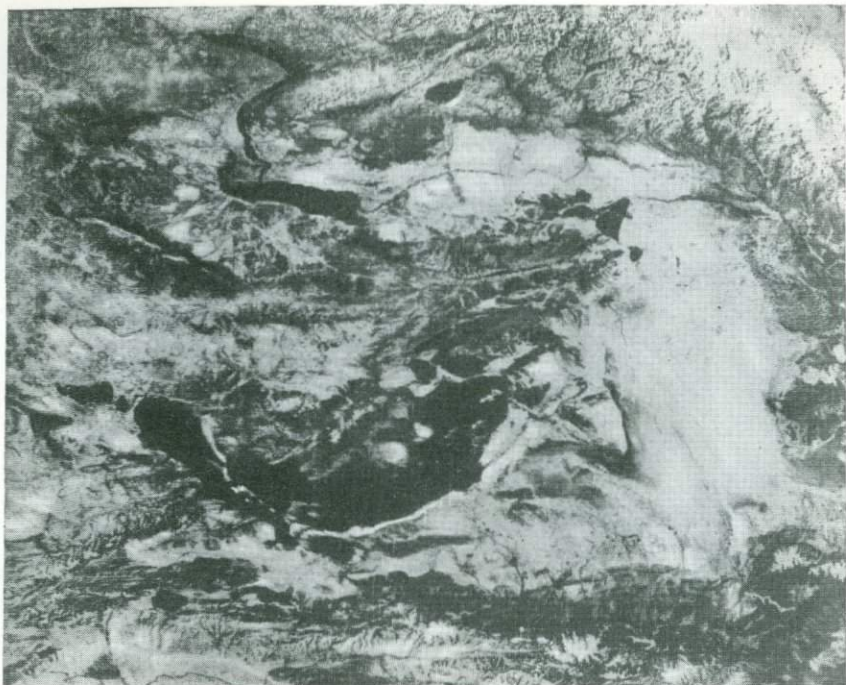


Рис. 37. Космический снимок территории Восточного Казахстана, Джунгарии, Тянь-Шаня и северной части Таримской плиты, полученный со спутника «Метеор-30» 27 августа 1980 г. в красной и ближней инфракрасной части спектра (0,7—1,1 мкм).

В правой верхней части снимка отчетливо выделяется обширное подковообразно изогнутое белесое пятно, конфигурация которого отражает последовательные этапы существования обширного Джунгарского озера-моря в неогене и плейстоцене. Большая часть его территории занята в настоящее время необитаемой песчаной пустыней (она-то и видна на снимке). Остатками Джунгарского моря являются озера Зайсан, Улюнгур, Бога-Нур и др.

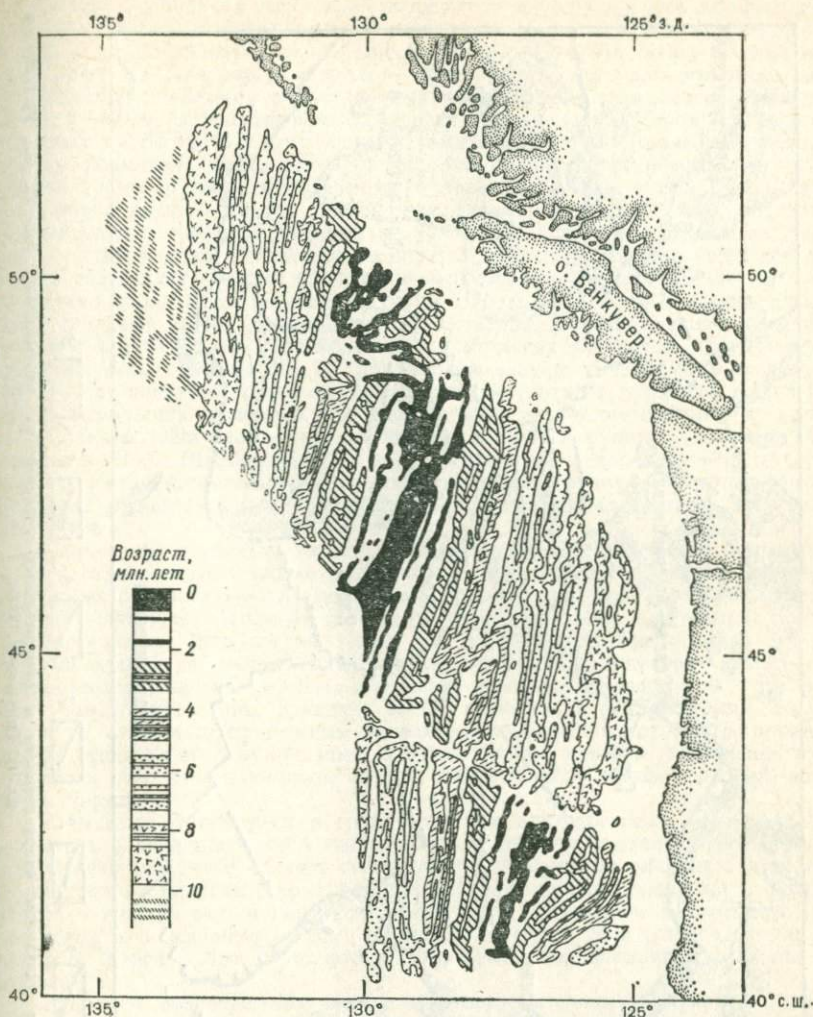


Рис. 15. Схема аномалий полного магнитного поля северо-восточной части Тихого океана вблизи западного побережья Канады и США, юго-западное острова Ванкувер (по Ф. Вайну, 1966).

никший около 40 млн. лет назад при замыкании океана Тетис, или Урало-Монгольский пояс, сформировавшийся в конце палеозойской эры в результате замыкания обширного Борейского (Урало-Монгольского) океана. Последовательные этапы тектонических движений, которые привели к накоплению слагающих эти области геологических формаций, а затем к формированию их современной структуры, значительно более сложны, чем простое раскрытие и последующее замыкание океанических бассейнов. В истории тектоно-магматических циклов, приводящих к образованию линейных горных систем и мозаичных горных стран типа Центрального Казахстана или Ирана, можно выделить ряд последовательных этапов, схематически представленных на рис. 17.

Что приводит в движение литосферные плиты? Какие силы управляют формированием океанической и континентальной земной коры и определяют

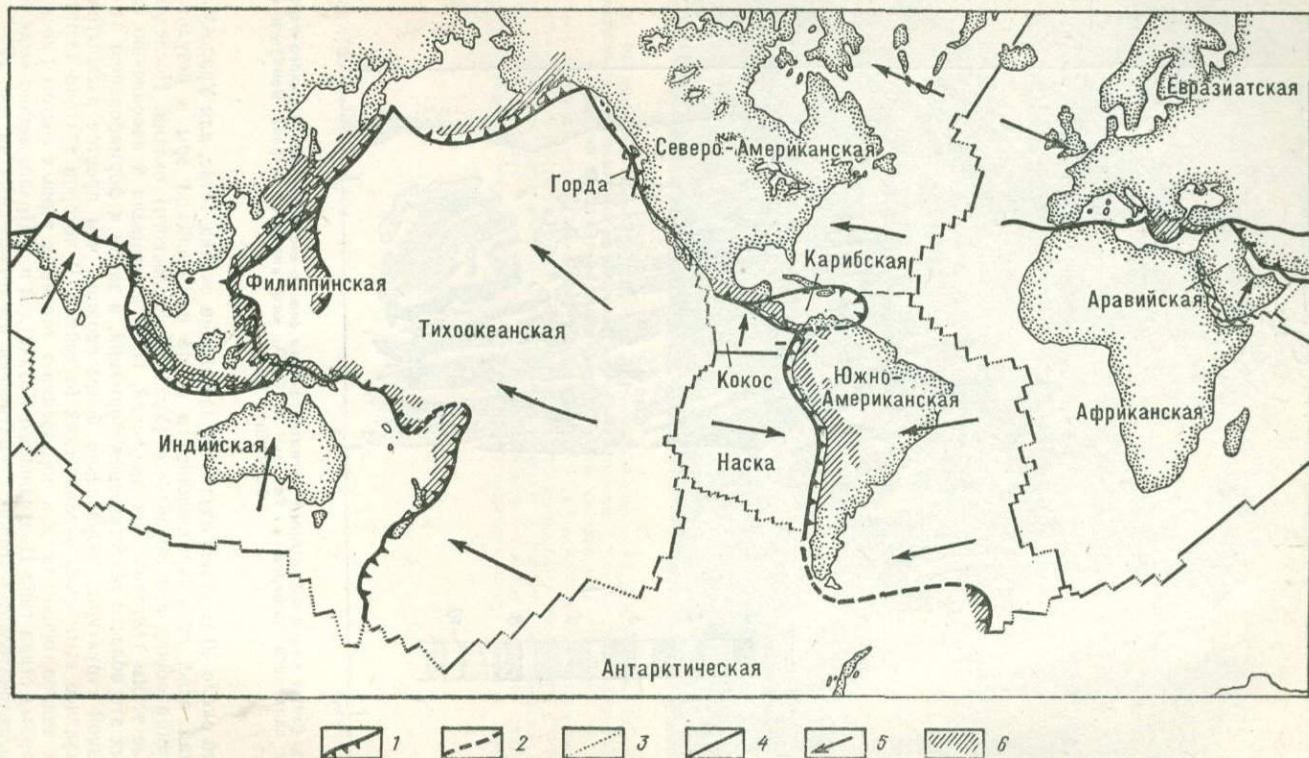


Рис. 16. Карта литосферных плит с указанием направленности и относительных скоростей их перемещения (по С. А. Ушакову и Ю. И. Галущкину, 1979).  
 1—2 — зоны субдукции; 3 — трансформные (поперечные) разломы; 4 — оси срединно-океанических хребтов; 5 — направления движений плит;  
 6 — области глубокофокусных землетрясений.

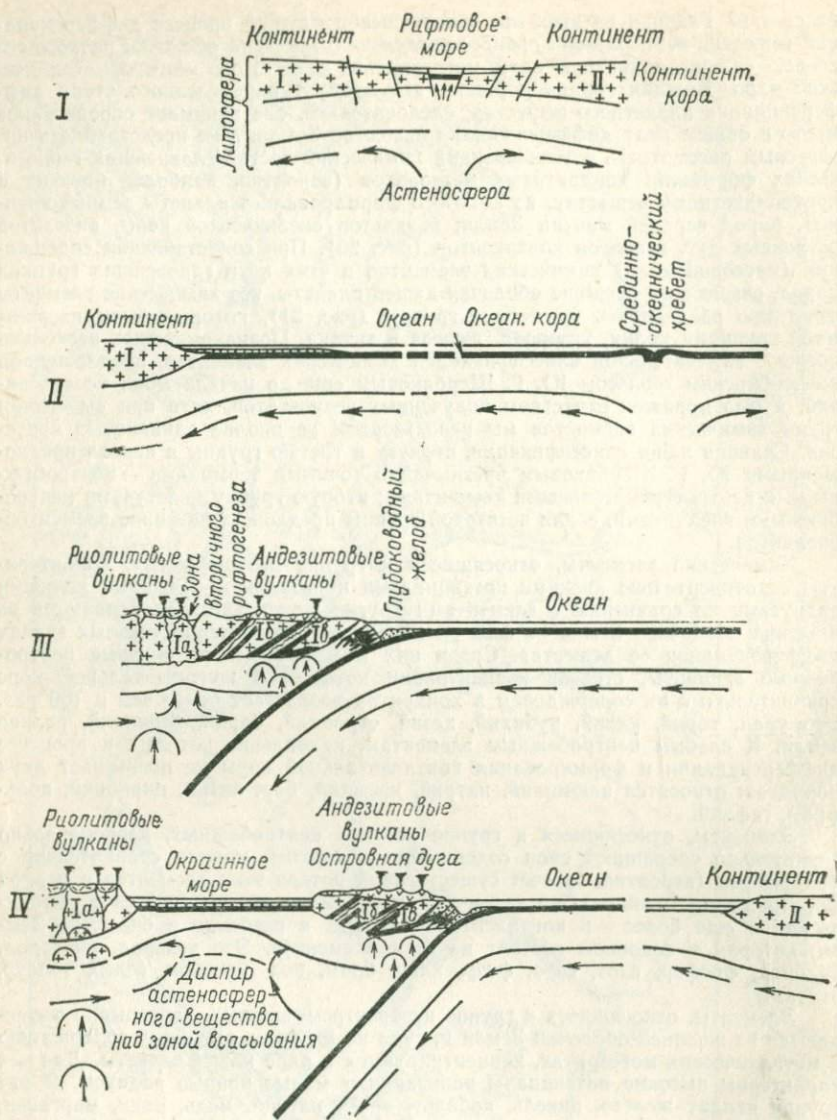
их состав? Главная из этих сил — непрерывно идущий процесс дифференциации вещества земных недр, процесс разделения Земли на оболочки разного состава, — алюмосиликатную кору, магнезиально-силикатную мантию, металлическое ядро. Каждая горная порода — это продукт определенного этапа дифференциации планетного вещества; следовательно, она занимает определенное место в общем ряду дифференциации вещества Земли. Мне представилось интересным рассмотреть с этих позиций химический состав главнейших геологических формаций: хондритовых метеоритов (вероятно, наиболее близких к протопланетному веществу, из которого формировались планеты земной группы), пород верхней мантии Земли, базальтов океанической коры, андезитов островных дуг, гранитов континентов (рис. 20). При сопоставлении содержания (массовой доли) химических элементов в этих пяти главнейших группах пород, слагающих внешние оболочки нашей планеты, все химические элементы отчетливо разделились на четыре группы (рис. 21), которые были названы мной группами калия, углерода, железа и титана. Познакомившись несколько позже с замечательной классификацией химических элементов, предложенной новосибирским геологом Ю. Г. Щербаковым еще до начала моих исследований, я был поражен сходством полученных результатов, хотя при выделении групп химических элементов мы использовали не вполне одинаковые критерии. Сравнив наши классификации, первую и третью группы я назвал предложенными Ю. Г. Щербаковым чрезвычайно точными терминами — центробежными и центростремительными элементами; вторую группу — летучими центробежными элементами, а для четвертой группы предложил название элементов-океанитов.

Химические элементы, относящиеся к группе центробежных, характеризуются относительно низкими потенциалами ионизации и большими ионными радиусами по сравнению с элементами других групп. Они накапливаются во внешних оболочках Земли на всех рассматриваемых последовательных этапах дифференциации ее вещества. Среди них можно выделить сильные центробежные элементы, степень концентрации которых в континентальной коре сравнительно с их содержанием в хондритах возрастает более чем в 100 раз. Это уран, торий, калий, рубидий, цезий, стронций, барий, бериллий, редкие земли. К слабым центробежным элементам, накопление которых в процессе дифференциации и формирования континентальной коры не превышает двух порядков, относятся алюминий, натрий, кремний, бор, литий, цирконий, вольфрам, гафний.

Элементы, относящиеся к группе летучих центробежных, первоначально значительно сокращают свои содержания в верхней мантии сравнительно с хондритами (вероятно, за счет существенной потери этих элементов в период формирования планеты), но затем они непрерывно накапливаются в океанической и еще более — в континентальной коре, а особенно в биосфере Земли, которая в основном состоит из этих элементов. Это углерод, кислород, водород, фосфор, азот, сера, фтор, хлор, бром, иод, мышьяк, селен, теллур, ртуть.

Элементы, относящиеся к группе центростремительных, непрерывно вытесняются из внешней оболочки Земли и, судя по их очень высокому содержанию в металлических метеоритах, концентрируются в ядре нашей планеты. Для них характерны высокие потенциалы ионизации и малые ионные радиусы. В эту группу входит железо, никель, кобальт, хром, магний, медь, цинк, марганец, золото, серебро, платина, осмий, иридий, рений, рутений, палладий. Наиболее сильные центростремительные элементы, сокращающие свои содержания в континентальной коре сравнительно с хондритами более чем в 500 раз, — это никель, платина, хром; наиболее слабые центростремительные элементы — медь, цинк, марганец.

Лишь четыре элемента, которые можно назвать элементами-океанитами, ведут себя неоднаправленно на последовательных этапах дифференциации вещества нашей планеты, накапливаясь максимально в океанической коре, а затем резко сокращая свои содержания в континентальной коре. Это кальций, титан, ванадий и скандий. По содержанию в породах комплекса этих элементов, особенно титана, ванадия и скандия, можно почти безошибочно определять формации океанического происхождения, как осадочные, так и



магматические, куда бы они впоследствии ни были перемещены и где бы ни находились в настоящее время.

Как можно видеть из приведенных рисунков (рис. 20—22), содержания многих центрострежных элементов (калия, рубидия, цезия, урана, тория) в континентальной коре настолько велики по сравнению с их содержанием в мантии, что если исходить из классических фиксистских представлений о поступлении их в земную кору только снизу вверх, не допуская конвекции мантийного вещества, перемещений и субдукции океанической коры как промежуточного «полуфабриката» сиалической оболочки, то вещества всего объема мантии под континентами оказывается недостаточно для достижения наблюдае-

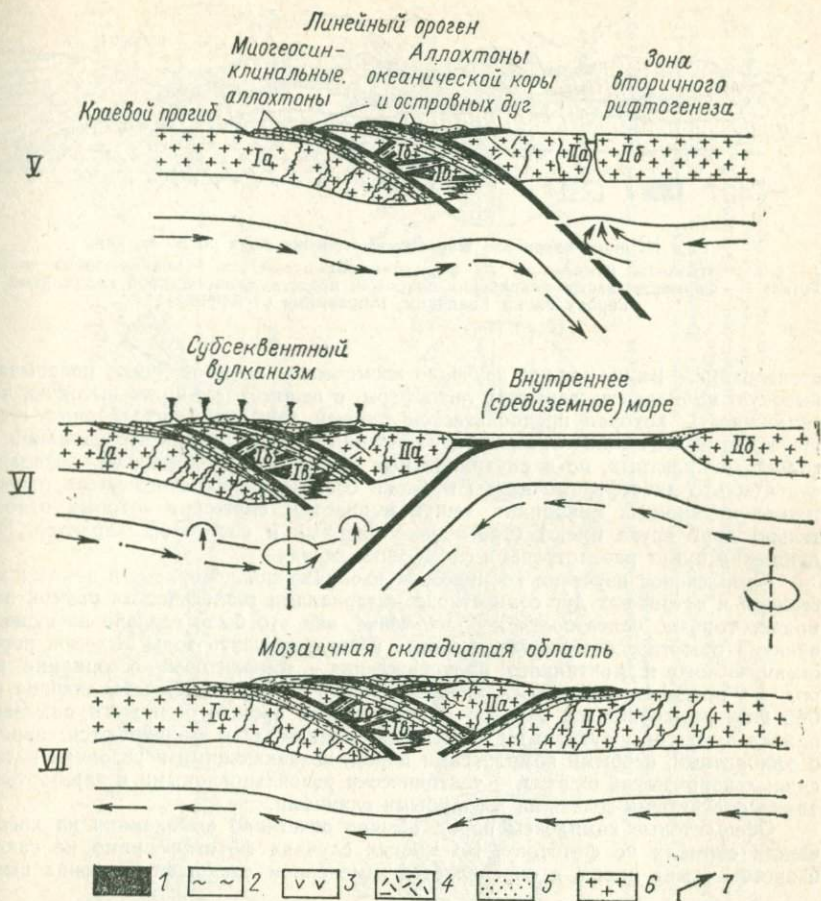


Рис. 17. Тектоно-магматический цикл формирования складчатой области (закономерные этапы формирования складчатых поясов континентов).

*I* — раскол континента и разрыв континентальной коры; *II* — раскрытие молодого океана; *III* — существование зрелого океана, в окраинных частях которого уже сформированы зоны субдукции — поглощения океанической коры, уходящие под края прилегающих континентов; *IV* — развитие зон субдукции: отрыв и отбрасывание в сторону океана краевых частей континентов и раскрытие окраинных морей (микроокеанов); *V* — формирование складчатого горного пояса: столкновение континентов и замыкание располагающихся между ними океанов; *VI* — сдвиговые деформации, вторичные раздвиги и вращательные движения, деформирующие образованную после закрытия океана горную складчатую страну; с этим этапом связано раскрытие морей средиземноморского типа и активнейший вулканизм; *VII* — консолидация складчатой области и формирование мозаичных складчатых областей типа Иранского нагорья или Казахского щита.

*1* — океаническая кора и аллохтоны океанической коры в складчатых областях; *2* — зоны развития голубых и зеленых сланцев; *3* — андезитовые лавы и туфы; *4* — кислые лавы и туфы; *5* — осадочные отложения; *6* — гранитно-метаморфическая континентальная кора; *7* — направления движения вещества астеносферы.

мых в континентальной коре концентраций перечисленных элементов. Это обстоятельство является важным доводом в пользу мобилизма и против любых вариантов фиксистских геотектонических концепций, в частности гипотез расширяющейся или пульсирующей Земли.

Кратко изложенные выше этапы коренной перестройки фундаментальных основ геологии совпали с начальным периодом развития космогеологических

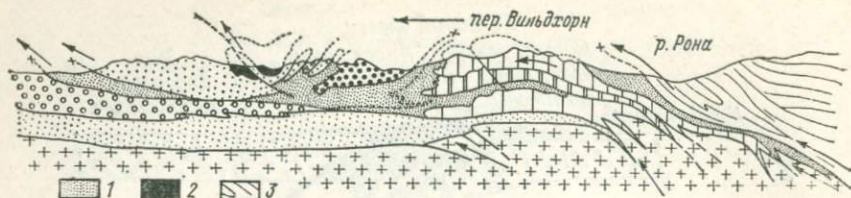


Рис. 18. Многопокрывное шарьяжное строение Альп по Э. Аргану.

1 — олистостромовые комплексы; 2 — формация замкнувшегося в конце эоцена океана Тетис; 3 — формации австро-альпийских покровов, представляющих собой надвинутые на Европу блоки Гондваны, оторванные от Африки.

исследований. Внимательное изучение космических снимков Земли показывает высокую мобильность вещества литосферы, в целом даже более высокую, чем подвижность, которая предполагается теорией тектоники литосферных плит. Изучение космических снимков дает обширный материал для исследования не только межплитных, но и внутриплитных тектонических движений, позволяет считать, что литосферные плиты и блоки состоят из большого числа относительно подвижных микроплит, чешуй и пластин, смещения которых относительно друг друга имеют строго закономерный и системный характер. Эти движения будут рассмотрены в следующих главах.

Комплексное изучение космических изображений поверхности земных материков и островных дуг совместно с материалами геологических съемок позволило гораздо более полно и более точно, чем это было сделано на существующих геологических картах, выявить и закартировать зоны выходов пород океанического и мантийного происхождения — офиолитовые ассоциации пород — в пределах каждого складчатого пояса. Эти зоны, представляющие собой швы замкнувшихся океанов геологического прошлого, геологи называют в последние годы сутурными (шовными) зонами. Они маркируются, наряду с офиолитами, особыми комплексами пород, возникающими в условиях интенсивных напряжений сжатия, — тектонически развальцованными и перетертыми тонкопослойчатыми зелеными и голубыми сланцами.

Офиолитовые комплексы пород обычно отчетливо выделяются на космических снимках по фототону. Во многих случаях фототон прямо не связан с цветом самих пород, а определяется изменением ландшафта в зонах выхо-

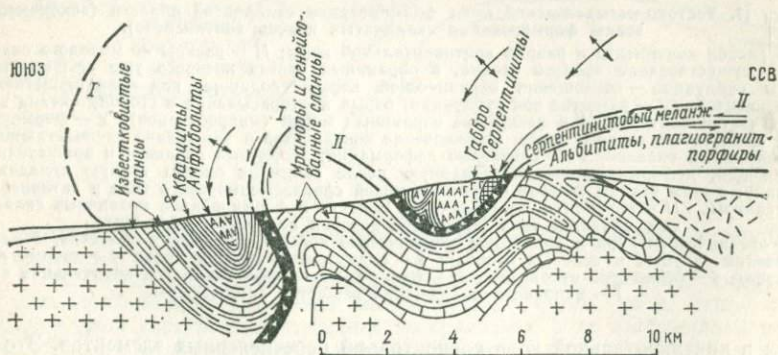


Рис. 19. Покровные структуры территории хребта Султан-Увайс (Южное Приаралье). Выделены формации серпентинитового меланжа — тектонической смеси пород океанической мантии, превращенных в подвижную серпентинитовую массу, захватывающую в процессе своего движения блоки чужеродных пород.

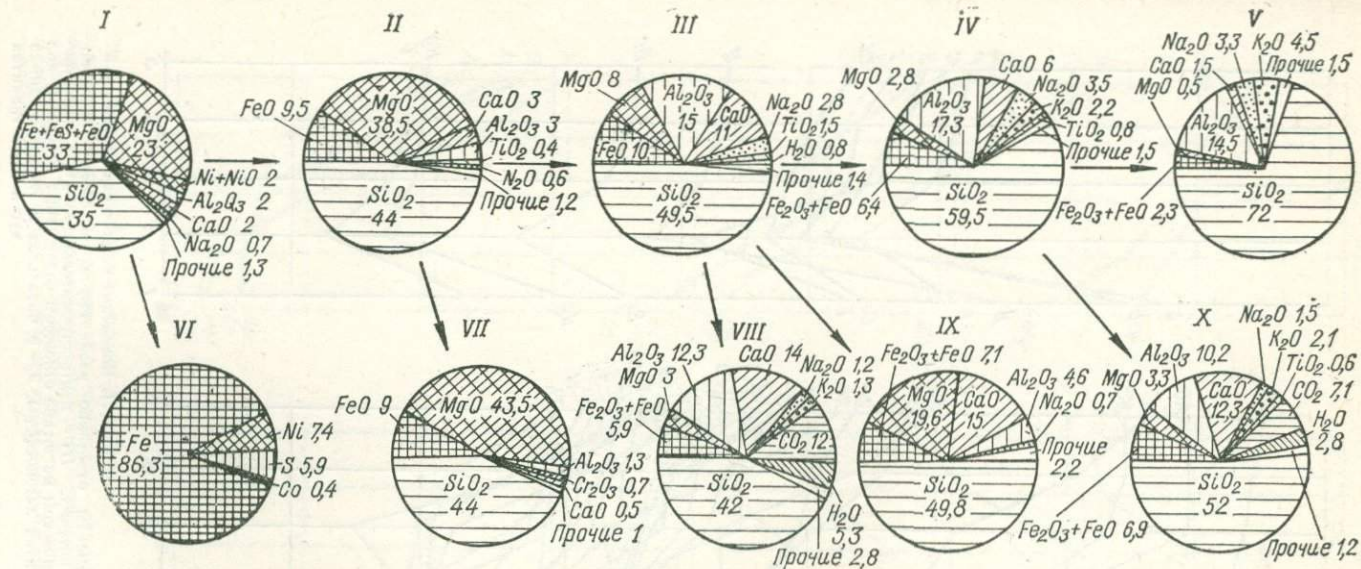


Рис. 20. Ряд глубинной дифференциации вещества Земли в процессе формирования ее внешних оболочек — верхней мантии, океанической и континентальной коры.

Показаны химические составы главных геологических формаций, слагающих внутренние и внешние оболочки Земли (составы даны в окисной форме в процентах по массе). I—V — основной ряд глубинной дифференциации от протопланетного вещества к континентальной коре; VI—X — остаточные комплексы, отделившиеся от исходного вещества в процессе дифференциации. I — метеориты хондритового типа — наиболее близкие аналоги исходного недифференцированного вещества, сформировавшего нашу планету; II — отторженцы вещества верхней мантии Земли, выносимые на ее поверхность, — гранатовые лерцититы; III — базальты и габброиды срединно-океанических хребтов; IV — андезиты и андезитобазальты островных дуг; V — граниты материков.

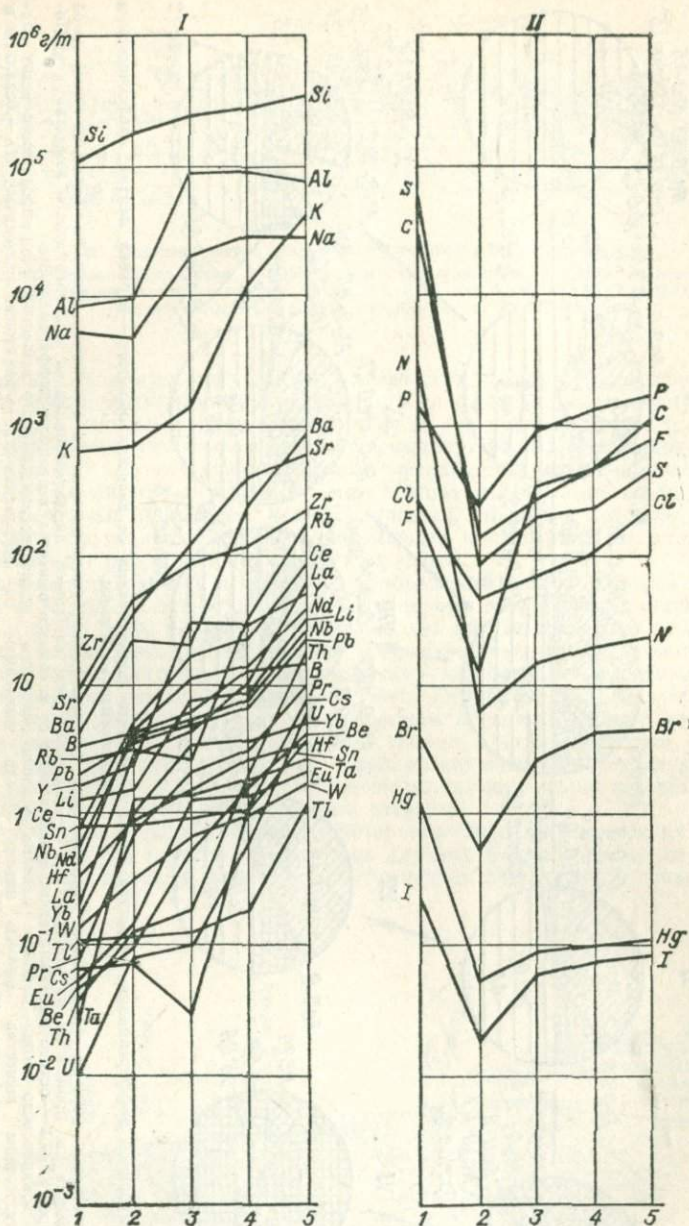
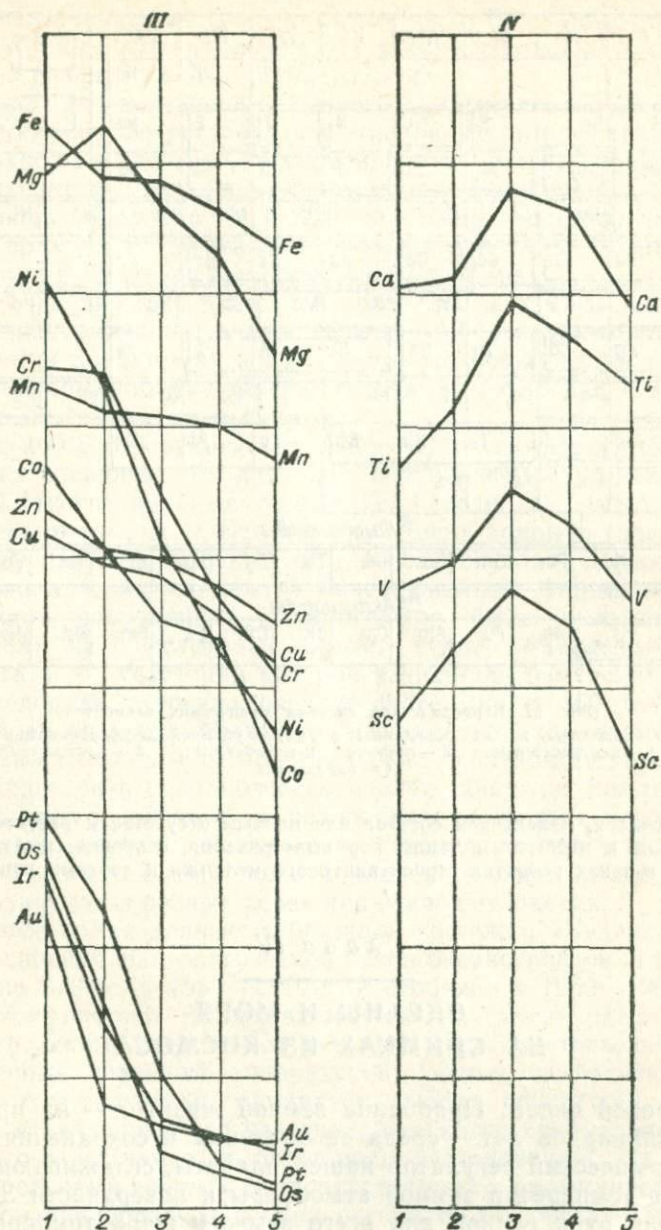


Рис. 21. Поведение химических элементов в  
 Химические элементы отчетливо разделяются по своему поведению  
 центробежных летучих, III — центростремительных, IV — элементов до-  
 лжих в логарифмическом масштабе отложены содержания (массовые дол-  
 ливы) в базальтах и габбро срединно  
 дуг и 5 — в гранитах



ряду глубинной дифференциации вещества Земли.  
 ю в процессе дифференциации на группы: I — центробежных, II — океанитов. В каждой диаграмме — пять вертикальных линий, на кото-  
 и) химических элементов данной группы: 1 — в хондритах, 2 — в гра-  
 океанических хребтов, 4 — в андезитах и андезито-базальтах островных  
 континентов.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII					
1	(H)							H	He	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 15px; margin: 2px;"></div> 1           <div style="border: 1px dashed black; width: 20px; height: 15px; margin: 2px;"></div> 3         </div>			
2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 15px; margin: 2px;"></div> 2           <div style="border: 1px dashed black; width: 20px; height: 15px; margin: 2px;"></div> 4         </div>				
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar					
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni			
	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr					
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd			
	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe					
6	Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt			
	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn					
7	Fr	Ra	Ac**	Ku									
* Лантаноиды													
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
** Актиноиды													
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	(No)	(Lr)

Рис. 22. Периодическая система химических элементов.

Элементы разделены по их поведению в ряду глубинной дифференциации вещества Земли: 1 — центробежные, 2 — летучие центробежные, 3 — центростремительные, 4 — океаниты.

дов офиолитов: изменением состава или полным отсутствием растительности, характером и необычным типом кор выветривания, особенностями строения рельефа в зонах развития серпентинитового меланжа и лугими признаками.

## Глава IV

### ОКЕАНЫ И МОРЯ НА СНИМКАХ ИЗ КОСМОСА

Мировой океан! Прародина земной жизни и — на протяжении миллиардов лет — среда ее обитания и сохранения. Главный термический регулятор нашей планеты, сглаживающий колебания температур земной атмосферы и поверхности Земли и сводящий их к единой для всего земного шара температуре в своих глубинах. Гигантская геохимическая фабрика формирования алюмосиликатной земной коры. Прародитель всей суши Земли, система подвижных пластин литосферы, погружающихся в зоны субдукции и перерабатываемых там с выбросом на поверхность над этими зонами андезито-базальтовых и гранитных магм, которые формируют острова и материка Земли. Источник

почти неисчерпаемых (во всяком случае, в ближайшие столетия) биологических и минеральных ресурсов, необходимых для дальнейшего развития земной цивилизации.

Океан заполнен водой — удивительной жидкостью, обладающей способностью растворять очень многие химические вещества; жидкостью, которая, замерзая, расширяется. Возникающий лед плавает поэтому на ее поверхности. Если бы это было не так и вода замерзала бы с глубин, со дна водоемов, жизнь на Земле вряд ли могла бы развиваться и принять те формы, в которых она существует в современной биосфере.

Океан покрывает около 2/3 поверхности Земли. Земная суша — лишь острова в океане. Это с глубокой древности понимали наши предки, так же как и то, что воды океана находятся в непрерывном движении. Отсюда и его название (от греческого *ωκεανος* — быстрый, скорый).

Еще 100 с небольшим лет назад глубины океана и характер строения океанического дна были почти совершенно неизвестны людям. Многие крупные ученые (Т. Гексли, Э. Геккель) были убеждены в том, что почти все дно океана покрыто тонким слоем бесформенной живой слизи — «батибиусом», первозданной протоплазмой, порождающей более сложные формы жизни.

Начало современной океанографии было положено экспедицией на исследовательском судне «Челленджер» в 1872—1876 гг., участники которой выполнили измерения глубин и исследовали строение океанического дна в 360 пунктах в различных участках Мирового океана. Это дало возможность не только опровергнуть представление о батибиусе, но и впервые представить грандиозность водной оболочки Земли, обнаружить многочисленные и разнообразные формы глубоководной жизни, изучить океанические течения, химию морской воды, исследовать состав донных илов и глубоководных базальтов, поднятых из разных точек дна Мирового океана.

Долгое время данные, собранные экипажем «Челленджера», были основной фактологической базой океанографии. Лишь значительно позже, в 1930—1940-х, и особенно в 1950—1960-х гг., океанографические исследования начали резко расширяться. Были созданы специализированные исследовательские суда, оснащенные новейшей аппаратурой; ученые на батискафах и других глубоководных аппаратах смогли спуститься на дно океана в различных его участках; появилось оборудование для подводного плавания и подводных исследований. На основе многочисленных данных гидроакустического профилирования и драгирования образцов со дна океана были составлены достаточно детально карты рельефа океанического дна, выявлены и изучены системы срединно-океанических хребтов и глубоководных желобов, островных дуг и линейных цепочек вулканов гавайского типа. С 1968 г. специализированное научно-исследовательское судно «Гломар Челленджер» начало проводить планомерное бурение океанического дна, позволившее, как уже

отмечено выше, обосновать и подтвердить обширным фактическим материалом представления о перемещении литосферных плит и получить ценнейший материал по геологии, петрологии и геохимии донных осадков и пород океанической коры.

Обширный объем информации об океанах и морях Земли приносят в последние годы космические исследования. Они впервые дали возможность глобально обзирать поверхность океанов, изучать распределение приповерхностных течений и гидросферных фронтов, связь между циркуляцией воздушных, облачных и водяных масс, закономерности строения и динамику перемещения ледового покрова в арктических и антарктических областях, помогли обнаруживать и картировать нефтяные пленки и другие зоны загрязнения океанических вод, наблюдать за перемещением рыбных стад и приповерхностного планктона, за движением взвешенных твердых частиц в океанических и морских водах. Одновременно космические снимки позволили получить обширную информацию о береговых линиях морских и океанических бассейнов и даже о строении дна в пределах шельфовых зон окраинных и внутренних морей, озер и океанических побережий.

Многие данные, полученные при изучении космических снимков, оказались совершенно неожиданными для океанологов. Например, материалы дистанционных съемок выявили гораздо более широкое развитие вихревых циркуляций океанических вод, вихрей и колец течений, чем это предполагалось ранее. Такие зоны активной циркуляции вод, циклонические водные вихри чаще всего встречаются в местах столкновения и взаимодействия разнонаправленных океанических течений (восточнее Японских островов, южнее Исландии, в районах Азорских островов), хотя иногда, вероятно, возникают под воздействием воздушных вихрей, отражая их динамику.

Другим важным открытием было установление тесной связи облачности с океаническими течениями. Такая связь особенно хорошо выявляется при изучении ночных космических снимков, сделанных в инфракрасных диапазонах спектра. Большое количество новых данных о динамике движения водных масс в океанах и морях принесло и изучение ледового покрова и дрейфующих льдов в приполярных и умеренных широтах. По фототону изображений ледового покрова на телевизионных космических снимках оказалось возможным определять возраст льда, степень его сплоченности, структуру ледовых полей, влажность льдов, направленность и скорости дрейфа ледовых полей. Хорошо видимая на космических снимках динамическая картина перемещений ледового покрова (рис. 23) дает богатый материал для изучения воздействий активно перемещающихся подледных водных масс на ледовую оболочку. Движения льда, как и атмосферная облачность, до определенной степени воспроизводят и моделируют более медленные движения литосферных плит и блоков, чешуй и пластин твердой земной коры,

в которой наблюдаются сходные процессы растяжения, перемещений, разворотов, сжатия, скучивания (торошения) с однонаправленным подтягиванием одних блоков под другие, похожие на перемещения льдин в ледовых полях.

Широкое развитие в последние годы получили съемки поверхности океана с помощью радиометров высокого разрешения, работающих в инфракрасной области спектра. Эти съемки дали информацию о тепловом режиме поверхности океана, что позволило полнее и точнее, чем раньше, изучить направления и скорости движений океанических течений, циркуляцию вод океана и получить большое количество данных о тепловом балансе океана.

Велико значение космической информации и для изучения шельфовых зон морей и океанов, составления батиметрических, геологических и ландшафтных карт континентального шельфа и морского дна окраинных и внутриконтинентальных морей, изучения динамики накопления и размыва надводных и подводных дельт, изменения очертаний береговых линий, прогнозирования различных типов полезных ископаемых (солей, россыпей, металлоносных конкреций) в зонах континентального шельфа. Разнообразные исследования в этом направлении проводятся в нашей стране в производственном геологическом объединении «Аэрогеология», во ВНИИокеангеологии Министерства геологии СССР и в Институте океанологии АН СССР.

Новые данные внесла космическая информация и в понимание тектонической природы различных типов континентальных побережий. Они имеют совершенно различный облик в областях пассивных континентальных окраин, обращенных к тыловым частям литосферных плит, и в районах столкновения плит над зонами субдукции. При визуальных наблюдениях из космоса и на космических снимках пассивных континентальных окраин удается просматривать строение участков шельфа и континентального склона: видны постепенно погружающиеся на глубину пологие выровненные ступени, ограниченные линейными уступами. Этот ступенчатый рельеф прорезан широкими подводными долинами, частично выработанными в субаэральных условиях,\* но главным образом образованными мутьевыми турбулентными потоками, движущимися подобно рекам в глубинах океана по его дну.

Сам характер береговых линий в районах пассивных и активных окраин континентов резко различен. Пассивные окраины чаще всего ограничиваются линейными, овальными и дуговыми разрывами в экваториальной и субтропических областях (рис. 24) и имеют сложно изрезанную форму в областях умеренного климата и особенно в районах недавней деятельности

---

\* Не следует забывать, что всего 14—15 тыс. лет назад, в эпоху последнего большого оледенения, уровень Мирового океана был на 130—140 м ниже современного.

ледников. На поднятых залитых базальтами плато, ограничивающих пассивные окраины континентов, в тропических областях материков происходит латеритное выветривание базальтовых пород и формируются месторождения латеритных бокситов — главной руды на алюминий.

Активные континентальные окраины, например западные побережья Северной и Южной Америки, восточные берега Азии, так же как и береговые линии внутриконтинентальных морей типа Средиземного и Черного, характеризуются следами интенсивных тектонических движений — поддвигов, надвигов, сдвигов, а иногда и раздвигов. Вдоль берегов протягиваются сложно устроенные горные хребты, которые прорезаются линейными узкими долинами; иногда наблюдается мозаичный блоковый рельеф. Вблизи побережий нередко прослеживаются изрезанные неправильной формы вулканические острова; даже облачность над шельфовыми зонами часто выстраивается здесь в сложно ориентированные ломаные линии, вероятно отражающие аномалии теплового потока, идущего из глубин (рис. 25, 26). Все здесь находится в стадии становления, все охвачено бурным движением — вещество земных недр, вода, воздух. Здесь в изобилии встречаются вулканические породы различного состава, грубообломочные толщи, брекчии; на поверхность часто выведены породы океанического происхождения, зеленые и голубые сланцы субдукционных зон, грубообломочные толщи, формирующиеся в процессе движения по морскому дну тектонических пластин и шарьяжей. Рассматривая космические снимки этих областей, можно наглядно видеть, как из недр океана рождается земная суша.

## Глава V

---

### ВУЛКАНЫ ЗЕМЛИ

Вулканы Земли, как и вулканы других планет, — главные фабрики, вырабатывающие вещество внешних оболочек планет. Без вулканической деятельности было бы невозможно формирование алюмосиликатной земной коры, на поверхности которой мы живем, формирование гидросферы и атмосферы Земли, а возможно и земных форм жизни.

Становление современной геологической науки тесно связано с историей изучения вулканов и вулканических пород. Вулканическая теория поднятия Л. Буха, А. Гумбольдта, А. Дюфренуа, Л. Эли де Бомона была первой универсальной геотектонической концепцией в истории европейской и мировой геологии. Уже в конце XVIII — начале XIX вв. были составлены и изданы первые каталоги действующих вулканов мира, описаны

и изучены извергавшиеся этими вулканами лавы и пирокластические породы во всем их многообразии. К настоящему времени действующие и потухшие вулканы континентов и островных дуг и некоторые подводные вулканы детально изучены; и все же лишь в последние 20 лет начали проясняться основные закономерности, определяющие разнообразие вулканических построек и типов лав и управляющие процессом вулканизма.

Стало ясно, что вулканы — это главные производители земной коры, как океанической, так и континентальной, что их размещение отчетливо маркирует как зоны спрединга и пересекающие эти зоны трансформные разломы, так и островные дуги и зоны окраинно-континентальных вулкано-плутонических поясов, формирующиеся над уходящими в глубины Земли зонами субдукции. Почти одновременно выяснилось, что наряду с вулканами срединно-океанических хребтов, островных дуг и окраинно-материковых хребтов на континентах и в океанах существуют линейно вытянутые цепочки вулканических построек особого типа, для объяснения происхождения которых канадским геофизиком Дж. Т. Уилсоном в 1965 г. было выдвинуто представление о «горячих точках», названных впоследствии американским геологом Дж. Морганом «мантийными струями». Так были названы постоянно бьющие из глубин мантии вверх фонтаны дифференцированного вещества, которое, прорываясь к поверхности, формирует лавовые камеры, питающие действующие вулканы. Местоположение каждой такой мантийной струи фиксировано относительно оси вращения Земли, сохраняясь неизменным на протяжении десятков миллионов лет. При движении над ними перемещающихся литосферных плит мантийные струи прорезают их и формируют на их поверхности цепочки вулканов, возраст которых оказывается тем больше, чем больше удалился соответствующий участок литосферной плиты от горячей точки.

Прекрасным примером протяженной линейной цепи вулканов, сформировавшейся над горячей точкой, служат Гавайский вулканический хребет Тихого океана и продолжающая его цепь Императорских подводных вулканических гор (рис. 27, 28). Типичным вулканическим сооружением, сформировавшимся над горячей точкой вблизи почти не смещающейся относительно мантии рифтовой осевой зоны срединно-океанического хребта, является Исландия.

Мантийные струи представляют собой проявление струйной конвекции, участвующей в процессе дифференциации вещества Земли наряду с ячейной конвекцией, движущей литосферные плиты. Струйная конвекция позволяет дифференцированному веществу подниматься со значительно больших глубин, чем это происходит в срединно-океанических хребтах и даже в областях субдукции. В последние годы изучение возраста вулканических построек над горячими точками, как современными, так и действовавшими в геологическом прошлом, дает возможность не-

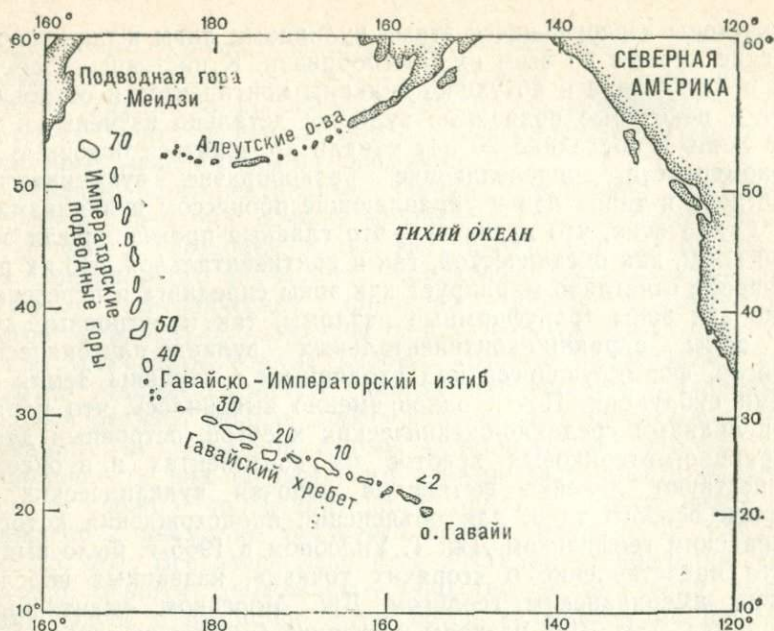


Рис. 27. Возраст вулканов Гавайско-Императорской цепи, млн. лет (по Д. А. Клейгу, 1975).

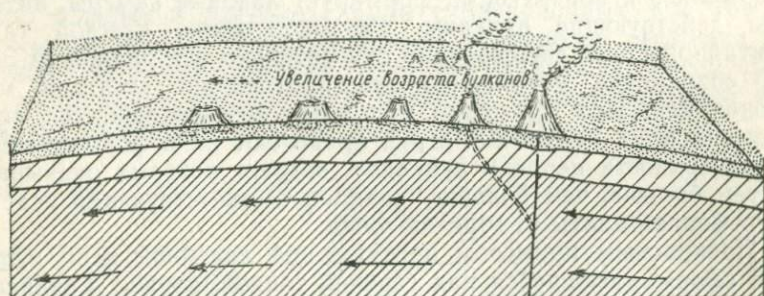


Рис. 28. Схема формирования цепи вулканических островов гавайского типа в процессе прохождения литосферной плиты над «горячей точкой» (по Дж. Т. Уилсону, 1965).

зависимо от других данных определять скорость и направление движения литосферных плит. При этом в отличие от данных по изучению полосовых магнитных аномалий определяются не только относительное перемещение плит (относительно друг друга), но и параметры их «абсолютного» движения по поверхности нашей планеты.

Так, например, мантийная струя, прорезавшая как автогеном быстро движущуюся Тихоокеанскую плиту, сформировала Гавайско-Императорскую цепь щитовых вулканов, которые имеют общую протяженность более 5 тыс. км, и отразила перемещение плиты за 70 млн. лет, а мантийная струя, бьющая под

Исландией, зафиксировала в пять раз меньшую скорость спрединга (около 100 км за 6 млн. лет).

Над горячими точками происходят излияния горячих базальтовых лав основного состава, во многих отношениях более примитивных, чем кислые и щелочные лавы. Многократное излияние значительных объемов основных текучих лав приводит к образованию характерных по форме щитовых вулканов с относительно плоской платообразной вершиной. Размеры этих вулканов зависят от интенсивности питающей их мантийной струи. В Исландии их относительные высоты редко превышают 1000 м, чаще достигая лишь десятков и первых сотен метров в высоту, тогда как щитовые вулканы Гавайских островов имеют гигантские размеры, образуя величайшие вулканические постройки на Земле. Так, вулкан Мауна-Лоа вместе с подводной частью имеет высоту около 10 000 м и поперечник основания более 400 км. Для таких вулканов характерны плосковершинные плато и обширные округлые провалы в их центральных частях, иногда заполненные лавовыми озерами.

Значительно более разнообразны как по форме, так и по составу лав вулканы, формирующиеся над субдукционными зонами Земли. Сопоставление данных по химизму лав и выбросов этих вулканов с данными о глубинах, на которых происходят наиболее глубокие сейсмические толчки в мантии под этими вулканами, привело японского геолога Х. Куно в 1959 г. к открытию удивительной закономерности, чрезвычайно важной для понимания сущности вулканического процесса. Сопоставление сейсмических и химических данных показало, что средние содержания калия, рубидия, цезия, стронция, бария и многих других элементов (прежде всего сильных центробежных элементов) в лавах почти всех вулканов Земли прямо пропорциональны глубине, на которой отмечаются наиболее глубокие сейсмические толчки под изучаемым вулканом. Закономерность, открытая Х. Куно, проверялась японским геологом И. Кусиро, американцем У. Дикинсоном, англичанином Т. Хатертоном, югославом Д. Нинковичем, американцем Дж. Хейсом, французом К. Лефевром и многими другими исследователями. В результате был установлен один из важнейших законов геологии: состав лавы вулкана, ее кислотность и щелочность — функция от глубины сейсмофокальной зоны под вулканом. Центробежные элементы как бы экстрагируются восходящими флюидами из всего столба мантии, находящегося над субдукционной зоной, и концентрируются в образующемся лавовом расплаве, выносясь при извержениях на поверхность Земли, слагая вулканические постройки или же застывая в глубинах Земли в виде гранитных подушек — батолитов. В результате над каждой субдукционной зоной формируется в настоящее время и формировался в геологическом прошлом вулкано-плутонический пояс, состоящий из серии пространственно сменяющих друг друга вкрест его простирания систем вулканических построек и

глубинных магматических тел, для каждой из которых характерен свой тип магм и изливающихся на поверхность лав, строго определенный химический состав магматических комплексов и связанного с ними оруденения. В пределах вулcano-плутонических поясов, как современных, так и сформировавшихся в геологическом прошлом, можно выделить следующие главные зоны:

1) зону изливания лав среднего и основного состава (андезито-базальтовых лав) и соответствующих этим лавам раскрысталлизовавшихся на глубине габбро-гранитных банатитовых комплексов, несущих медноколчеданное, железоколчеданное, медно-полиметаллическое, иногда также золотое и серебряное оруденение;

2) зону изливания лав кислого состава (дацитовых и риолитовых) и соответствующих им застывших на глубине гранитных массивов амаеллитового и монзонитового ряда со свинцово-цинковым, золото-серебряно-молибденовым и сурьмяно-ртутным оруденением;

3) зону развития щелочных лав, грейзеновых жильных полей и щелочных гранитоидов с оруденением грейзенового типа (рудами на вольфрам и бериллий);

4) зону развития высококальциевых щелочных и ультращелочных комплексов с месторождениями редких металлов, редких земель, тантало-ниобатов, стронция, циркония, апатита.

Образование гранитных магм, гранитоидный вулканизм и плутонизм настолько четко приурочены к регионам, расположенным над сейсмофокальными субдукционными зонами, что можно считать граниты прямым результатом субдукционного процесса. «Гранит» и «субдукция» — неразрывно связанные понятия, почти синонимы. На тех планетах и спутниках, где нынче, ни в прошлом не происходило субдукции, поглощения базальтовой коры мантией (например, на Луне) — нет и гранитов.

Как явствует из сказанного, вулканы Земли по геотектонической позиции можно разбить на несколько групп. Среди них отчетливо выделяются две главные группы: 1) вулканы зон спрединга, зон формирования первичной океанической коры, и 2) вулканы зон субдукции, зон формирования вторичной, континентальной коры. Первые представлены толеитовыми базальтами океанов, вторые достаточно разнообразны по составу. Наиболее типичными представителями второй группы являются известково-щелочные серии вулканитов островных дуг и активных окраин континентов, примыкающих к глубоководным жолобам и расположенных над зонами субдукции. Продукты извержений горячих точек над мантийными струями в океанах, в частности лавы гавайских вулканов и вулканов Исландии, образуют серии, промежуточные по составу между базальтами океанов и щелочными сериями рифтовых зон континентов; для них характерно резкое преобладание натрия над калием, высокая железистость и известковистость; по содержанию же эле-

ментов-океанитов — титана, ванадия, скандия — они даже более «океаничны», чем толеитовые базальты срединно-океанических хребтов.

На космических снимках Земли области современного и новейшего вулканизма отчетливо выделяются по характерным, лишь им присущим формам рельефа. Хорошо прослеживаются внутренняя структура вулканических регионов, типы вулканических построек, ориентировка систем разрывных нарушений, контролирующих размещение вулканических выбросов на поверхность Земли. Совершенно по-разному выглядят на снимках два главных типа вулканических излияний — линейный трещинный тип, характерный для активных раздвиговых зон (зон спрединга), и вулканические постройки центрального типа, которые резко преобладают в районах земной суши, просматривающихся из космоса.

Типичные трещинные излияния, вероятно наиболее характерные для зон наращивания океанической коры в рифтовых зонах океанических хребтов, наблюдаются на суше в немногих районах активных рифтов, в частности на территории Исландии, в некоторых участках системы Восточно-Африканских рифтов и в районе треугольника Афар, где эта система сочленяется с Аденскими и Красноморскими рифтами (рис. 29, а). Тонкая полосчатость, фиксирующая многократное наложение друг на друга линейных раздвигов, характерна для большей части территории Исландии. Сходную структуру имеет и район Афара, где приподнятые линейные базальтовые гряды, сформированные трещинными излияниями, разделяются узкими впадинами — днищами высохших озер, покрытых солончаками.

Гораздо шире развиты на континентах вулканические постройки центрального типа и цепочки вулканов, а также обширные залитые базальтом лавовые плато и лавовые равнины, иногда занимающие обширные площади (лавовое плато Декан в северо-западной Индии — 260 тыс. км<sup>2</sup>; лавовая равнина р. Колумбии на западе США — около 130 тыс. км<sup>2</sup>). Обширные площади заняты также пепловыми равнинами, поверхность которых покрыта пепловыми потоками, туфами и грязевыми выбросами.

Вулканы центрального типа иногда имеют небольшие размеры, образуя относительно простые по форме туфовые, шлаковые, грязевые или лавовые конусы. Но иногда они образуют обширные и высокие горные сооружения типа щитовых вулканов (рис. 29, б), конических лавовых гор и стратовулканов (рис. 29, в, г), построенных переслаивающимися лавовыми потоками и отложениями пеплов и шлака. Большинство вулканических построек континентов относится к последнему типу.

Структуры пепловых полей и лавовых плато образуют единое целое со структурами располагающихся на этих плато вулканов центрального типа. Изучение космических снимков дает яркое представление об истории формирования молодых

вулканических областей и развитых на их поверхности вулканических построек.

Рассмотрим в качестве примера прилегающую к оз. Севан часть Армянского вулканического нагорья, строение которого видно на рис. 30. Северную часть снимка занимает территория Памбакского и Шахдагского хребтов, сложенных главным образом вулканическими породами юрского возраста, сформировавшимися 140—160 млн. лет назад. Эти лавовые толщи надвинуты на более молодые палеогеновые лавовые комплексы, имеющие возраст 30—50 млн. лет, слагающие южные склоны этих хребтов и круто обрывающиеся вблизи северного берега оз. Севан. Здесь они тектонически залегают на офиолитовом комплексе — пластинах и блоках ультраосновных пород и серпентинитового меланжа, маркирующих в современной структуре место замыкания существовавшего в юрском и меловом периодах (160—80 млн. лет назад) океанического бассейна, окраинной части океана Тетис.

Южнее этой шовной зоны располагается область активного современного вулканизма. Она выглядит совершенно иначе, чем ограничивающая ее с севера область, которая напоминает на снимке слегка приподнятую и наклоненную к северу крышку над бурлящим котлом, заполненным вспенивающимся, растущим, расплзающимся, как опара, веществом, заполняющим всю центральную и южную часть видимой на снимке территории. Здесь нет ничего устойчивого, жесткого, вся масса вещества находится в активном движении. По системам узких меридиональных линейных раздвигов в районе Гегамского вулканического нагорья (юго-западнее Севана), Варденисского и Зангезурского хребтов (юго-восточнее Севана) прорывается к поверхности лава, образуя цепочки мелких лавовых конусов. В местах пересечений крупных разрывов формируются более значительные по размерам стратовулканы. В левом нижнем углу снимка можно наблюдать величественный вулканический комплекс Большого и Малого Аларата — активную\* концентрическую стратовулканическую постройку с несколькими жерлами. Эта постройка находится в центральной части обширного свода, окруженного, как большинство поднятий такого типа, полукольцевой депрессией.

Полное движения и динамики поле растущих вулканов, лавовых и шлаковых конусов, кальдер проседания, разрывов, смещений, вихревых структур, воздымающихся сводов, представляющее собой часть Армянского вулканического плато, являет разительный контраст с более жесткой застывшей структурой хребтов, видимых в верхней, северной, части захватываемой снимком территории. Но и эта жесткая структура, как можно видеть в левом верхнем углу снимка, начинает проплавляться.

---

\* Последнее извержение Аларата произошло 20 июня 1840 г.

вспучиваться, коробиться и активизироваться. Западнее (за пределами снимка) она раздвинута и прорвана молодыми вулканическими постройками Джавахетского хребта.

Космический облик Армянского вулканического нагорья типичен для вулканических областей Альпийско-Гималайского пояса. Несколько иначе выглядят на космических снимках вулканические области запада Северной Америки, располагающиеся над восходящим потоком разуплотненного и дифференцированного вещества мантии, над продолжением Восточно-Тихоокеанского океанического хребта, который ныряет в районе Калифорнийского залива под Северо-Американский континент. Здесь, особенно в районах Колумбийского плато и Каскадных гор на северо-западе США, базальтовые лавы заливают обширные площади, покрывая поверхность гигантских овально-концентрических структур диаметром от 300—400 до 600 км (см. рис. 47). Эти гигантские овалы разбиты четкими линейными разрывами на ряд блоков и сегментов, одни из которых приподняты, другие — опущены. Вулканические постройки центрального типа — стратовулканы различных размеров и вулканические конусы — располагаются в узлах пересечений сети крупных линейных разрывов широтного, северо-восточного, северо-западного, реже меридионального простирания. На более крупномасштабных космических снимках здесь, как и в Альпийско-Гималайском поясе, видна высокая подвижность земной коры в районах новейшей и современной вулканической деятельности, захватывающих обширные площади на Аляске, в Канаде, США, Мексике, Центральной и Южной Америке.

## Глава VI

---

### ЛИНЕАМЕНТЫ НА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ

Когда мы сравниваем космические снимки Земли с существующими географическими картами, обращает на себя внимание большое число прослеживающихся с различной четкостью линий и кругов, бороздящих поверхность земной суши. Природа многих линий хорошо известна людям — это железные дороги, шоссе, каналы, зеленые полосы лесонасаждений, современные и существовавшие в древности оросительные системы, хозяйственные, транспортные и другие сооружения. Некоторые линии представляют собой тектонические разрывы, системы трещин, уступы рельефа, зоны подвижек, известные геологам и изученные ими. Но очень многие линии не отмечены ни на каких кар-

тах, никак не связаны с человеческой деятельностью. Некоторые из них четко видны только на снимках, сделанных в определенный сезон и в определенной зоне спектра; на других же снимках они совершенно теряются или дешифрируются с большим трудом. Другие прослеживаются с большой отчетливостью на глобальных и региональных космических снимках, а на локальных и детальных — превращаются в широкие, протяженные, но нечеткие зоны или перестают быть заметными.

Однако чаще наблюдается иная картина. Линейные зоны, пересекающие иногда целые материки и хорошо видимые на глобальных космических снимках, оказываются при более детальном их изучении на крупномасштабных космических снимках, аэрофотоснимках и на земле закономерно ориентированными границами ландшафтных зон, системами разрывов и трещин, имеющими строго определенное простирание, часто находящими отражение в спрямленных участках долин рек, оврагов, береговых линий озер и морей, в линейных границах распространения растительных сообществ или различных типах почвенного покрова.

Эти выдержанные по направлению прямолинейные элементы рельефа и ландшафта американский геолог У. Хоббс в начале нашего века назвал линеаменами. «Наиболее значительные линеаменты лика Земли, — писал он, — могут быть описаны как гребни хребтов или границы поднятых областей, линии тальвегов, линии побережий или линии границ геологических формаций, петрографических типов пород и контуров обнажений». У. Хоббс подчеркнул, что линеаменты не обязательно связаны с тектоническими разрывами и смещениями по тектоническим линиям. «Термин линеамент, — замечает он, — не означает ничего иного, как в общем прямолинейную форму на земной поверхности».

С началом космических исследований термин «линеамент» приобрел широкую популярность. И действительно, линейные элементы широко прослеживаются почти на любом космическом снимке земной поверхности. Этих линий даже слишком много. Если срисовывать со снимков всю их сложную сеть, то в этой сети легко запутаться, за деревьями не увидеть леса. В последние годы публикуется большое число статей и работ, посвященных линеаменам, многие из которых представляют собой сводки фактических данных без их объяснения и интерпретации, не сопровождающиеся данными полевых работ по конкретному наземному изучению выявленных структур.

Однако в ряде случаев такое изучение проводится. В последнее время изучение линеаментов, прежде всего как рудоконтролирующих структур, стало даже в некоторых странах (СССР, США, Канада, Франция) самостоятельным направлением геологических исследований, привело к значительному прогрессу в геологическом картировании, геодинамических обобщениях и к открытию новых рудных месторождений.

Большинство линеаментов Земли — это линии максимальной геодинамической активности, силовые линии полей земных напряжений. Они не всегда представляют собой разломы или видимые разрывы. Иногда это зоны повышенной проницаемости земной коры, маркируемые растительностью, обводненностью, оптимальными значениями теплового потока, идущего из глубин. Их изучение чрезвычайно важно для понимания структуры каркаса земной литосферы и выявления степени подвижности литосферных блоков.

Изучение линеаментов возродило интерес к представлениям Л. Эли де Бомона о Земле как огромном кристалле с закономерной внутренней структурой, о сетках разрывов на его границах, о равноудаленности элементов геологической структуры в этих сетках. Широкую известность приобрели наблюдения У. Хоббса над сетью разрывных нарушений на востоке США и Канады, где характерные расстояния, названные У. Хоббсом «шагом разрывов», между разломами северо-восточного, северо-западного и меридионального простираний составляют соответственно 125, 75 и 40 миль (200, 120 и 65 км). В наше время многие географы и геологи в разных странах: Я. Кутина, В. Немец, Р. Квет, И. Н. Томсон, М. А. Фаворская, И. К. Волчанская, Н. Т. Кочнева, В. А. Буш, Д. В. Рундквист, Э. И. Кутырев, С. В. Порошин — исследовали закономерности строения таких линеаментных сеток в Чехословакии, ГДР, США, Канаде, Мексике, в различных районах СССР — на Урале, в Тянь-Шане, Закаспии, показали приуроченность к местам пересечений разрывов — линеаментным узлам — рудных месторождений и предсказали размещение некоторых новых, не известных ранее рудных полей. Подробнее об этом будет рассказано в главе XI.

Внимательное изучение ориентировки линеаментов на космических снимках показало, что эта ориентировка далеко не случайна. Розы (диаграммы) ориентировки речных долин и систем разрывов и трещин западной части Скандинавского полуострова, составленные Т. О. Черульфом в 1890 г., У. Хоббсом в 1911 г., и роза ориентировки крупнейших линеаментов этой территории, видимых на региональных космических снимках, оказываются удивительно близкими друг к другу. Прослеживающиеся на континентах системы линеаментов, так же как и карты ориентировки линейных структур земной поверхности, отчетливо отражают строение каркаса земной коры и его современной динамической напряженности.

Массовые измерения линеаментов на космических снимках Земли и построенные по ним розы и векторные диаграммы показывают, что для большинства материков при значительном числе результатов измерения и их статистической обработке наиболее отчетливые пики на розах и векторных диаграммах ориентировок линеаментов приходится на азимуты простираний СВ 45°, СЗ 315°, С 0° и В 90°.

Некоторые исследователи считают, что существование планетарной сети линеаментов, разрывов и трещин, закономерно ориентированных относительно оси вращения Земли, не может быть объяснено с позиций мобилизма и тектоники литосферных плит. Эти исследователи не учитывают постоянной изменчивости лика Земли, высокой подвижности земной литосферы, ее способности быстро реагировать не только на медленные перемещения литосферных плит, но и на гораздо более кратковременные изменения геодинамических условий: на глубинные перемещения масс, на изменения климата, на ледниковые нагрузки. После таяния ледника, покрывавшего Скандинавию и Прибалтику 14 тыс. лет назад, произошло сводовое поднятие Фенноскандии, освободившейся от тяжести ледника, которое составило в центральной части свода более 250 м. Как показывает изучение высоты залегания пластов ленточных глин, отлагавшихся на дне послеледниковых водоемов, поднятие шло сначала со скоростью, достигавшей нескольких десятков сантиметров в год, которая постепенно уменьшалась и сейчас составляет менее 1 см в год. Для таких скоростей «всплывания» Фенноскандии вещество астеносферы должно перемещаться, подтекая под нее, со скоростью, составляющей многие десятки метров в год. Очевидно, что при такой быстроте перемещения подкорового вещества и активности деформаций система наблюдаемых на поверхности линеаментов в значительной степени отражает динамику новейшей тектонической деформации Балтийского щита, а также следы перемещений ледникового покрова и размещения возникших после таяния ледника водоемов. Следует обратить внимание, что все сказанное относится к одному из самых жестких участков древней континентальной литосферы, которая обычно в наименьшей степени преобразуется активными тектоническими деформациями.

Однако в верхних частях литосферы несомненно существуют более устойчивые и долговечные системы тектонических разрывов и планетарных трещин, которые пронизывают горные породы и отражают четкую линейную ориентированность структур континентальной коры, возникающую при ее рождении над субдукционными зонами. Можно считать доказанным, что эти системы во многих случаях также характеризуются закономерной ориентировкой относительно современных географических координат. Они часто вытянуты ортогонально или под углом  $45^\circ$  к современным параллелям и меридианам. Детальное изучение кинематики движений литосферных плит показывает, что сама направленность этих движений, так же как и смещений внутриплитных блоков, не случайна и во многом координирована с режимом вращения Земли. Изучение перемещений крупных континентальных блоков в геологическом прошлом по палеомагнитным данным вскрывает характерные особенности этих перемещений: как правило, в геологической истории чередуются эпохи медленных движений континентальных блоков

без резких изменений их ориентировки относительно полюсов и кратковременные эпохи быстрых поворотов континентов. При этом континенты и литосферные плиты, в состав которых они входят, судя по определениям ориентировки палеомагнитных широт, испытывают в такие эпохи повороты на определенные углы — 45 и 90°, реже 25—30 и 60°.\* В результате поворотов сети глубинных структур планетарных трещин и линеаментов внутриконтинентальных блоков получают новую ориентировку: ортогональные системы линеаментов и трещин часто становятся диагональными, структуры, имевшие ранее широтную ориентировку, — меридиональными и т. д.

Одними из самых крупных линеаментов земных материков являются линеаменты Северной Африки, отчетливо прослеживающиеся на всех глобальных космических снимках восточного полушария Земли (рис. 4, 8, 11). Один из них, простирающийся от запада Мавритании через плато Адрар, через плато Тадемаит и пустыню Адмер в Алжире в район оазиса Бахария в Ливии, был назван В. Д. Скарятинным линеаментом Бахадор — Бахария. Ориентировка этого линеамента в западной его части — восток-северо-восточная, а в восточной — строго широтная.

В районе плато Тадемаит его пересекает линеамент Дафур — Угарты запад-северо-западного простираения, отграничивающий нагорье Ахаггар (Туарегский щит) от плато Тассилин-Аджер. Тектоническая природа этих линеаментов не вполне ясна. В своей восточной части линеамент Дафур — Угарты отчетливо контролирует размещение крупнейших действующих вулканов Северной Африки (Тусиде, Эми-Куси и др.).

Система параллельных друг другу линеаментов широтной ориентировки рассекает Северо-Американский континент. На территории США прослеживается пять линеаментных зон: Льюис-и-Кларк, Снейк-Ривер, 40-й параллели, 38-й параллели, Тексас, — продолжающих на континенте трансформные разломы Тихого океана Мендосино, Мёррей, Пайонир. Они отчетливо прослеживаются на глобальных и региональных космических снимках, а также на монтажах локальных космических снимков «Ландсат» (см. рис. 31) и являются важнейшими рудоконтролирующими структурами. О них будет подробно рассказано в главе XI. Сходные с ними по облику широтные линеаменты, контролирующие размещение действующих и потухших вулканов, прослеживаются на космических снимках Мексики, Колумбии, Эквадора, Перу и Боливии.

---

\* Такие повороты четко фиксируются и по изменениям ориентировки вулканических хребтов, формирующихся над горячими точками. Так, например, изменение простираения подводного Императорского хребта в месте его сочленения с Гавайским хребтом указывает на резкое изменение ориентировки и направления движения Тихоокеанской литосферной плиты, произошедшее около 40 млн. лет назад, во второй половине эоцена, одновременно с замыканием океана Тетис (см. рис. 27).

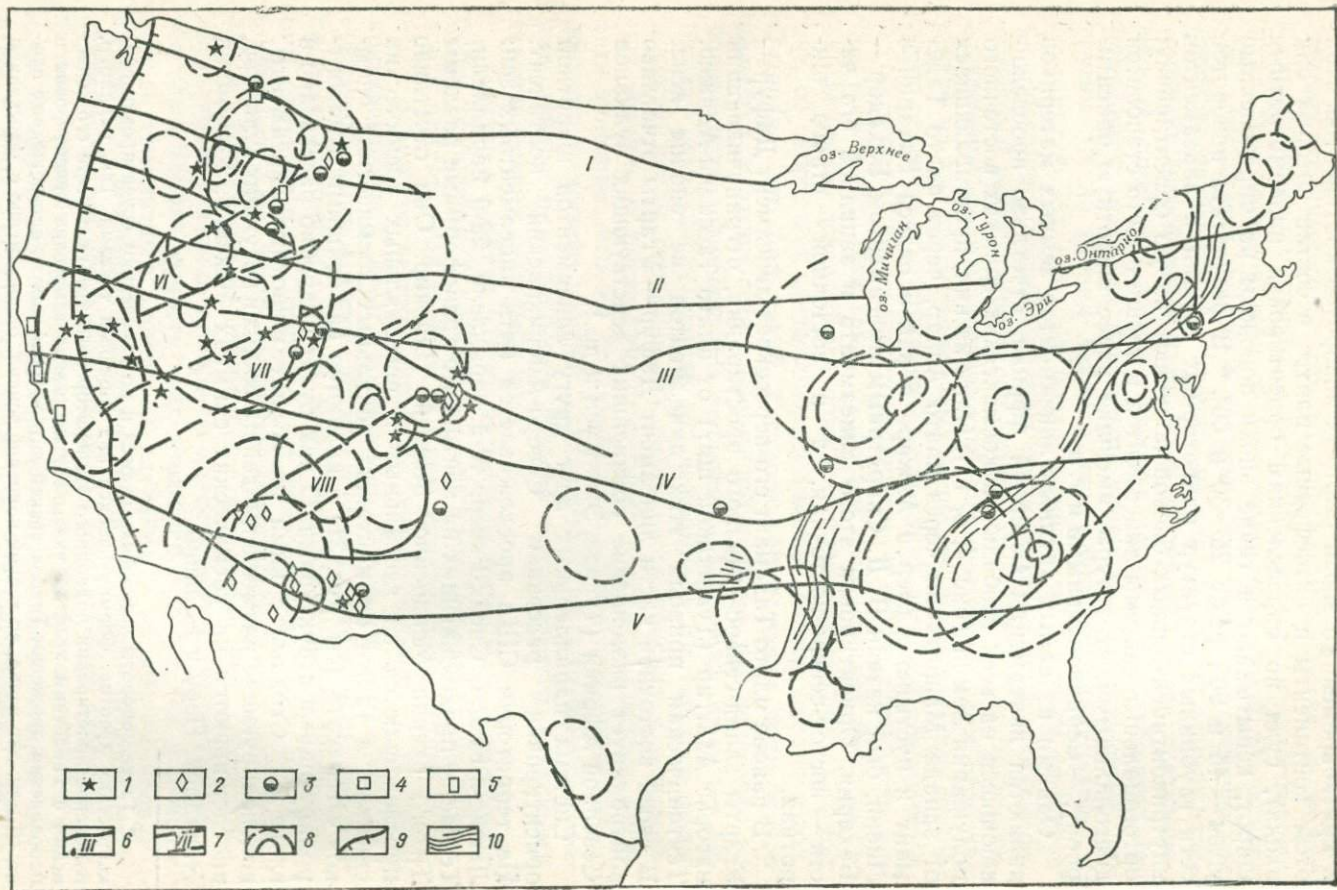


Рис. 31. Главнейшие линеаменты, овальные концентрические структуры, дешифрируемые на рис. 47.

Крупнейшие рудные месторождения: 1 — золоторудные и золото-серебряные, 2 — молибденовые, медно-молибденовые и медные; 3 — полиметаллические и свинцово-цинково-серебряные, 4 — вольфрамовые, 5 — ртутные; 6 — крупнейшие широтные линеаменты, пересекающие территорию США, по данным Я. Кутины, А. Хейла, М. А. Фаворской, И. К. Волчанской и других исследователей (I — Льюис-и-Кларк, II — Снейк-Ривер, III — 40-й параллели, IV — 38-й параллели, V — Техас); 7 — главнейшие рудные пояса Кордильер северо-восточного простирания (VI — Монтана, VII — Юта, VIII — Колорадо); 8 — овальные и концентрические структуры; 9 — зона поддвига францисканских океанических и зеленосланцевых формаций под Провинцию Долин и Хребтов; 10 — простирания главнейших палеозойских структур на востоке США.

## Глава VII

### ГОРНЫЕ ХРЕБТЫ ЗЕМЛИ

Почему и как возникают горы? Почему, несмотря на активную деятельность воды, ветра, ледников, физического и химического выветривания, разрушающих горные хребты, горы продолжают существовать на земной поверхности, а во многих районах земного шара активно растут?

Рост и формирование гор подчинены достаточно простым законам, часть которых была установлена уже около ста лет назад. Один из этих законов — закон изостазии — гласит: у гор есть корни. Горы — это только верхушки айсбергов утолщенной, раздутой сиалической коры, плавающих на более тяжелой магнезиально-силикатной мантии, или гребни сиалических блоков, сжатых, повернутых, принявших наклонное или вертикальное положение и вдавленных в мантию.

Второй закон можно назвать законом тектонической активности. Области горообразования одновременно являются областями высокой сейсмичности, интенсивного размыва, активного осадконакопления, значительных тектонических деформаций, а во многих случаях — и активного вулканизма. Иначе говоря, в горных областях активные движения литосферных блоков продолжают происходить и сейчас.

Третий и главный закон горообразования вытекает из двух первых, хотя к его пониманию геологи и геоморфологи приходят лишь в последние годы. Его можно сформулировать так: формирование гор Земли — это пассивное отражение в движениях блоков жесткой приповерхностной части земной коры движений более пластичного активно перемещающегося субстрата — нижних горизонтов коры и литосферы, увлекаемых астеносферой. Чем глубже находится вещество, тем быстрее оно перемещается, тем полнее перекристаллизовывается, тем моложе возраст слагающих его кристаллов. На смену второму принципу Н. Стено «Чем ниже, тем древнее», — верному для осадочных слоев платформенного чехла материков, для более

глубоких горизонтов континентальной литосферы приходит прямо противоположный принцип: «Чем глубже, тем моложе».

Почти все горы Земли в отличие от гор Луны и Меркурия эндогенны, рождены глубинными процессами. На поверхности Земли существуют структуры, образовавшиеся в результате падения метеоритов — астроблемы; но их относительно мало. За исключением этих немногочисленных метеоритных воронок, горы Земли формируются в результате перемещений глубинных масс вещества самой Земли. Эти массы вовлекают в свое движение приповерхностные слои земной литосферы, разбивают их на блоки и смещают блоки друг относительно друга. В местах восходящих потоков разуплотненного глубинного вещества происходит растяжение сиалической коры, ее вспухание, растрескивание и разрыв. На поверхности материков в этих районах возникают возвышенные вулканические плато, покрытые излияниями базальтов, рифтовые долины, местами заполненные глубоководными озерами, образуются системы полосчато чередующихся провальных прогибов и приподнятых хребтов. Лишь позже происходит полный разрыв континентальной коры и начинается формироваться океан.

В местах взаимодействия встречных потоков глубинного вещества один из потоков обычно устремляется в глубину, что приводит к интенсивному сжатию, дроблению и скучиванию приповерхностной жесткой литосферной корки. При этом дробление происходит как по вертикальным, так и по горизонтальным плоскостям. Образуются многочисленные чешуи и пластины континентальной коры, напозающие одна на другую и еще активнее подтягиваемые одна под другую. При этом амплитуды подтягивания возрастают с глубиной.

Большинство горных сооружений континентов Земли образовалось в результате сжатия и имеет характерное строение с однонаправленным наклоном пластов и складок, которое объясняется закономерным подтягиванием друг под друга серий тектонических чешуй и пластин между крупными сближающимися плитами. Такое строение, называемое моновергентным, имеют горные сооружения Альпийско-Гималайского складчатого пояса — Альпы, Карпаты, Крым, Тавр, Понт, Кавказ, Копетдаг, Эльбрус, Тянь-Шань, Памир, Гиндукуш, Каракорум, Гималаи; сходное строение имеют Верхоянский и Корякский хребты, Береговые хребты Кордильер и Анд, хребты многих островных горных сооружений.

Изучение материалов космических съемок наглядно показывает динамику формирования гор, структурное единство и общность плана горных систем, захватывающих значительные участки континентов. Ориентировка этих систем отражает направления движений литосферных блоков, происходящих чаще всего от экватора к полярным областям.

Изучение рельефа материков Земли и внутренней структуры горных сооружений позволяет существенно уточнить и допол-

нить схему движений земной литосферы, намеченную тектоникой литосферных плит; показывает огромную роль дробных внутриплитных движений в формировании рельефа и позволяет изучить эти внутриплитные движения. Рельеф четко отражает даже слабые, зарождающиеся процессы растяжения, смещения и сдвига или сжатия земной коры, ее дробления и консолидации. Динамическая картина строения земной поверхности отчетливо прослеживается на космических снимках.

Поскольку космические снимки дают лишь двухмерную поверхностную картину внутриплитной тектоники, большое значение для правильной интерпретации глубинных движений, формирующих структуру поверхности, имеет изучение сейсмологических данных, и прежде всего анализ размещения гипоцентров сейсмических толчков в глубинах земной коры и мантии. Комплексный анализ размещения сейсмических толчков и строения твердой поверхности Земли позволяет изучить форму, современное положение и динамику движений сиалических блоков, из которых состоит земная кора.

Тектоника литосферных плит была названа в 1968 г. Б. Айзексом, Дж. Оливером и Л. Сайксом новой глобальной тектоникой. Новое направление в науке о строении земной поверхности — геоморфологии, основывающее понимание происхождения и эволюции наблюдаемых форм рельефа на комплексном анализе межплитных и внутриплитных тектонических движений, контролируемых процессы осадконакопления и размыва на всей поверхности Земли, можно назвать новой глобальной геоморфологией.

Чтобы представить себе, как образуются горные хребты, как они устроены и какую информацию дают космические снимки для изучения их структуры и закономерностей формирования, рассмотрим один из наиболее хорошо изученных горных хребтов на территории нашей страны — Большой Кавказский. Этот хребет является самым северным в системе хребтов, располагающихся между Европейской и Аравийской литосферными плитами. К югу от него находятся горные сооружения Малого Кавказа, Армянского вулканического нагорья, Понта, Внутреннего и Восточного Тавра.

При рассмотрении всей полосы этих горных сооружений на космических снимках отчетливо вырисовывается единая система тектонических пластин и блоков, сдвливаемых между Аравией и Европой. При этом южный край каждого блока приподнят, северный — опущен, а сами блоки перекошены в северном направлении. Именно так устроен и Большой Кавказский хребет, северный склон которого представляет собой приподнятый, а в приводораздельной части почти вздыбленный край Европейской литосферной плиты, под который подтянуты тектонические пластины, слагающие южный склон хребта. Все толщи пород, слагающих хребет как на северном, так и на южном склонах, наклонены на север. Тектонические пластины, слагающие

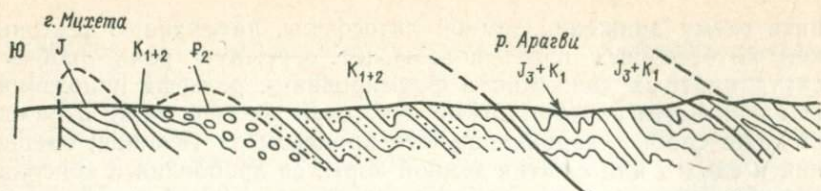


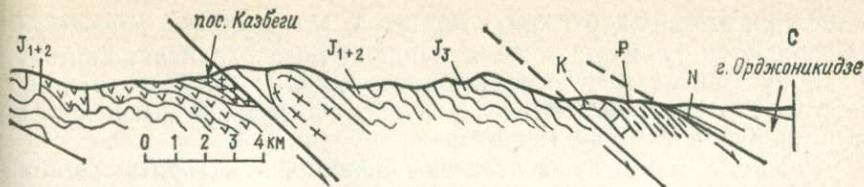
Рис. 32. Разрез через Большой Кавказский хребет в отчетливо видна моновергентная структура хребта на всем его протяжении от тектонических пластин и складчатых комплексов

южный склон хребта, в 1920—1930-х гг. были изучены и закартированы геологами В. П. Ренгартеном (рис. 32) и Н. Б. Вассоевичем; в последние годы их исследование было продолжено П. Д. и И. П. Гамкредидзе и другими геологами. Самые верхние тектонические пластины южного склона сложены наиболее древними по возрасту юрскими толщами, ниже лежащие — ритмичными флишевыми толщами мелового возраста. Еще ниже залегает олистостромовый комплекс эоценового возраста — мусорная толща глыб, пластин и обломков, падавших на дно эоценового моря при движении по дну тектонических пластин и покровов. Этот комплекс хорошо прослеживается на космических снимках. Еще ниже залегают молодые неогеновые толщи, слагающие самые нижние тектонические пластины. Как свидетельствуют сейсмические толчки, эти пластины и ныне продолжают подтягиваться под Большой Кавказский хребет.

Большой Кавказский хребет представляет собой типичный пример линейного орогена — относительно просто устроенного, вытянутого в одном направлении горного сооружения (рис. 33). Это структура сжатия, рассеченная поперечными трещинами, к части которых приурочена вулканическая деятельность (Эльбрус, Казбек, Кельское вулканическое плато).

Наиболее исследованным линейным орогеном, структура которого продолжает активно развиваться и усложняться, являются Альпы. Альпы образовались в результате подтягивания континентальной коры Европы под напозлающие на нее тектонические покровы Гондваны, когда-то представлявшие собой северное продолжение Африканского континента. В Альпах эти покровы получили название Австро-Альпийского пакета тектонических пластин. Под Австро-Альпийскими шарьяжами залегают тектонические комплексы океанического и островодужного происхождения — Пеннидский комплекс шарьяжей. На космических снимках многопокровная шарьяжная структура Альп выражена менее отчетливо, чем на Кавказе, отчасти потому, что она более усложнена наложенными складчатыми тектоническими деформациями, сдвигами, поворотами, скручиванием отдельных участков первоначально линейной структуры Альп.

Еще более сложно, чем Альпы, устроены горные страны, которые называют мозаичными орогенами, — обширные площади,



районе Военно-Грузинской дороги (по В. П. Ренгартену).

г. Орджоникидзе на севере до г. Мцхета на юге с общим падением осадочных толщ. на север. N — неоген; P — палеоген; K — мел; J — юра.

занятые горными хребтами различной ориентировки и разделяющими их плоскогорьями и впадинами. Типичными примерами таких горных стран являются Иранское нагорье или хребты и плато Алтая, Казахстана, Джунгарии и Монголии. Здесь мы видим следы вихревых закручивающихся движений, совершенно изменивших форму горных хребтов и складок, первоначально имевших, вероятно, такую же линейную ориентировку, как Кавказ или Урал.

В других случаях, например в Гималаях, Каракоруме, в пределах Тибета, линейная форма хребтов сохраняется, но континентальная кора на обширных пространствах сдвигает свою мощность в результате активных субдукционных процессов. Здесь находятся высочайшие горные вершины Земли — Джомолунгма (Эверест) (рис. 34), Чогори и др. На космических снимках этих горных стран отчетливо видны поперечные разрывы и расколы, представляющие собой естественную реакцию вещества верхних пластин на глубинное давление литосферной плиты Индии, подтягиваемой под Тибет.

Особый тип горных сооружений представляют собой обширные концентрические сводовые поднятия, такие, например, как Центральный Французский массив (см. рис. 36). Водораздельные части таких поднятий иногда залиты кислыми лавами. Эти своды кажутся, на первый взгляд, сооружениями, независимыми от линейных горных хребтов; но они часто образуются именно вблизи мест перегибов и сочленения крупных активно растущих линейных хребтов (в рассматриваемом случае — Пиренеев и Альп).

## Глава VIII

### ЩИТЫ И РАВНИНЫ ПЛАТФОРМ

Большая часть нашей страны занята не горами, а равнинными областями — Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнинами и Туранской низменностью, Среднесибирским плоскогорьем. Эти обширные равнинные пространства на космических снимках выглядят непохоже друг на друга. Больше

сходства, пожалуй, у горных областей. На равнинах нагляднее проявляются климатические и ландшафтные различия; снимки одной и той же местности в разные сезоны разительно отличаются друг от друга. Иногда трудно поверить, что мы видим снимки одной и той же территории.

Равнины Земли гуще заселены людьми, чем горные регионы. Поля, пашни, сельскохозяйственные угодья, ирригационные системы занимают обширные участки материковых платформ. Поэтому на космических снимках равнинных районов часто преобладают изображения современных следов человеческой деятельности. Несмотря на это, по таким снимкам можно изучать глубинные структуры, проследивать главнейшие прогибы и поднятия, системы разломов, следы размещения древних ледников и их краевые моренные валы, сетки древних речных долин и систем орошения далекого прошлого, береговые линии высохших морей и озер, следы тектонических смещений, районы вулканических извержений.

Возможность видеть разрывные нарушения и элементы геологического строения территории как бы просвечивающими сквозь почву, растительность, снежный покров, наносы поверхностных отложений и т. д. объясняется тем, что между этими поверхностными элементами и более глубокими геологическими структурами существуют определенные связи. Например, выходы тепловых потоков или повышенная влажность проявляются в растительности и т. д. Эти связи на больших территориях более отчетливо прослеживаются на мелкомасштабных генерализованных изображениях (см. о генерализации в главе I).

Участки платформ, в пределах которых складчатый фундамент выходит на поверхность, были названы в 1885 г. знаменитым австрийским геологом Э. Зюссом щитами платформ. На космических снимках они и в самом деле похожи на щиты — иногда округлые, иногда ограниченные геометрически правильными системами разломов. Поверхность щитов на локальных и детальных космических снимках имеет шагреневый, шероховатый облик. Она изоборждена огромным числом разрывов и трещин, имеющих закономерную ориентировку. Особенно характерны в этом отношении Балтийский и Канадский щиты.

На космических снимках хорошо видно, что щиты имеют блоковое строение и что движения по границам блоков продолжаются и в настоящее время. Так, например, северо-восточная часть Балтийского щита — Кольский полуостров — расчленена разломами запад-северо-западного простирания, приблизительно параллельными северной и южной береговым линиям полуострова, на три блока (рис. 35). Каждый блок состоит из серии тектонических чешуй, полого наклоненных и погружающихся одна под другую, в северном блоке — на север, в южном — на юг. Центральная часть бассейна Белого моря, включающая Кандалакшскую и Двинскую губы, вероятно, представляет собой опущенный блок.

В центральной части Кольского полуострова прослеживается цепочка концентрических горных поднятий, сложенных массивами апатитоносных щелочных пород. Особенно отчетливо видны два массива близ Умбозера — Хибинский и Ловозерский. Здесь находятся наиболее крупные из разрабатываемых месторождений апатита на территории нашей страны. Эти массивы, так же как и родственные им по составу массивы Ветреного Пояса Беломорья, щелочные и ультращелочные комплексы Финляндии, Швеции, Норвегии, а также Южной Африки (провинция Карру, массив Инсизве), возможно, были сформированы в результате проплавления континентальной литосферы восходящими струями выплавки из мантийного вещества, а их размещение маркирует направление перемещений литосферных плит над горячими точками в геологическом прошлом.

Не все выходы кристаллического фундамента на поверхность континентов прослеживаются на космических снимках с такой отчетливостью, как структура Балтийского щита, которая обновлена и подчеркнута следами движений ледников и размещением послеледниковых озер. Границы Украинского кристаллического массива в южной части Восточно-Европейской платформы дешифрируются на космических снимках с трудом. На зимних космических снимках и особенно на снимках со снежным покровом они видны лучше, чем на снимках, полученных в летнее время. Легче определены границы Алданского щита на востоке СССР, но и они выражены на космических снимках не очень четко.

С большой наглядностью на космических снимках прослеживаются границы древних оледенений. Они подчеркнуты расположением краевых моренных валов, распределением речных и озерных послеледниковых отложений, характерным грядово-линейным рельефом. Большинство краевых моренных валов в Европе и Северной Америке имеет выдержанную овальную форму, что дает основание рассматривать покровные ледники Северного полушария в качестве грандиозных овально-концентрических или полуконцентрических структур.

На космических снимках отчетливо прослеживаются направления перемещений древних ледников, пути движения ледовых масс. Это позволило, в частности, геологу В. И. Астахову не только подтвердить существование обширного ледового покрова на севере Западной Сибири, но и установить, что центры оледенений находились на шельфе Евразии, в бассейне Карского моря, а не на Урале и не на Среднесибирском плоскогорье, как считалось ранее.

Если на топографических картах равнинные области материков резко отличаются от горных областей, то на космических снимках многих регионов Земли и особенно на глобальных и региональных космических снимках равнинный или горный характер местности далеко не всегда столь очевиден. Так, напри-

мер, структура Франко-Бельгийского угольного бассейна на космофотографической карте Франции, смонтированной из снимков, полученных со спутника «Ландсат-1» (рис. 36), выражена более отчетливо и легче дешифрируется, чем структура таких горных хребтов, как Вогезы или Шварцвальд.

Большую и чрезвычайно важную информацию дают космические снимки для изучения существовавших в недавнем геологическом прошлом рек и озер. По ним оказывается возможным реконструировать системы древних речных русел крупнейших рек Средней Азии — Амударья, Сырдарья, Зеравшана. При этом, если средневековые и античные русла и протоки Амударьи и Сырдарьи — Дарьялык, Дaudан, Узбой, Жанадарья, Акчадарья — имеют хорошую сохранность и легко дешифрируются как на космических снимках, так и на аэрофотоснимках, то более древние раннеголоценовые и плейстоценовые системы речных долин и озерных водоемов Центрального и Северо-Западного Кызылкума, Заунгузских и Низменных Каракумов значительно легче и точнее прослеживаются на локальных космических снимках, чем на аэрофотоснимках и их монтажах.

Для изучения систем древних озер особый интерес представляют снимки Центральной Азии, Джунгарии, Монголии и Западного Китая. Многие районы этой обширной территории представляют собой области замкнутых котловин, не имеющие сейчас или не имевшие в прошлом стока в океан. На космических снимках видны границы обширных озерных водоемов, которые заповняли эти котловины в палеогене и неогене. Некоторые из этих бессточных морей по площади не уступали современному Каспийскому морю. Таким крупным водоемом было Джунгарское озеро-море (рис. 37), отложения которого изучены в последние годы Б. А. Борисовым. Остатками этого водоема являются озера Зайсан, Улюнгур, Бога-Нур, Айрык-Нур, Телли-Нур, Эби-Нур. Меньшими по размеру были Восточно-Кашгарское и Турфан-Курукгольское озера и системы озер Внутренней Монголии, Алашания и Гоби.

Интересными и загадочными структурами равнинных областей являются звездчатые структуры, которые можно видеть на многих космических снимках континентов, в частности в Северной Африке (см. рис. 4, 10), на территории Турции и на северо-западе Ирана, в Швеции, Финляндии, на Канадском щите, на западе США и в районе плато Колорадо, в Восточной Австралии и в менее четко выраженной форме на западном берегу Ладожского озера (см. рис. 53), в бассейне р. Тым, на востоке Западно-Сибирской низменности и в среднем течении Подкаменной Тунгуски. Структуры такого типа представляют собой хорошо видимые на космических снимках системы линейных разрывов различной ориентировки, расходящиеся из одной точки, пучки разбегающихся трещин, напоминающие трещины в стекле, пробитом пулей. Некоторые исследователи предполагают, что эти структуры имеют метеоритное происхождение; но их

связь с общими системами деформаций коры континентов, и в частности с системами крупных сдвиговых смещений, которые будут рассмотрены в следующей главе, дают основание предполагать, что звездчатые структуры имеют эндогенное происхождение и связаны с глубинными взрывными процессами, деформирующими жесткую внешнюю кору Земли не снаружи, а изнутри.

## Глава IX

---

### НАША ПОДВИЖНАЯ ПЛАНЕТА

Несколько столетий назад Земля представлялась людям центром Вселенной. Даже места посмертного обитания души предполагались где-то поблизости от нее. Сейчас мы знаем, что наша планета представляет собой лишь частицу подвижного быстро меняющегося мира. Но саму Землю мы по инерции продолжаем считать относительно стабильной. Когда мы говорим о ее движении в пространстве, мы рассматриваем ее как динамически единое тело, вращающееся вокруг своей оси и вокруг Солнца с определенной скоростью, незначительно изменяющейся со временем.

Между тем, это не так. Земля состоит из оболочек, для каждой из которых характерны свои формы движения вещества, своя скорость вращения. Вещество жидкого ядра Земли вращается медленнее, чем ее мантия и кора, отставая от внешних оболочек на один оборот приблизительно за 2 тыс. лет. В результате общая картина изолиний магнитного поля нашей планеты систематически смещается — «дрейфует» в западном направлении со скоростью около  $0,2^\circ$  в год по долготе. Скорость смещения вещества ядра относительно мантии Земли, которое является причиной наблюдаемого дрейфа аномалий, достигает, таким образом, нескольких километров в год, в сотни тысяч раз превышая скорости перемещений литосферных плит.

В главе VI уже говорилось о том, что для перемещений вещества в верхней мантии Земли, интенсивность которых можно установить по скорости «всплывания» континентальной литосферы после снятия с нее ледниковых нагрузок, характерны скорости, измеряемые десятками метров в год. Они в сотни раз меньше скоростей движений вещества ядра; и все же вещество астеносферы перемещается в сотни раз стремительнее, чем вещество верхних горизонтов литосферы Земли.

Но и эта наименее подвижная из земных оболочек подвержена достаточно активным деформациям. В этом можно убедиться, рассматривая космические снимки Земли. Мы видим на них знакомые нам с детства по географическим картам контуры

материков и океанов, рек, морей, горных хребтов. И все же как непохожи космические изображения Земли на привычные карты! Главное различие заключается в динамичности и подвижности земной поверхности, с удивительной отчетливостью отраженной на космических снимках и совершенно не передаваемой географическими картами.

Космические снимки, эти моментальные фотографии подвижного лика нашей планеты, несут в себе огромное количество геодинамической информации. Они убедительно показывают высокую мобильность литосферы Земли и одновременно системность и взаимосвязанность большинства новейших и современных разрывных и пластических деформаций земной поверхности, показывают единство геодинамической картины мира. На космических снимках четко прослеживаются рифтовые зоны расколов и раздвигов континентальной коры Земли, зоны крупных сдвигов, зоны сжатия и поддвигов, маркируемые системами горных хребтов, линеаменты, концентрические структуры разных размеров. Для понимания общих закономерностей размещения этих структур целесообразно начинать их изучение с глобальных космических снимков Земли, постепенно переходя ко все более крупномасштабным космическим снимкам.

Дешифрирование космических снимков можно сравнить с дешифрированием неизвестной письменности, скрывающей звучание незнакомого языка. Здесь, как и при дешифрировании древней письменности, исследователю помогает метод аналогий. Большую пользу может принести изучение структур разных масштабов, выделение подобных друг другу форм структур в облачном покрове и в литосфере (рис. 38), на космических снимках разных уровней генерализации (от глобальных до детальных), на аэрофотоснимках, в скальных выходах, обнажениях, образцах горных пород, микрофотографиях шлифов, а также при изучении динамических моделей — искусственных и естественных — вплоть до таких, как растрескивание и оседание стенок жилищ, перекося обоев и т. д. Сравнительное изучение структур изгиба, разрывов, смещений в полированных срезах плит мрамора, гнейса, перидотита, облицовке станций метро, стен зданий, дворцов, соборов также может служить прекрасной школой для геологов, занимающихся дешифрированием дистанционных изображений.

Такой путь исследований рельефа и ландшафтов земной поверхности, дешифрируемых на космических снимках, приводит к выявлению геодинамического единства структур поверхности современных материков, единства движений, формировавших рельеф, позволяет установить прямую связь этих движений с перемещениями литосферных плит и блоков, из которых они состоят, с поворотами, наклонами, скупиванием этих блоков, подтягиванием их друг под друга или же, наоборот, с их растягиванием и разрывом. Изучение космических снимков, обрабатываемых с использованием гипсометрических данных и с уче-

том сейсмологических материалов и результатов гравиметрических съемок, позволяет переходить от тектоники литосферных плит к глобальному динамоморфологическому анализу рельефа, позволяет детально изучать внутриплитную тектонику. Большую роль в разработке методики изучения динамики новейших и современных тектонических движений сыграли работы Дж. Му-ди и М. Хилла, Н. Павони, Т. Кимура, А. В. Пейве, В. С. Буртмана, П. Молнара, П. Таппонье, В. Г. Трифонова, В. И. Макарова, В. П. Уткина и других исследователей.

Все типы зон раздвигов, сдвигов и сжатия на земной поверхности являются отражением единой системы конвекционных движений вещества земной мантии. Зоны формирования океанической коры — срединно-океанические хребты — и зоны формирования континентальной коры — зоны субдукции — образуют на поверхности Земли по две осесимметричных системы, которые закономерно ориентированы относительно оси, пересекающей поверхность Земли в районе Больших Зондских и Малых Антильских островов вблизи земного экватора (рис. 39—40). Это показывает, что в глубинах Земли в настоящее время действуют две крупные ячеи мантийной конвекции. Эпохи двучейной конвекции, как полагают советские геофизики О. Г. Сорохтин и С. А. Ушаков, в геологическом прошлом чередовались с эпохами одночейной конвекции, когда все континенты Земли объединялись в один огромный континент Пангею.

Движение литосферных плит и блоков внутри плит координировано с движением Земли как планеты и с ее вращением вокруг собственной оси. Ориентировка систем молодых нарушений на континентах отражает закономерно направленные относительно оси вращения Земли движения литосферных блоков, чаще всего от экватора к полярным областям.

В Северном полушарии наиболее крупные системы нарушений обрамляют движущиеся в северном направлении литосферные плиты и блоки — Тихоокеанскую плиту, в Азии — Аравийский и Индийский блоки Гондваны, в Средиземноморье — Адриатический и Малоазийский литосферные блоки. На левых, западных, флангах этих движущихся блоков развиваются системы левых сдвигов, а на правых, восточных, флангах — системы правых сдвигов (рис. 41). Иногда при этом литосферные блоки испытывают слабое вращательное движение против часовой стрелки и разворачиваются в северо-западном направлении. Во фронтальных частях смещающихся блоков формируются поддвиговые горные системы типа Загроса, Тавра, Понта, Кавказа на северном и северо-восточном обрамлении Аравийской плиты; Сулеймановых гор, Памира, Каракорума, Тибета и Гималаев на обрамлении Индийской плиты. Одновременно во внутренних и тыловых участках смещающихся блоков и по их обрамлению происходят растяжения и раздвижки, раскрываются рифты Красного моря и Аденского залива, формируются

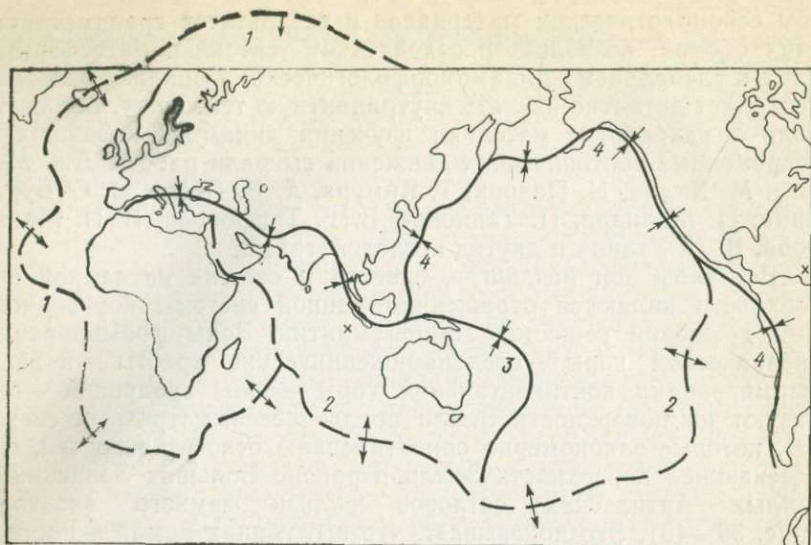


Рис. 39. Планетарные системы зон растяжения и сжатия, ограничивающие главнейшие литосферные плиты Земли (по О. Г. Сорохтину и С. А. Ушакову).

1—2 — системы океанических рифтовых зон и срединно-океанических хребтов (1 — Арктическо-Атлантическо-Западноиндийская, 2 — Индийско-Антарктическо-Восточнотихоокеанская); 3—4 — системы зон субдукции и сопряженных с ними трансформных сдвигов (3 — Средиземноморско-Индонезийско-Кермадекская, 4 — Филиппино-Алеутско-Андийская).

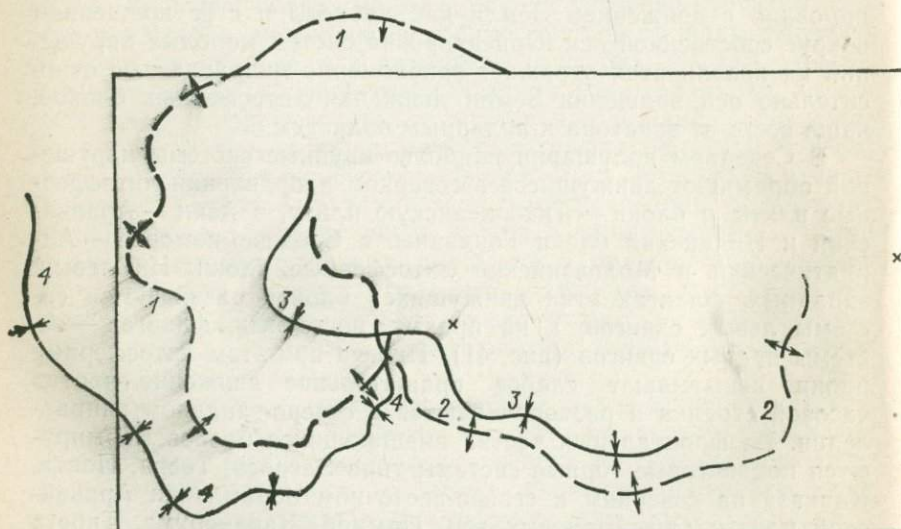


Рис. 40. Если повернуть любую из двух отмеченных на рис. 39 систем на  $180^\circ$  вокруг оси симметрии, проходящей через центр Земли и пересекающей ее поверхность в районах Индонезии (около острова Ява) и Карибского бассейна (около острова Куба) (места пересечений отмечены крестиками), то обе системы частично совместятся друг с другом — отчетливо видна их осесимметричная структура (реконструкция автора).

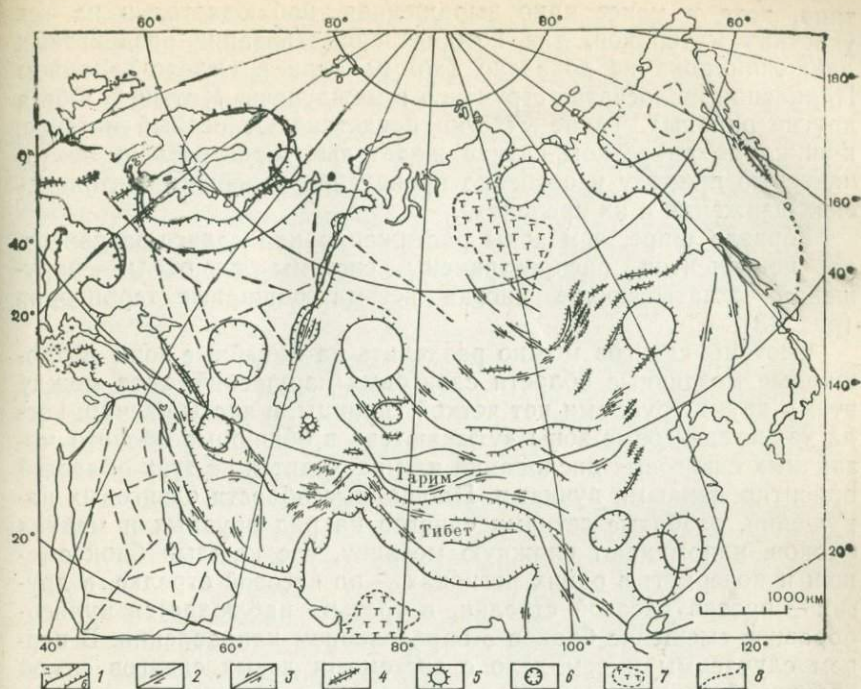


Рис. 41. Схема новейшей тектоники и геодинамики Северной Евразии по данным дешифрирования космических снимков и результатам наземных геологических исследований. 1 — шарьяжи и надвиги (а — швы главнейших шарьяжных перекрытий и сутурные зоны, б — шарьяжи и надвиги); 2 — правые сдвиги; 3 — левые сдвиги; 4 — зоны новейших раздвигов и сдвиго-раздвигов; 5 — крупнейшие сводовые поднятия; 6 — крупнейшие концентрические депрессии и воронки; 7 — поля развития траппов; 8 — линейменты невыясненной геодинамической природы.

регионы базальтового вулканизма типа Афарского региона или плоскогорья Декан.

В главе V уже говорилось о характерном полосчатом облике раздвиговых зон. Такой облик типичен не только для зон активных трещинных вулканических излияний (Исландия — рис. 42, а, Афар, Великие Африканские рифты), но и для областей, где вулканизм не прослеживается или имеет ограниченное распространение. Характерный пример такой полосчатости представляет собой Байкальская рифтовая система (рис. 42, б), где расстояние между параллельными друг другу зонами поднятий и депрессий составляет в среднем около 30—35 км. Сходную структуру имеет система рифтов и грабенов Шаньси в Китае.

Растяжение и вторичный рифтогенез отмечаются и для областей над субдукционными зонами (Центральный грабен Камчатки; рифтовая система Анд, проходящая через озера Поопо и Титикака; рифтовая система Охотского и Японского морей). В некоторых случаях характерная полосчатость раздвигового

типа, хотя и менее ярко выраженная, наблюдается и на тех участках материков, для которых существование раздвиговых движений пока не доказано (холмы Бера в Северо-Западном Прикаспии, полосчатая структура в междуречье Иртыш — Обь и другие районы). Такие участки представляют особый интерес; в каждом конкретном случае желательны проверять их тектоническую природу и особенно проявления новейших тектонических движений в их пределах.

Гораздо шире, чем зоны растяжения или сдвиго-раздвигов, на континентах распространены системы сдвиговых нарушений, охватывающие иногда весьма обширные территории (рис. 43).

Системы сдвигов можно разделить на линейные зоны и площадные мозаичные области сдвиговых нарушений, хотя между этими двумя группами нет четкой границы, и часты случаи, когда узкие сдвиговые зоны «утыкаются» в обширные области мозаичных сдвиговых дислокаций или расходятся из этих областей ориентированными пучками. Площадные области сдвиговых нарушений, разбитые сетками сдвигов на ряд крупных и мелких блоков, напоминают сложную мозаику, где каждый блок смещен и повернут: в одних регионах — по часовой стрелке, в других — против часовой стрелки, в третьих наблюдается кулисообразное смещение блоков в определенном направлении. В первом случае мы имеем дело с системами левых сдвигов самой различной ориентировки, во втором — с системами правых сдвигов, в третьем — с сочетанием левосторонних и правосторонних смещений по разрывам различного простирания. В некоторых случаях можно наблюдать наложение разнонаправленных систем сдвигов.

Характерным примером хорошо изученной системы сдвигов и поддвигов являются разрывы северного обрамления Аравийской плиты. Отчетливо выраженные в рельефе и прекрасно дешифрируемые на снимках системы левых сдвигов востока Синайского полуострова, Мертвого моря, Ливана и Сирии (рис. 43, а) через район Османие восточнее залива Искендерон переходят в зону поддвигов Восточного Армянского Тавра; а восточнее, к юго-западу от озера Ван, эта зона смыкается с системой правых сдвигов Центрального Курдистана, ориентированных в север-северо-западном направлении.

Аналогичное строение имеет система сдвигов и поддвигов, ограничивающих с запада, севера и северо-востока Индийскую платформу. Система левых сдвигов Сулеймановых гор и Северо-Восточного Афганистана переходит в Дарваз-Каракульскую систему поддвигов Северного Памира, ограниченную с востока правыми сдвигами северо-западного и север-северо-западного простирания — Памиро-Каракорумским и Тяньшань-Куньлунским сдвигами. Эти системы дислокаций обрамляют Джеламский выступ Индийской платформы, подтянутый под Северную Евразию.

Хорошо прослеживается на космических снимках структура северной части описываемой зоны сжатия, где Памир граничит с Тянь-Шанем. Орографическая граница между Тянь-Шанем и Памиром почти прямолинейна и проходит по Алайской долине и долине р. Сурхоб. Южнее располагаются высокие хребты Петра Первого и Заалайский, сложенные относительно молодыми толщами осадков мезозойского и кайнозойского возраста, сложно смятыми в результате сближения континентальных блоков Северной Евразии и Индии. При этом часть Южного Тянь-Шаня оказалась приподнятой под давлением под нее массами, отброшенной на юг, сдвинутой к западу и изогнутой в виде дуги, вошедшей в состав системы хребтов Памира. Северный Памир является, по всей вероятности (что подтверждается и геофизическими данными), этим оторванным куском Тянь-Шаня, залегающим на мезозойских и кайнозойских толщах в виде огромной нащепки, сложенной более древними палеозойскими породами.

Системы сдвигов не ограничиваются районами взаимодействия Северной Евразии с Аравией и Индией. Активно деформируются и обширные внутренние участки самой Северной Евразии — Казахстан, Тянь-Шань, Алтай, Монголия, Прибайкалье и Забайкалье. Они разбиты сетью хорошо дешифрируемых на снимках разрывов, многие из которых являются сдвигами или сбросо-сдвигами. Наиболее крупные сдвиги северо-западного простирания, параллельные Памиро-Каракурумскому и Тяньшань-Куньлуньскому (частью которого является Таласо-Ферганский сдвиг), такие как Джалаиро-Найманский, Актаский, Атасуйский, Чингизский, являются правыми сдвигами, движение по которым активно происходит и в настоящее время.

Левые и правые сдвиги распознаются на космических снимках по характерным S- и Z-образным рисункам связанных с ними изгибов линейных элементов рельефа и складок в зонах сдвигов (рис. 43). В некоторых случаях по рисунку складчатых дислокаций, примыкающих к зоне сдвига, можно установить, какое крыло сдвига испытывало более активное движение: молодые складчатые структуры, как правило, под острым углом «притыкаются» к краю активно движущегося жесткого блока, слегка напоминая складки, возникающие на ткани при быстром движении по ней утюга.

Сдвиговая структура характерна в некоторых случаях не только для отдельных зон складчатых сооружений, но и для протяженных горных хребтов. Такие хребты, как Урал и Аппалачи, являются типично левосдвиговыми; тогда как береговые хребты на западе Северо-Американского континента, в США и Западной Канаде — типично правосдвиговые. Характерным примером правосдвигового хребта является и хребет Копетдаг (рис. 43, б).

Зоны сжатия и скупивания вещества земной коры хорошо видны на космических снимках. Они захватывают обширные

участки континентов; огромное большинство гор — это именно зоны сжатия. Космические снимки дают богатую информацию для изучения тектоники этих зон и прилегающих к ним участков материков. В некоторых случаях при сжатии поддвиговые движения сочетаются с вращательными движениями блоков. В результате возникает сложное чередование зон скупивания и рифтогенных структур, что очень характерно, например, для районов западного и южного Средиземноморья. В зонах, расположенных между участками наибольшего сжатия и дробления континентальной коры, в частности в пределах Ирана и Средиземноморья, наблюдается широкое развитие структур вращения, петлеобразных поворотов линейных складчатых зон. Можно наглядно наблюдать процесс превращения сжимаемых и скручиваемых линейных орогенов в мозаичные складчатые области. Этот процесс, как правило, сопровождается активным вулканизмом. Линейные зоны сдвигов в таких районах нередко переходят в области площадного распространения сдвиговых нарушений. Такие переходы наблюдаются, в частности, в пределах системы левых сдвигов субмеридионального простирания, которая протягивается через Западный Пакистан и Восточный Афганистан и ограничивает с запада Памир. Для площадных систем сдвигов обычно характерно наличие равных интервалов между крупнейшими параллельными разрывами.

Движения по разрывам, дешифрируемым на космических снимках, продолжают и в настоящее время. В последние годы появилось большое число работ, посвященных сопоставлению сейсмичности с элементами дешифрирования космических изображений. Как показывают эти исследования, в районе землетрясения за 4—10 дней до сейсмического толчка по системам глубинных трещин и разрывов почти всегда начинается происходить выброс газов, в частности гелия, из глубин Земли в атмосферу. Это приводит к образованию в атмосфере кольцевых облачных структур, которые напоминают колечки дыма из трубки, зависающие над сейсмоопасным участком. Такие кольца, в частности, были отмечены на космических снимках над районом г. Газли в Средней Азии накануне как первого, так и второго Газлинских землетрясений в апреле и мае 1976 г.

Изучение новейшей и современной геодинамики на основе обобщения данных наземных исследований современных тектонических движений, данных дешифрирования материалов космических съемок и геофизических данных (прежде всего сейсмологических) в настоящее время только начинается. Но уже сейчас очевидно, что формы рельефа, прослеживающиеся на космических снимках континентов Земли, не могли быть созданы при полной жесткости и стабильности внутренних частей литосферных плит. Земная кора мобильнее, чем это обычно предполагается в классической теории плитной тектоники. Материалы космических съемок Земли, гипсометрических съемок земной поверхности и сейсмологии дают для понимания

межплитных и внутриплитных тектонических движений обширную информацию, особенно ценную при ее комплексном использовании.

## Глава X

### КОНЦЕНТРИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ

Одним из самых замечательных открытий, которые принесло изучение космических снимков Земли, было открытие на ее поверхности систем концентрических и кольцевых структур различных, иногда грандиозных, размеров, «пузырей Земли», имеющих широчайшее распространение на всей земной суше.

О существовании концентрических структур знали, конечно, и раньше, до начала космической эры. Но изучавшиеся геологами и геоморфологами структуры имели обычно небольшие размеры, их диаметр измерялся километрами или первыми десятками километров. Это были главным образом структуры магматического происхождения — вулканы, кальдеры проседания, глубинные срезы разрушенных вулканических построек, концентрические массивы застывших на глубине магм, вихревые магматические воронки, расслоенные магматические комплексы. К этой группе структур близки кольцевые и концентрические комплексы магматических пород щелочного и ультращелочного состава, формирующие системы кольцевых даек (например, массив Фен в Южной Норвегии, массив острова Альнен в Швеции, многочисленные щелочные массивы Шотландии, Восточной и Южной Африки, Австралии, США, кольцевые гранитные интрузии Северной Нигерии, Судана, юга Зимбабве). Еще меньшие размеры имеют так называемые трубки взрыва, заполненные раздробленными брекчированными обломками глубинных пород коры и мантии — кимберлитовыми брекчиями, иногда содержащими алмазы.

Существовал и другой тип известных геологам концентрических структур: следы ударов падавших на Землю метеоритов — астроблемы, такие, например, как Аризонский метеоритный кратер (каньон Дьябло). Подобного рода структур несомненно ударного происхождения было известно немного, меньше сотни. Они имели сравнительно небольшие размеры (самая большая — 3,6 км в диаметре). Лишь в последние десятилетия было выявлено еще несколько десятков неизвестных ранее метеоритных воронок, часть которых имеет значительно большие размеры (например, Попигайская астроблема диаметром около 75 км).

Наконец, геологами неоднократно, еще со времен К. Риттера и Л. Эли де Бомона, описывались вихревые структуры центрального типа. Они были специально изучены и классифицированы в 1930—1950-х гг. известным китайским геологом

Ли Сы-гуаном, который установил среди них существование вихревых структур циклонического и антициклонического типа, закрученных как по, так и против часовой стрелки, а также более сложно построенных сдвигово-вихревых структур, соответствующих трем главнейшим выделяемым Ли Сы-гуаном типам сдвигов —  $\xi$  (кси),  $\eta$  (эта) и  $\varepsilon$  (эпсилон). Особенно грандиозны были описанные Ли Сы-гуаном сдвигово-вихревые структурные системы типа эпсилон, определенные им как «группы структур в форме лука и стрелы», в частности Сикано-Тибетская и Цилян-Холанская в Северо-Западном Китае и Тавро-Анатолийская в центральной части Малой Азии.

И все же перечисленные структуры центрального типа — концентрические, кольцевые, вихревые — казались несколько десятилетий назад достаточно редкими, экзотическими, гораздо менее распространенными на Земле, чем, например, на видимой с Земли стороне Луны.

Вот почему внимательное изучение космических снимков поразило ученых. Вся поверхность континентов Земли оказалась буквально испещренной правильными кругами, овалами, сводами, кольцами, полукружиями, дугами различных размеров — от огромных структур, имеющих многие сотни и даже тысячи километров в диаметре, до совсем небольших кружочков карстовых воронок тундровых озер, пологих, еле заметных сводовых поднятий, слегка искривляющих поверхность горизонтально залегающих осадочных толщ.

Некоторые концентрические структуры так велики и видны настолько четко на любом космическом снимке, что несомненно могут быть хорошо различимы при наблюдении поверхности Земли с других планет. Таковы, например, концентрические структуры Северной Африки — концентрическая депрессия Мурзук, овально-концентрическая структура Эль-Джуф, концентрическая структура Ришат — пологое сводовое поднятие платформенных осадочных толщ Западной Мавритании (рис. 44, а), таковы овальные сводовые поднятия и концентрические структуры западной части Северо-Американского континента, таков овал Богемского массива в центре Европы, структура Риад на Аравийском полуострове, вихревые структуры Центральной Анатолии, Центрального и Восточного Ирана.

При переходе от глобального и регионального масштаба космических снимков к локальному наблюдается все большее число концентрических структур (рис. 44, б, 45), прослеживающихся с разной степенью отчетливости, но почти всегда выраженных в рельефе, иногда подчеркиваемых искривлениями речных долин и береговых линий озер и морей, золовыми и аллювиальными наносами, растительностью, снежным покровом, увлажненностью, характером ландшафта. Такие области, как Турция, Армянское вулканическое нагорье, Иранское нагорье, Срединный Тянь-Шань, Центральный Казахстан, Алтай, Забайкалье, Иркутский амфитеатр, настолько густо насыщены

концентрическими структурами различных размеров, что на космических снимках высокого качества этих территорий дешифрованы многие сотни таких структур.

Интерес к концентрическим структурам резко возрос со второй половины 1950-х гг., особенно после появления работ американского геолога Э. Уиссера, показавшего приуроченность многих месторождений золота, серебра, меди, полиметаллов на западе США к концентрическим купольно-сводовым и кольцевым поднятиям, отчетливо выраженным в рельефе. Одной из первых книг о концентрических структурах, изданных в СССР, была монография Г. З. Поповой о кольцевых и линейных структурах Казахстана (1966), в которой впервые была показана огромная роль концентрических и кольцевых поднятий в геологической структуре и рельефе Казахского щита. Позже появились посвященные морфологии и металлогении концентрических структур и вопросам их происхождения и глубинного строения работы Я. Кутины, В. Д. Картера, Ф. Родса, И. Н. Томсона, М. А. Фаворской, В. В. Соловьева, О. Б. Гинтова, М. З. Глуховского, Б. С. Зейлика и многих других исследователей. Были опубликованы карты концентрических структур (структур центрального типа) и главных линейных элементов территории СССР, составленные В. В. Соловьевым и В. М. Рыжковой, В. Я. Ероменко и Г. Н. Каттерфельдом и другими авторами.

Что же представляют собой концентрические структуры? Как они образуются? Давно ли существуют? Почему они находят выражение в рельефе? Как они связаны с оруденением?

Концентрические структуры характерны для строения поверхностей всех планет, имеющих твердую оболочку. На всех планетах можно выделить два главных генетических типа таких структур: экзогенный (ударные структуры — астроблемы) и эндогенный, в котором структуры обязаны своим происхождением внутреннему развитию планеты. Количественное соотношение этих двух типов структур на разных планетах различно. На Земле огромное большинство концентрических структур относится ко второму типу.

По форме концентрические структуры Земли можно разбить на следующие главные группы: сводовые поднятия, концентрические и овально-концентрические прогибы и воронки, кольцевые поднятия и системы поднятий и прогибов, кольцевые рвы, концентрические системы «матрешка в матрешке», структуры вращения, вихревые структуры, взрывные структуры, ударные структуры. Многие крупные вулканические аппараты также имеют отчетливо концентрическую или овально-концентрическую форму. Особенно широким распространением на континентах пользуются купольные и купольно-кольцевые структуры.

Размеры концентрических структур очень различны. Диаметр крупных структур может достигать многих сотен километ-

ров (овально-концентрические структуры Невада, Монтана, Юта на западе США). Широким распространением пользуются структуры, имеющие диаметр 100—150 км, иногда слегка сплюснутые в широтном направлении, и структуры диаметром 30—50 км, почти всегда вложенные в более крупные.

Очень многие концентрические структуры имеют радиально-лучистое строение и характеризуются радиально устремленными к центру структуры лучами. Эти лучи в центральной части структуры обычно теряют отчетливость и лучше видны по ее краям. Для многих концентров характерно блоковое строение. При этом свод поднятия часто бывает разбит на три блока, из которых средний, осевой, опущен относительно двух крайних.

На происхождение концентрических структур в настоящее время нет единой точки зрения. Некоторые исследователи (Е. В. Павловский и О. Б. Гинтов, М. З. Глуховской) считают все или огромное большинство крупных концентрических структур земных материков чрезвычайно древними, архейскими или даже доархейскими, возникшими на лунной или нуклеарной стадии развития Земли. Б. С. Зейлик отстаивает тезис об их метеоритном, космогенном происхождении.

То, что мы знаем в настоящее время о строении и истории некоторых концентрических структур, накладывает определенные ограничения на представления об их генезисе. Возраст концентрических структур обычно может быть определен методом сравнительного анализа мощностей разновозрастных отложений внутри концентрической структуры и по ее обрамлению (на основании так называемого конседиментационного анализа мощностей). Большинство купольных структур представляет собой длительно живущие и постоянно растущие своды, время заложения которых определяется возрастом наиболее древних отложений, мощности которых резко сокращены в пределах свода и скачкообразно увеличиваются за его границами.

Рассмотрим, например, группу концентрических структур в западной части песков Кызылкум. Они отчетливо дешифрируются на космических снимках разных типов (рис. 45). Это длительно развивающиеся сводовые поднятия палеозойского складчатого фундамента Кызылкума. Каждое из них состоит из трех блоков, разделенных крупными, хорошо видимыми на снимках разломами. В каждой структуре средний блок поднят в меньшей степени, чем краевые, и представляет по отношению к ним структуру проседания. В краевых блоках отложения складчатого фундамента и прорывающие их магматические массивы выведены на поверхность и образуют невысокие каменные горные гряды, окруженные песками пустынь, — горы Букантау, Тамдытау, Ауминзатау и Кульджуктау. Складчатый фундамент этих гор сложен системами перекрывающих друг друга тектонических покровов, одни из которых сформированы офиолитовыми комплексами пород океанического

происхождения, другие — вулканическими породами и осадками палеозойских островных дуг, формировавшихся внутри существовавшего тогда океана, третьи — мусорными обломочными отложениями олистостромы, формировавшейся в процессе движения тектонических покровов по морскому дну. Все эти толщи слагают покровы и пластины, надвинутые друг на друга, а после этого искореженные, смятые в складки и прорванные магматическими гранитными массивами. На характер осадков в толщах, их мощность и литологические особенности границы наблюдаемых ныне концентрических структур совершенно не влияют. Это позволяет думать, что в период накопления и скупивания палеозойских толщ в процессе формирования континентальной коры этого региона (250—300 млн. лет назад) концентрических структур, которые мы в настоящее время наблюдаем, еще не существовало.

В отличие от толщ палеозойского складчатого фундамента осадочные толщи, накопившиеся в более поздние эпохи и образующие платформенный чехол изучаемой территории, которые имеют мезозойский и кайнозойский возраст, как по составу, так и по мощности зависят от границ сводовых структур. На протяжении последних 150 млн. лет рост этих сводовых поднятий (очень медленный и постепенный) продолжался непрерывно и контролировал как накопление, так и размыв осадков внутри сводов и по их обрамлению. Так, в меловую эпоху здесь располагалась дельта крупной реки, впадавшей в океан Тетис. Иногда воды океана заливали на время эту окраинную часть континента. Все три сводовых поднятия тогда уже существовали. В периоды самых крупных трансгрессий они заливались водами океана, но состав и мощность накапливавшихся осадков были различны внутри сводов и вне их пределов. Внутри сводов осадков накапливалось в 3—5 раз меньше, чем в прилегающих регионах. А когда наступала эпоха регрессии и размыва, осадки внутри сводов быстрее размывались вследствие их более быстрого поднятия. Поэтому мощность меловых толщ в пределах сводов обычно не превышает 200—300 м, достигая 1 км и более в районах их обрамления. Такие же соотношения максимальных мощностей характерны для палеогеновых, неогеновых и четвертичных осадочных толщ (для палеогена — 100 и 500, для неогена — 100 и 300, для четвертичных отложений — 30 и 200 м соответственно). Различна, вероятно, и интенсивность размыва палеозойского фундамента, значительно более активная внутри концентрических структур, чем вне их пределов; но ее мы не можем измерить.

Все сказанное позволяет считать, что концентрические структуры Кызылкума образовались после накопления и деформаций толщ палеозойского фундамента, но до формирования толщ мезозойско-кайнозойского платформенного чехла. В других регионах (Казахстан, Алтай, Урал, Кавказ) возраст

концентрических структур также хорошо коррелирует с возрастом эпох орогенеза, а сами концентрические структуры располагаются как внутри формирующихся в эти эпохи складчатых поясов, так и на краях более древних областей складчатости и платформ, прилегающих к этим поясам. Поэтому можно думать, что большинство купольных структур (наиболее распространенного типа концентрических структур) формировалось над зонами субдукции и горячими точками геологического прошлого в результате воздымания и застывания в верхах мантии и в формирующейся континентальной коре поступающих снизу порций дифференцированного разуплотненного вещества. Эти разуплотненные «пузыри», иногда формирующиеся в результате ряда последовательных этапов дифференциации и последовательной кристаллизации остаточных расплавов, нередко образуют системы вложенных одна в другую купольных структур разных размеров типа «матрешка в матрешке».

Концентрические структуры могут иметь поэтому самый различный возраст — от архейского до четвертичного. При этом многие концентрические структуры древних платформ имеют относительно молодой возраст, связанный с магматической активизацией краев этих платформ в результате замыкания границивших с ними океанических бассейнов. В других случаях концентрические структуры представляют собой пузыри разуплотненного вещества над горячими точками (например, девонские щелочные массивы Кольского полуострова, массивы Судана и Нигерии).

Менее понятна природа крупных депрессий, иногда образующих системы обширных зон проседания, нередко также сложно вложенных одна в другую (Южный Каспий, Северный Прикаспий). Это огромные воронки, с удивительной интенсивностью затягивающие в глубины земной коры толщи осадков, которые накапливаются в центральных частях этих воронок. Так, например, осадки плиоценовой эпохи, имеющие возраст, не превышающий 4—5 млн. лет, во внутренних частях Южно-Каспийской впадины затянута на глубину до 20 км, а возможно, и более. Следует обратить внимание на антиподальность некоторых таких структур, активно развивающихся в настоящее время, горячим точкам в противоположащих им регионах земного шара. Может быть, эти гигантские воронки представляют собой структуры, родственные горячим точкам, но с обратным направлением движения, струйные водовороты мантийного вещества, устремленные в глубь мантии, к земному ядру.

Конечно, далеко не все концентрические структуры являются структурами изостатической компенсации, результатом существующей разуплотненности вещества в мантии или низах земной коры. Существует большое число динамических структур типа вихрей или структур вращения (рис. 46, а), а также застывших вихревых структур, прорвавшихся к поверхности

Земли струй магматических расплавов. Типичными примерами таких структур являются вихревые гранитные массивы Северной Африки (рис. 46, б), Турции, Ирана и Китая.

Сопоставление материалов дешифрирования космических снимков и составленных по данным этого дешифрирования карт линеаментов и концентрических структур с металлогеническими картами и картами размещения месторождений рудных полезных ископаемых показывает, что большинство крупнейших рудных узлов и месторождений почти всегда приурочено либо к центральным частям концентрических структур, либо к их крайним границам, либо к местам пересечения систем линейных и радиальных разрывов с концентрическими структурами и к узлам сети линеаментов.

Так, на западе США выделяются грандиозные овальные структуры диаметром от 250 до 650—700 км, отчетливо дешифрируемые на космических снимках (структуры Невада, Монтана, Юта, Биг-Хорн, Блэк-Хилс, Колумбийского плато, Большого Бассейна — рис. 31, 47). На участках пересечения этих и других более мелких концентрических структур широтными системами разломов (Льюис-и-Кларк, Снейк-Ривер, 40-й параллели, 38-й параллели, Техас, прямо продолжающимися по простиранию океанические разломы Мендосино, Пайонир, Мирри), а также зонами рудных поясов Кордильер северо-восточного направления располагаются такие крупнейшие месторождения золота, серебра, меди, полиметаллов, как Бингем, Бьют, Тинтик, Голдфилд, Юта-Коппер, Клаймакс, Силвертон, Крипл-Крик, Ледвилл, Невада-Сити, Грасс-Вели и др.

Закономерная приуроченность эндогенных месторождений золота, серебра, меди, полиметаллов, олова, вольфрама, сурьмы, ртути, редкометального оруденения и даже алмазоносных кимберлитовых трубок к узлам пересечений систем линеаментов разных простираний с границами крупных концентрических структур отчетливо прослеживается и при дешифрировании космических снимков территории СССР. Особенно наглядно проявляется такая приуроченность в складчатых областях и на щитах платформ. В Кызылкуме месторождения золота (например, Мурунтау) отчетливо приурочены к окраинным частям крупных концентрических структур Тамды и Ауминза, к тем их местам, где эти концентры пересечены линеаментами широтного и северо-восточного простирания. Еще более четкой и закономерной оказывается приуроченность месторождений меди, полиметаллов и золота к местам пересечения линеаментов широтного, север-северо-восточного и восток-северо-восточного простирания в южной периферической части обширной Чаткало-Кураминской овально-концентрической структуры, где располагаются месторождения Алтын-Топкан, Кургашикан, Кальмакыр, Дальнее. На территории Центрального Казахстана месторождения меди Саякской группы, так же как и Коунрадское месторождение, приурочены к центральным

частям отчетливо выраженных на снимках Саякской и Балхашской концентрических структур, а барит-свинцово-цинковое месторождение Жайрем — к периферической части Актау-Атасуйской концентрической структуры, к ее пересечению с краевой частью Джекказганского концентра. К центральной же части Джекказганской концентрической структуры, где она пересекается крупным разрывом северо-восточного простирания, приурочена группа Джекказганских месторождений меди (Джекказган, Сарыоба, Итауз). Крупнейшие колчеданно-полиметаллические месторождения рудного Алтая закономерно приурочены к местам пересечения крупных правосдвиговых смещений запад-северо-западного простирания с овально-концентрическими структурами, с различной степенью отчетливости прослеживающимися на космических снимках.

Все сказанное показывает, насколько важным для металлогенических прогнозов и поисков новых месторождений полезных ископаемых оказывается изучение видимых на космических снимках концентрических структур. С каждым годом возрастает количество работ, посвященных их изучению. Однако важно помнить, что выявление новых концентрических структур должно сопровождаться их изучением, определением возраста их заложения на основе данных анализа мощностей осадков, установлением их геодинамической природы и комплексным анализом геофизических полей и геохимических особенностей строения обнаруженных структур.

## Глава XI

---

### КАК СНИМКИ ПОМОГАЮТ ИСКАТЬ РУДУ

В первые годы развития космических исследований на возможность использования их результатов при поисках месторождений полезных ископаемых указывали лишь очень немногие специалисты. В большинстве монографий, посвященных исследованию природной среды с космических кораблей и аппаратов и опубликованных в 1960-х гг., нет даже упоминания о возможности использования космической информации для прямых металлогенических прогнозов. И в самом деле, чем, казалось, могут помочь крайне мелкомасштабные снимки земной поверхности с космических орбит в таком сугубо земном деле, как поиск рудных залежей, скрытых в глубинах Земли?

Положение резко изменилось уже в начале 1970-х гг. В работах Я. Кутины, В. Д. Картера, У. Ландвера, Л. Роузена, П. Ветлауфер, А. Гётца, Ф. Биллингсли, У. Дикинсона, Е. Рича (США), И. Н. Томсона, М. А. Фаворской, И. К. Волчанской,

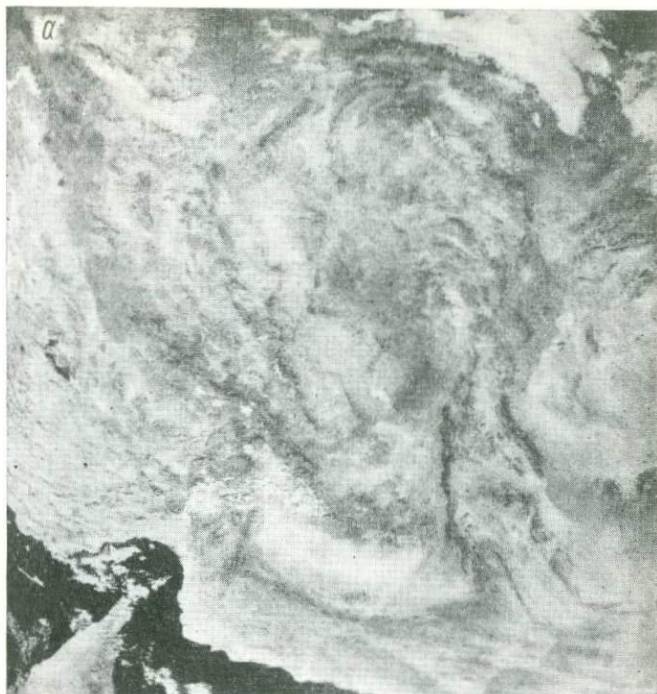


Рис. 38. Сопоставление структур облачного покрова и литосферы континентов Земли.  
а — вихревая структура Иранского нагорья; б — вихревая структура циклона;



Продолжение рис. 38.

*в* — полосчатая раздвиговая структура базальтовых излияний треугольника Афар в Северо-Восточной Африке; *з* — полосчатая раздвиговая структура восходящих конвективных течений атмосферы при формировании муссонной облачности (северо-запад Тихого океана, район Камчатки и Курильских островов); *д* — структура Альп, Пиренеев и Динаридов на том же снимке со стационарного спутника «Метеосат»; *е* — облачный фронт над Северной Атлантикой на том же космическом снимке.



Рис. 42. Раздвиговые структуры на космических снимках Земли.

**а** — космический снимок юго-восточной части Исландии. Здесь, как и на большей части остальной территории Исландии, повсеместно прослеживается тонкая полосчатость суб-меридионального простирания, образовавшаяся в результате трещинных излияний базальтовых лав. Лишь в некоторых местах острова эта закономерная полосчатость перекрыта вулканическими постройками больших щитовых вулканов типа Геклы.

**б** — Байкальская рифтовая система и грабены Забайкалья на космическом снимке, полученном со спутника «Метеор-10» 28 января 1972 г. Полосчатая структура Забайкалья, характерная для раздвиговых зон, подчеркнута снежным покровом, заполняющим прогибы, которые разделены хребтами, покрытыми таежной растительностью (просматриваются на снимке в виде темных полос). Многие из наблюдаемых полос изогнуты, гофрированы. При этом преобладают S-образные изгибы, типичные для областей развития левых сдвигов.



Рис. 43. Системы сдвигов на космических снимках Земли.

*a* — космический снимок территории Синайского полуострова, залива Акаба и северо-западной части Аравии, полученный с пилотируемого космического корабля «Джемини-8». На снимке отчетливо виден грандиозный левый сдвиг, отделяющий Синайский полуостров от Аравии. Амплитуда смещения по сдвигу за последние 18 млн. лет составляла около 90 км.

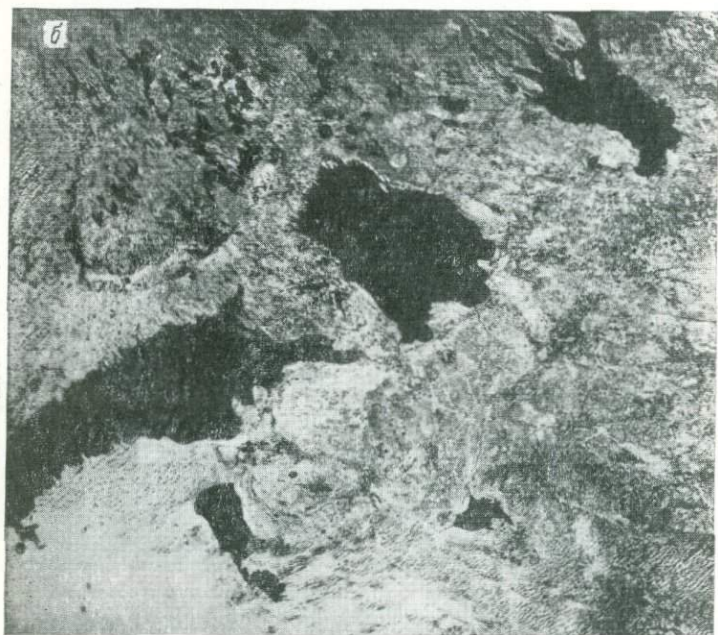
*б* — космический снимок южной части каракумов, долин рек Теджен и Мургаб и центральной и восточной частей хребта Копетдаг, полученный с космической станции «Салют-4». В верхней левой части снимка среди песков пустыни видны следы древнего высохшего русла р. Унгуз. Отчетливая тектоническая линия, ограничивающая с севера область развития белесых такырных отложений Предкопетдагского прогиба, ранее была неизвестна геологам и не отражена на геологических картах. В нижней части снимка виден хребет Копетдаг, структура которого, особенно в восточной части, осложнена Z-образными правосдвиговыми изгибами горных хребтов и гряд.



Продолжение рис. 43.

6 — космический снимок района сочленения Кичик-Алайского и Ферганского хребтов в Средней Азии, полученный со спутника «Ландсат-1» в спектральном диапазоне 0,8—1,1 мкм 26 сентября 1972 г. Хорошо видна правосдвиговая структура типа «конского хвоста» в районе Таласо-Ферганского правого сдвига (верхняя часть снимка справа). Такие структуры характерны для длительно развивающихся систем сдвиговых дислокаций.

8 — космический снимок со спутника «Метеор-30», полученный 19 августа 1980 г. в спектральном диапазоне 0,7—1,1 мкм. Район озера Балхаш и Центрального Казахстана. В левой нижней части снимка видна четкая структура запад-северо-западного простиранья, левее и ниже западного окончания озера Балхаш — Джалаиро-Найманский правый сдвиг. Еще левее и ниже сквозь облачность просвечивает параллельная ей зона Таласо-Ферганского правого сдвига. Менее четкое выражение на снимке имеют Актасский правый сдвиг, пересекающий озеро Балхаш в его центральной части, и Чингизский правый сдвиг, проходящий северо-восточнее озера Балхаш. Расстояние между сдвигами около 200 км; его можно назвать шагом правосдвиговых нарушений Центрального Казахстана.



**Рис. 44. Концентрические структуры на космических снимках Земли.**

*а* — концентрическая структура Ришат — пологое сводовое поднятие платформенных осадочных толщ Западной Мавритании. Снимок со спутника «Джемини-8». В центральной части свода обнажены позднекембрийские породы и породы кембрийского возраста, в обрамлении — породы ордовикского и силурийского возраста.

*б* — полуконцентрическая структура юго-восточной Фенноскандии на космическом снимке со спутника «Метеор-30», полученном 18 августа 1980 г. в спектральном диапазоне 0,7—1,1 мкм. На снимке, который захватывает территорию Прибалтики и северо-запада Европейской части СССР, хорошо видны следы движений ледника, оставившего в процессе своих перемещений системы гряд и прогибов, заполненных последледниковыми озерами. Структура, вероятно, получила особенно отчетливое выражение в результате гляциоизостатических движений.

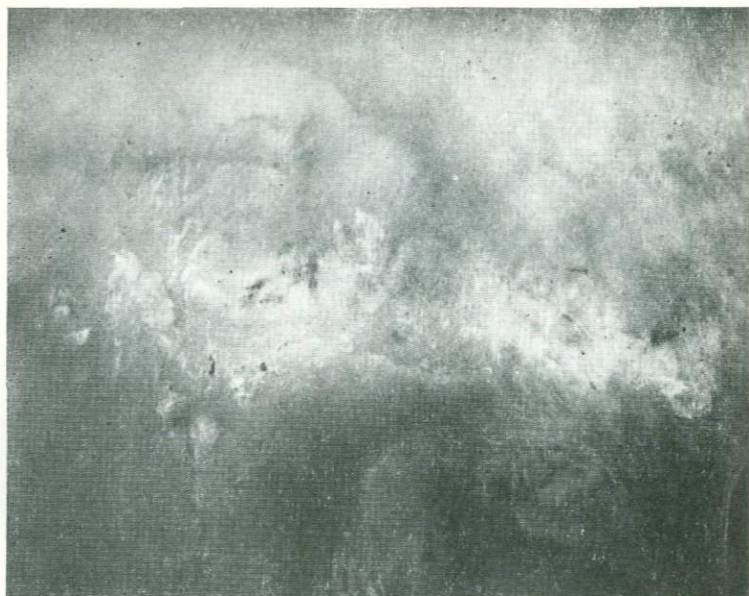


Рис. 45. Сводные концентрические поднятия в центральной части песков Кызылкум на космическом снимке, полученном в июне 1971 г. с пилотируемой орбитальной станции «Салют-1» космонавтами Г. Т. Добровольским, В. Н. Волковым и В. И. Пацаевым.

Видны концентрическая структура Букан, располагающиеся внутри нее концентрические структуры Ирлир и Тобаберген, южнее — концентрическая структура Тамды. Размеры структур Букан и Тамды, слегка сплюснутых в широтном направлении,  $110 \times 100$  км. Как эти структуры, так и располагающаяся южнее структура Кульджук имеют блоковое строение. Центральная часть каждой структуры представляет собой опущенный блок: тогда как краевые части приподняты. Концентрические структуры Кызылкума контролируют оруденение различного типа.



Рис. 46. Вихревые структуры на космических снимках Земли.

*a* — вихревая структура Иранского нагорья на космическом снимке со спутника «Метеор-28», полученном 18 декабря 1978 г. в красной и ближней инфракрасной части спектра (0,7–0,8 мкм). Структура чрезвычайно напоминает циклональную структуру облачности в атмосфере Земли, но имеет несколько меньшие размеры (около 400 км в диаметре).

*б* — вихревые структуры щелочных гранитоидных массивов в восточной части Ливии. Группа массивов Идфу. Снимок с пилотируемого космического корабля «Джемини-8».



Рис. 47. Космофотосхема территории США, смонтированная из 595 безоблачных космических снимков, полученных со спутника «Ландсат-1» в августе — октябре 1972 г. в оранжево-красной части спектра (0,6—0,7 мкм).



Рис. 48, а. Космический снимок территории Южного Урала и Мугоджар, полученный орбитальной космической станцией «Салют-4».

Темным тоном отчетливо выделяется территория Башкирского антиклинория. В центральной части снимка хорошо прослеживается меридиональный разрыв, разделяющий области с различной vergentностью складок палеозойского складчатого фундамента Зауралья. Хорошо видны крупные разломы, пересекающие Урал в широтном и субширотном направлении. Выдержанный интервал между параллельными друг другу широтными разломами — около 90 км.

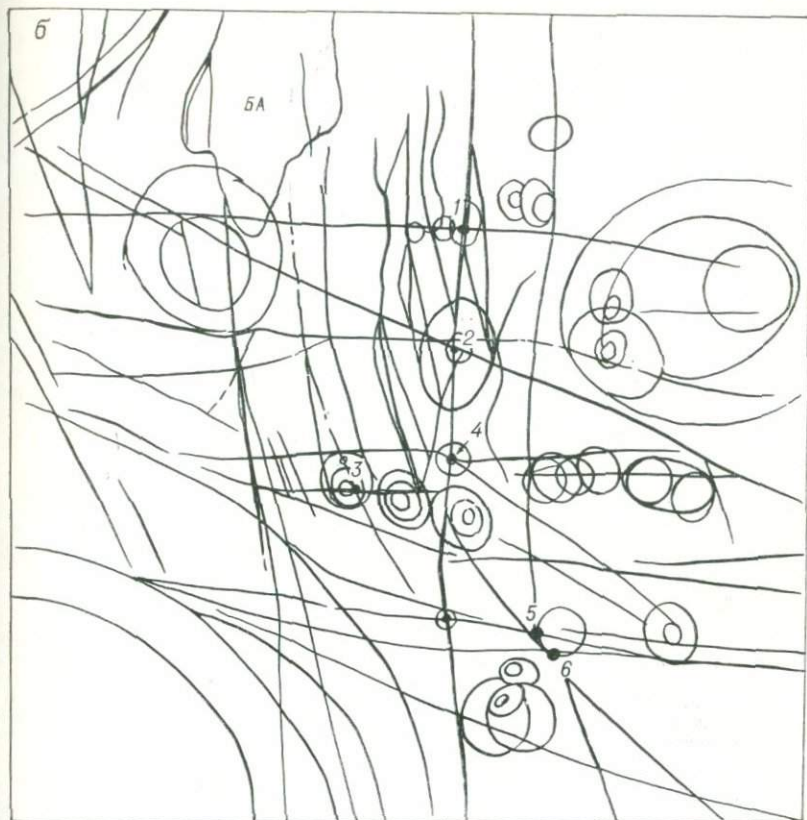


Рис. 48, б. Схема дешифрирования космического снимка.

Месторождения меди Южного Урала и Мугоджар закономерно приурочены к узлам пересечения сети разломов: 1 — Сибайское; 2 — Подольское; 3 — Юбилейное; 4 — Блявинское; 5 — Гайское; 6 — Приорское; БА — Башкирский антиклинорий

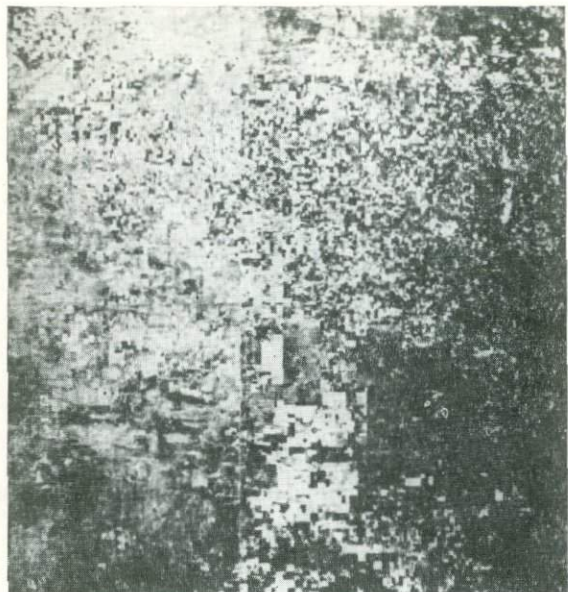


Рис. 50. Космический снимок территории южной части США вблизи границы между штатами Нью-Мексико и Техас, полученный с пилотируемого космического корабля «Аполлон-9» в марте 1969 г.

Вертикальная линия, разделяющая западную и восточную половины снимка, связана с различием ирригационных систем орошения полей и сельскохозяйственных угодий, принятых в этих двух штатах. Следует обратить внимание на то, что снимок сделан ранней весной перед началом полевых работ.





Рис. 53. Космический снимок Финского залива, Южной Карелии, Ладожского озера и Ленинграда, полученный со спутника «Ландсат-1» 28 марта 1973 г. в красной и ближней инфракрасной частях спектра.

Отчетливо прослеживается граница берегового уступа послеледникового озерно-морского бассейна; хорошо видны также следы движения ледника, оставившего глубокие борозды, заполненные в настоящее время в Карелии послеледниковыми озерами. Границы Финского залива на многих участках прямолинейны, что показывает их разломное происхождение. Продолжением разлома, который ограничивает Финский залив с севера, является линеймент, пересекающий северную часть Ленинграда и выходящий к южному берегу Ладожского озера.



Рис. 52. Дымовые шлейфы лесных пожаров в Сибири на космическом снимке со спутника «Метеор-2S», полученном 5 августа 1977 г. в желто-оранжевой части спектра (0,5—0,7 мкм).



Рис. 54. Аральское море на космическом снимке, полученном со спутника «Метеор-30» 15 августа 1980 г. в желто-оранжевой части спектра (0,5—0,7 мкм). Стрелками показаны участки бассейна, высохшие после 1974 г.

Н. Т. Кочневой (СССР) и многих других геологов были показаны широчайшие возможности использования космической информации при поисках рудных и нерудных месторождений. На основании сделанных по космическим снимкам прогнозов были открыты новые месторождения меди и полиметаллов, золота и серебра, алмазов и платины, хрома и никеля, вольфрама и олова. В наше время это направление исследований привлекает к себе самое пристальное внимание в разных странах мира. Возможности использования космической информации для прогнозирования рудных месторождений, месторождений угля, нефти, газа, строительных материалов, водоносных горизонтов активно изучаются в СССР, США, Канаде, Японии, Китае, ФРГ, ГДР, Франции, Мексике, Перу, Чехословакии, Польше, Болгарии. Особенно большое число работ посвящено вопросам использования космических снимков для прогноза эндогенных рудных месторождений.

Исследования путей применения космических снимков для поисков руд глубинного происхождения (эндогенных руд) ведутся в нескольких направлениях. Одно из них заключается в выявлении на космических снимках систем рудоконтролирующих разрывов, линеаментов и концентрических структур, к узлам пересечения которых приурочены крупные рудные залежи. Другой путь заключается в прямом или косвенном выявлении на космических снимках рудных или рудовмещающих формаций — рудоносных кор выветривания, рудных пластов, различных типов рудоносных гранитоидных массивов, соляных куполов, нефтегазоносных структур. Большую помощь в выявлении зон развития рудных формаций на космических снимках оказывают иногда такие вторичные факторы, как характер почв, растительности, рельефа и других компонентов ландшафта. Наконец, третий путь прогноза основан на комплексном изучении геологической истории района поисков на основе анализа космической, геологической и геофизической информации. При этом выявляются закономерности формирования слагающих этот район геологических формаций, устанавливаются сутурные швы в складчатом фундаменте изучаемого района, маркируемые офиолитами и зелеными сланцами, определяется ориентировка наклона субдукционных зон геологического прошлого, устанавливаются закономерные изменения состава вулканических и plutонических формаций над этими зонами, главнейшие тектонические единицы складчатого фундамента и платформенного чехла, изучаются закономерности накопления и размещения рудных формаций на протяжении ряда сменявших друг друга геологических эпох.

Наиболее древние традиции имеет первое из перечисленных направлений рудопоисковых работ. Основы этого направления заложены работами Л. Эли де Бомона, Л. Делоне, У. Хоббса. В последние годы оно интенсивно развивается в США Я. Кутиной и его учениками, а в СССР — коллективами московских

геологов под руководством И. Н. Томсона и М. А. Фаворской. В ряде новейших работ системы рудоконтролирующих разрывов получают новую геодинамическую интерпретацию: они сопоставляются с системами трансформных разломов океанической коры и рассматриваются в качестве продолжения на континенты этих систем, которые прямо переходят в нарушения сплошности вещества земной коры и верхней мантии над субдукционными зонами, как современными, так и существовавшими в геологическом прошлом. Такое объяснение получили эти системы разрывов в работах американских геологов Дж. Дьюи, Дж. Бёрда, П. Молнара, француза П. Таппонье, советских геологов и геофизиков О. Г. Сорохтина, С. А. Ушакова, Ю. И. Галушкина, Л. П. Зоненшайна.

Изучение космических снимков показывает, что большинство известных месторождений золота, серебра, меди, полиметаллов, олова, сурьмы, ртути, редких металлов и даже алмазонасных кимберлитов закономерно приурочено к узлам пересечения систем линеаментов различного простирания и к участкам, где эти системы пересекают границы крупных концентрических структур. Так, например, на территории Большого Кавказского хребта отчетливо прослеживаются две системы разрывов северо-северо-восточного и запад-северо-западного простирания, образующие закономерно ориентированную сеть. Свинцово-цинковые месторождения юрского возраста Филизчай, Лаура, Садон, Згид приурочены к узлам этой сети разрывов. Более молодое, неогеновое, оруденение Большого Кавказа (в частности, вольфрамовые месторождения) приурочено к другой, ортогональной сети разломов, которая также дешифрируется на космических и аэрофотоснимках. С этой же сеткой разломов связаны проявления новейшего вулканизма и цепочки современных вулканов Малого Кавказа.

Еще более отчетливый характер имеет приуроченность крупных рудных месторождений к узлам сети линеаментов на Урале. Здесь также наблюдаются по меньшей мере две разновозрастные, наложенные одна на другую сетки разрывов. Одну из них слагают пересекающиеся системы разрывов восток-северо-восточного и запад-северо-западного простирания. Разрывы двух других систем, по-видимому несколько более молодых, имеют простирания, близкие к ортогональным (рис. 48). Такие месторождения меди Южного Урала и Мугуджар, как Сибай, Блява, Гай, Приорское, приурочены к узлам сети ортогональных разрывов, специально изучавшихся ленинградскими геологами Э. И. Кутыревым и Д. В. Рундквистом. Ими установлен достаточно постоянный шаг разрывов для системы широтно ориентированных рудоконтролирующих разломов, равный 90—100 км. На Среднем и Северном Урале рудоконцентрирующими являются обе сети линеаментов — ортогональная и ВСВ — ЗСЗ; при этом наиболее крупные рудные месторождения приурочены

к местам пересечения линейными разрывами концентрических структур, выраженных здесь чрезвычайно четко.

Сходные выводы о несомненной связи рудных месторождений с рудоконцентрирующими линейными и концентрическими структурами и особенно с местами их взаимных пересечений содержатся в работах сотрудников Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Академии наук СССР, изданных в 1969—1980 гг., в частности в монографии «Анализ космических снимков при тектоно-магматических и металлогенических исследованиях» под редакцией И. Н. Томсона. В этой книге проанализированы результаты дешифрирования космических снимков Приморья, проведенного с целью изучения тектоники, магматизма и металлогении этого региона. Согласно выводам авторов монографии, некоторые крупные месторождения олова и полиметаллов, рудопроявления меди и золота располагаются в центральных и периферических частях круговых и овально-концентрических структур, в узлах пересечения систем рудоконцентрирующих линейментов широтного, меридионального, северо-восточного и северо-западного простирания. Нередко во внутренних частях концентрических структур развито оловянное оруденение, а на периферии структур — оловянно-полиметаллическое и меднопорфировое.

В последние годы космические снимки используются и для прогнозирования соляных и нефтегазоносных структур. Нефть и газ чаще всего приурочены к купольным поднятиям, иногда деформированным интенсивными стрессовыми давлениями. Такие поднятия обычно формируются в краевых частях обширных депрессионных концентрических или овально-концентрических структур, для которых характерно быстрое и последовательное прогибание центральных частей (Южный Каспий, Северный Прикаспий, центральная часть Западно-Сибирской равнины). Анализ космических снимков совместно с данными бурения, геофизическими данными и анализом рельефа позволяет достаточно уверенно картировать многие растущие в краевых частях таких депрессий нефтеносные и газоносные купольные поднятия. При их выявлении помогает составление карт амплитуд новейших движений, схем космофотоаномалий и карт линейментов, сопоставляемых с картами гравитационного и магнитного полей и теплового потока.

Перспективным путем использования космической информации в целях металлогенического прогноза является изучение рудных и рудовмещающих формаций по фототону изображения на космических снимках, сделанных в разных участках спектра, в различное время дня и года, при разных условиях освещенности. В ряде работ последних лет, особенно выполненных за рубежом, приводятся результаты машинной обработки космических снимков с целью выявления новых месторождений полезных ископаемых. Чаще всего при этом используется метод аналогий с

уже известными рудопроявлениями и месторождениями. Такой подход приводит к положительным результатам в районах распространения полого залегающих приповерхностных рудных формаций, таких, например, как латериты тропических областей или гидротермально измененные рудоносные коры выветривания.

Метод аналогий был положен, например, в основу работы группы американских геологов под руководством Л. Роуэна, сопоставивших известные месторождения золота, серебра, меди, молибдена и других полезных ископаемых рудных провинций Голдфилд, Хорнсилвер и других в штате Невада с космическими снимками этой территории, полученными со спутника «Ландсат». Проанализировав снимки, сделанные в разных зонах спектра, и получив совмещенное изображение со специально подобранными оттенками цветов, характеризующими каждый тип уже известных месторождений, авторы предположили, что и на других участках изучаемой территории такие же цвета маркируют выходы на поверхность аналогичных рудоносных формаций. Проведенные поисково-разведочные работы подтвердили перспективность ряда прогнозируемых участков на золото, серебро и медь.

Близкая методика поисков новых участков развития медно-порфирового оруденения на западе Пакистана (по аналогии с уже известными рудными участками, в частности с меднопорфировым месторождением Саиндак) была применена американскими геологами Р. Г. Шмидтом, Б. Б. Кларком и Р. Бернстайном с использованием цифровой обработки изображения на космических снимках «Ландсат». В результате были обнаружены новые месторождения меди.

Для широкого использования метода машинной обработки материалов космических съемок с целью промышленного прогноза необходимо соблюдение определенных условий космических съемок (время и сезон съемок, их периодичность, выбор определенных спектральных диапазонов, разрешения на местности и т. д.), наличие наземной аппаратуры для обработки, обладающей большой памятью, быстродействием, набором специальных программ, а также разработка соответствующих методов решения поставленных задач.

Одним из наименее развитых как в нашей стране, так и за рубежом, но перспективных методов прогноза является использование материалов космических и воздушных съемок для изучения геохимической и металлогенической зональности складчатых поясов, закономерностей изменения химизма гранитных массивов в их пределах и приуроченности различных типов руд к разным типам гранитных интрузивов. Геохимические особенности гранитных массивов отражаются на форме гранитных тел и их выходов на земную поверхность. На космических снимках складчатых поясов и выходов пород складчатого фундамента континентов хорошо прослеживаются сутурные швы, места выходов

офиолитов и зеленосланцевых комплексов, формации замкнувшихся океанических бассейнов геологического прошлого и субдукционных зон прошедших геологических эпох. Направление наклона субдукционных зон в прошлом устанавливается по закономерному изменению составов и формы выходов на поверхность гранитоидных массивов — от вытянутых удлинённых форм плагиогранитных и банатитовых массивов, насыщенных кальцием и натрием, но сильно недонасыщенных калием, через червеобразные и бумерангообразные формы тоналитовых массивов, приплюснутые амебообразные формы адамеллитовых массивов к трубчатым строго овальным и концентрическим формам тел насыщенных и перенасыщенных калием щелочных гранитов.

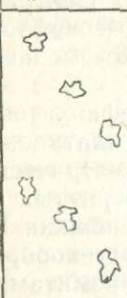
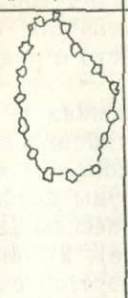
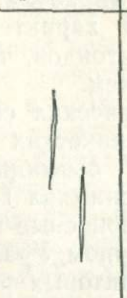
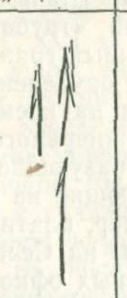
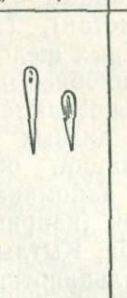
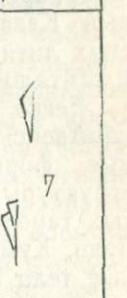


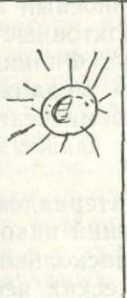
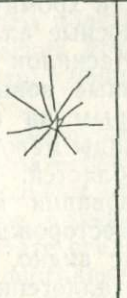



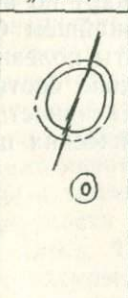




Изображения на космических снимках и аэроснимках гранитоидных массивов по форме их выходов разделены автором на три группы — концентрические, брахиформные (удлинённые) и линейные. В каждой из этих групп выделено по 12 морфологических типов, которым приданы самостоятельные названия, отражающие внешнее сходство облика гранитных плутонов на космических снимках с определенными предметами, животными или геометрическими фигурами. Все 36 типов изображены на рис. 49. Каждое типовое изображение срисовано с крупномасштабного космического снимка или с мелкомасштабного аэрофотоснимка. Следует заметить, что один и тот же гранитный массив может иметь различную форму в зависимости от его проекции на земную поверхность, от того, как он наклонен и деформирован тектоническими движениями и насколько срезан процессами приповерхностной эрозии. Несмотря на это, каждому геохимическому типу гранитоидных массивов соответствует обычно не более двух-трех морфологических типов на космических снимках и аэрофотоснимках.

Дешифрируемые на космических снимках формы тел гранитных плутонов позволяют делать предварительные прогнозы о химизме и рудной специфике тех или иных типов массивов. Так, к районам развития на поверхности или на небольшой глубине адамеллитовых массивов типов «амеба» и «восьмерка» в Кызылкуме (характерным примером такого плутона является массив Ауминза в горах Ауминзатау) приурочено золотое оруденение, локализующееся в черносланцевой формации, выполняющей роль коллектора (месторождение Мурунтау), тогда как тоналитовые массивы типа «бумеранг», примером которого является массив Бакали гор Букантау, стерильны в отношении золотого оруденения. Меднопорфиновые и медно-полиметаллические оруденения связаны обычно с массивами типов «пень», «корень», «дракон». С массивами такого типа, легко распознаваемыми на космических снимках, связаны крупнейшие меднопорфиновые месторождения Чили, Перу, США, Мексики — Чукикамата, Эль-Теньенте, Эль-Сальвадор, Бингем, месторождения Малазийского меднопорфинового пояса на Филиппинах.

Плутоны	Синкинематические				Посткинематические	
	„Змея”	„Гусеница”	„Дракон”	„Корень”	„Стручок”	„Бусы”
Линейные						
Бразиформно-удлиненные	Заполнения (конформные)				Проплавления	
	„Лук”	„Щит”	„Бумеранг”	„Седло”	„Амеба”	„Клякса”
Концентрические	Сводовых поднятий				Депрессий и	
	„Круг”	„Овал”	„Шестигранник”	„Восьмерка”	„Кубок”	„Медуза”

Рис. 49. Схема классификации плутоических массивов и комплексов по форме их выхода

К этому же типу относятся и многие меднопорфировые месторождения СССР, в частности месторождения Алмалыкского рудного района Срединного Тянь-Шаня (Кальмакыр), Центрального Казахстана (Бошекуль, Коксай), Закавказья (Каджаран, Агарак). Для типов «стручок», «четки» характерно заполнение гранитами с оловорудной минерализацией (массивы Руд-

зон растяжения		Посткинематические щелевые			
„Четки“	„Ожерелье“	„Игла“	„Стрела“	„Топор“	„Клин“
					
(дисконформные)		Зон взрыва и раздвига			
„Мешок“	„Пень“	„Труба“	„Звезда“	„Лабиринт“	„Паук“
					
прогибов		Визревых структур			
„Тарелка“	„Кольцо“	„Визрь“	„Источник“	„Воронка“	„Конский хвост“
					

на земную поверхность и облику на космических и высотных снимках континентов Земли.

ных гор в Центральной Европе, колымские, бурейские, сихотэ-алинские массивы, массивы Нигерии).

Особый интерес представляют типы «кольцо», «бусы», которые часто фиксируют на снимках массивы апатитоносных пород (иногда с медно-никелевым оруденением). Это концентрические массивы проплавления, о которых уже говорилось в гла-

ве VII. Тип «мешок» характерен для тел сиенито-диоритов с развитием вольфрамового и молибден-вольфрамового оруденения (Срединный Тянь-Шань, Зирабулакские горы, Центральный Казахстан). Тип «труба» характерен для высокофтористых литиевых щелочных гранитоидов, часто с редкоземельным и тантало-ниобиевым оруденением.

Легко опознаются на космических снимках и офиолитовые комплексы разных минералогенических типов: 1) платиноносные формации, образующие своеобразные изометрические структуры, напоминающие на снимках груды перевернутых битых тарелок (например, платиноносные массивы Денежкин Камень, Кумба, Кытлым на Северном Урале); 2) пластинообразные тела альпинотипных офиолитовых разрезов с хромитами в ненарушенных нижних гипербазитовых частях разрезов, никеленосными корами выветривания на серпентинитах, с ванадием и титаном в клиноп роксенит-габбровых частях разрезов (например, Кемпирсайский хромитоносный аллохтонный массив на юге Урала, хромитоносные аллохтонные офиолитовые массивы Гулеман в Турции, Масинлок на Филиппинах и другие подобные им); 3) «мусорные зоны» меланжа и олистостромовых комплексов, по которым на космических и аэрофотоснимках прослеживаются границы между главными тектоническими единицами складчатых областей.

Методика использования материалов космических съемок для поисков рудных месторождений находится в стадии становления. Но уже сейчас видно, насколько перспективны многие направления космометаллогенических исследований и насколько расширятся возможности прогнозирования после получения геологами материалов космических съемок различных масштабов и видов, космофотосхем и космофотокарт по всей территории СССР. Можно надеяться, что в ближайшем будущем все прогнозно-металлогенические карты и карты полезных ископаемых будут составляться на космофотооснове соответствующих масштабов, что резко повысит их информативность и точность и скажется на эффективности металлогенических прогнозов.

## Глава XII

---

### КАРТЫ И СНИМКИ

С глубокой древности человек пытался графически изобразить места своего обитания, создать на рисунке или чертеже модель мира, в котором он живет. Папирусный лист для письма греки называли *χαρτης* (вероятно, от *χαρτω* — царапать, чертить); отсюда слово «карта», вошедшее почти во все европейские языки. Греками были разработаны правила состав-

ления карт, которые легли в основу античной картографии и определили характер картографических изображений земной поверхности в наиболее раннем из дошедших до нас атласов географических карт — атласе Клавдия Птолемея, составленном в середине II в. нашей эры. С XVI в. появляются глобальные карты поверхности земного шара, включающие западные материки. Изобретение в 1616 г. голландцем В. Снеллиусом триангуляции позволило уточнить определение широты и долготы местности и привело к созданию современного типа географических карт на достаточно точной топографической основе. Появились многотомные атласы с гравированными изображениями земной поверхности. Точность карт постепенно повышалась, особенно в конце XIX—XX вв., после появления материалов аэрофотосъемок. Наряду с общегеографическими картами в XVIII—XX вв. появляются и иные виды карт — топографические, гипсометрические, морские, климатические, ботанические, экономические, почвенные, геологические, тектонические, геофизические, металлогенические, карты полезных ископаемых. Карты называют венцом географических исследований. В них видят итоговые документы, концентрирующие сумму знаний о регионах, на которые они составлены.

До появления материалов космических съемок все мелко-масштабные географические карты — глобальные карты, карты стран и континентов или значительных их частей — представляли собой искусственно созданные модели строения земной поверхности, полученные в результате сведения и трансформации крупно- и среднемасштабных топографических карт, построенных по материалам наземных топографо-геодезических работ и стереофототопографических аэросъемок, выполненных в крупных масштабах. При составлении мелко-масштабных сводных карт производилась генерализация картографических изображений, во многом зависящая от существующих инструкций и методов, различных в разных странах, а в какой-то степени — и от субъективных вкусов картосоставителей.

Появление глобальных и региональных космических снимков позволило впервые сравнить сводные географические, топографические и тематические карты с реальными фотоизображениями поверхности Земли в соответствующих масштабах. При этом выяснилось, что многие важнейшие, хорошо видимые на снимках структуры земной поверхности не отражены на существующих географических картах. К ним относятся, в частности, большинство крупнейших линейных элементов и концентрических структур земных материков, многие образования ледникового происхождения, границы ландшафтных зон, некоторые грандиозные вулканические постройки (особенно в Африке), речная сеть недавнего геологического прошлого (иногда достаточно хорошо выраженная в рельефе), древние ирригационные системы и следы обитания человека. Новые географические карты, составленные с использованием материалов космических съемок

(например, географическая карта мира, опубликованная в виде приложения к декабрьскому номеру американского географического журнала «Нэшнл джиографик» («National Geographic»), за 1981 г., резко отличаются от существующих сводных физико-географических карт.

Космические съемки меняют облик не только мелкомасштабных сводных географических карт, но и средне- и крупномасштабных топографических карт, хотя, возможно, и в меньшей степени. Существенно дополняется содержание карт, выполняется их периодическое обновление. При этом используется свойство естественной генерализации космических снимков, за счет которой происходит обобщение изображений мелких деталей местности. Таким образом, на космических снимках автоматически и объективно происходит явление, в какой-то мере аналогичное картографической генерализации.

Значительно повышается точность мелкомасштабных карт за счет использования космических аппаратов для передачи точных геодезических данных через обширные водные пространства морей и океанов. С помощью космических средств геодезические работы становятся глобальными.

Следует учитывать и экономический эффект использования материалов космических съемок в картографии. Снимками из космоса покрываются огромные пространства. Поэтому, несмотря на большую стоимость самого ИСЗ, его запуска и эксплуатации, стоимость съемки из космоса 1 км<sup>2</sup> оказывается невелика.\* Космическая съемка достаточно обширных территорий, начиная с площади более 1 млн. км<sup>2</sup>, обходится в десятки раз дешевле, чем аэрофотосъемка. Работы по составлению карт резко удешевляются при повышении их качества.

При составлении географических и тематических карт широко используются различные автоматизированные системы. В последние годы в некоторых странах мира (США, Канада, Австралия, Франция) начинают выпускаться комбинированные космофотогеографические карты, где фотографическое изображение совмещается с информацией обычных топографических карт (сечением рельефа в горизонтальных, нанесением названий рек и озер, населенных пунктов, изображением дорог и т. п.). Такое совмещение топографической карты с космофотоизображением уже осуществляется в США для карт масштаба 1 : 250 000. В СССР издаются космофотокарты в проекциях, масштабах и разграфке географических и топографических карт.

Поскольку космические снимки имеют высокое разрешение, они могут быть использованы при составлении топографических карт более крупных масштабов, чем сам снимок.

---

\* Подобные сравнения требуют более осторожного подхода, т. к. необходимо принимать во внимание различие масштабов этих съемок. — *Ред.*

Если использование космических съемок вносит радикальные изменения в принципы и практику составления географических и топографических карт, то еще большее значение оно имеет для составления тематических карт, таких, например, как климатические, почвенные, растительные, гляциологические, геологические, тектонические. Так, сопоставление материалов космических съемок земной поверхности с существующими геологическими и тектоническими картами, а также картами четвертичных отложений, как правило, оказывается малоутешительным. Как показали проведенные детальные сопоставления материалов космических съемок и геологических карт территорий Большого и Малого Кавказа, Тянь-Шаня, Памира, Туранской плиты, более половины геологических контуров, изображенных на геологических картах, не находят никакого соответствия на космических снимках Земли. И наоборот, более половины линейных и площадных структур, отчетливо дешифрируемых на космических снимках, никак не отражено на существующих геологических картах. Даже гигантские пластины и блоки плутонических пород основного состава (габбро и габбро-амфиболитов), целиком слагающие приводораздельные части Большого Кавказа, в районе хребта Чимгисклде, не изображены и не показаны ни на одной геологической карте Кавказа, изданной за последние 50 лет. Они относительно точно нанесены лишь на картах, составленных Ф. Ю. Левинсоном-Лессингом в 1909—1910 гг. и опубликованных в 1914 г. На существующих геологических картах и в легендах, на основе которых они составляются, нет знаков для изображения геодинамической природы разрывных нарушений — левых и правых сдвигов, раздвигов, поддвигов и шарьяжей, нет знаков для изображения линейментов, концентрических структур, сутурных зон складчатых областей, олистостромовых комплексов, меланжа и многих других геологических структур и объектов.

Изложение показывает, что необходима ревизия существующих геологических карт, нужен существенный пересмотр их легенд, более широкое отражение на картах геодинамической информации, а также обязательное исправление наиболее грубых ошибок в изображенных на картах геологических контурах и границах.

Дополнения и изменения в легендах геологических карт и принципах их составления позволят создать более объективные и более точные, чем существующие в настоящее время, геологические карты. Наличие новых карт в более полной степени, чем современные, отражающих геодинамические закономерности формирования картируемых участков земной коры и их сложную внутреннюю структуру, даст возможность полнее и успешнее прогнозировать месторождения полезных ископаемых, будет способствовать дальнейшему развитию теоретической геологии и наук о Земле.

## СЛЕДЫ ЧЕЛОВЕКА

Хорошо ли видно на космических снимках, что Земля обитаема? С какого расстояния и как это может быть обнаружено? Чем отличаются следы деятельности разумных существ на Земле от следов существования жизни вообще? Как сказывается жизнедеятельность человека на облике нашей планеты, на характерных особенностях строения ее внешних оболочек и ее поверхности при взгляде на них из космоса? В наши дни, когда люди активно занялись поисками внеземной жизни, когда во многих странах мира начали проводиться исследования по проблемам СЕТИ и SETI («Поиск внеземных цивилизаций и связь с ними») и когда одновременно стала очевидной скорость изменения и преобразования человечеством природы нашей планеты и необходимость активных мер по охране окружающей среды, перечисленные вопросы оказались в центре внимания ученых и исследователей самых разных направлений. Волнуют они, конечно, и археологов, историков, хозяйственников и экономистов.

Космические снимки Земли дали человечеству возможность взглянуть на себя со стороны. При таком стороннем взгляде очевидными становятся два главных поворотных этапа в истории человечества. Первый из них — поворот, совершившийся после последнего оледенения 10—15 тыс. лет назад, который часто называют неолитической революцией и который связан с появлением земледелия, скотоводства, ирригационных систем, систем связи, календаря, письменности и современных языков. Второй поворот — это современная научно-техническая революция, связавшая все человеческие цивилизации воедино, приведшая к резкому ускорению этапов развития науки и техники, быстрому росту народонаселения, удлинению средней продолжительности человеческой жизни и одновременно к возрастающему загрязнению атмосферы, вод и суши Земли и особенно мест обитания крупных скоплений людей.

За последние десятилетия облик материков, видимый на крупномасштабных локальных и детальных космических снимках, быстро изменяется. Перестраиваются и меняются системы орошения, создаются крупные искусственные водохранилища, новые сети каналов, ирригационные комплексы. Меняется облик растительных сообществ, сельскохозяйственных и лесных угодий и все новые площади суши осваиваются людьми даже в аридных, необводненных районах Земли. Разрастаются сети дорог, стягивающиеся к крупным городам в виде правильных паутинообразных ячеек. Стремительно развиваются центры горнодобывающей промышленности. Значительные площади материков оказываются покрытыми грунтами искусственного происхождения, отходами горно-обогатительных фабрик и комби-

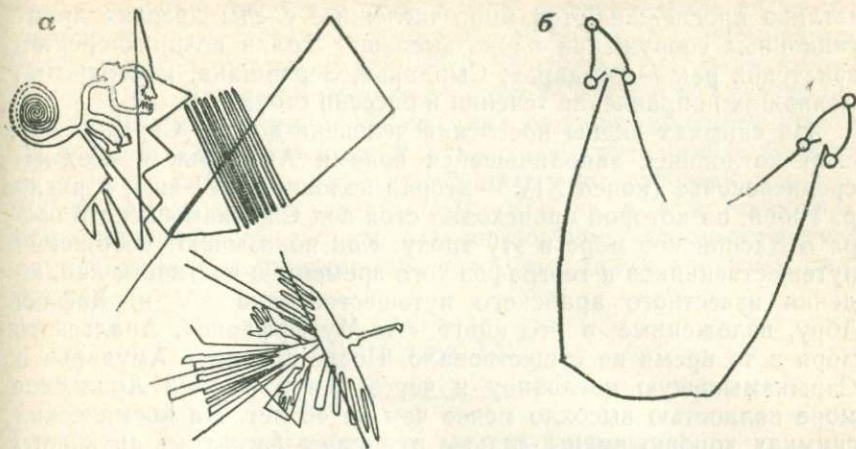


Рис. 51.

а — рисунки в пустыне Наска на севере Перу. Зарисовка по аэрофотоснимкам.  
 б — стреловидные планировки, обнаруженные при дешифрировании аэрофотоснимков территории Восточного Устурта нукусскими археологами.

натов. Количество таких отходов стремительно возрастает; уже сейчас они покрывают площади, исчисляемые многими десятками тысяч квадратных километров, а каждое десятилетие эти площади удваиваются. Места хранения отходов — хвостохранилища горно-обогатительных комбинатов — хорошо просматриваются на космических снимках.

Иногда на космических снимках оказываются видимыми даже административные границы. Так, например, на снимке, представленном на рис. 50, прослеживается граница штатов Нью-Мексико и Техас, отражающая различия в системах орошения сельскохозяйственных угодий, принятых в этих штатах.

Космические снимки рассказывают не только о современности, они говорят и о прошлом. Космические данные могут принести большую пользу при проведении работ по поискам следов древних цивилизаций, продолжить и расширить исследования, начатые наземной и воздушной археологией. Использование дистанционных методов уже не раз приводило археологов к сенсационным открытиям, таким, например, как обнаружение мегалитических руин Стоунхенджа на равнине Солсбери в Англии в 1906 г. П. Шарпом или открытие гигантских рисунков в пустыне Наска (рис. 51, а) на севере Перу в 1940—1950-х гг. П. Косоком и М. Райхе. Особенно большой интерес для археологов представляет изучение по космическим снимкам древних сельскохозяйственных цивилизаций и ирригационных систем Северной Африки, Ближнего Востока, Средней и Центральной Азии, Китая, Индии. Можно надеяться, что на этом пути археологов в ближайшие десятилетия ожидает много замечательных открытий.

Так, например, на космических снимках Средней Азии, полученных с орбитальной космической станции «Салют-6», от-

четливо прослеживаются многочисленные следы древних ирригационных сооружений вдоль высохших долин великих среднеазиатских рек — Амударьи, Сырдарьи, Зеравшана, многократно менявших направление течения и бассейна стока.

На снимках видны поселения человека вокруг Сарыкамышской котловины, заполнявшейся водами Амударьи в позднем средневековье (конец XIV — вторая половина XVI вв.), и русло р. Узбой, по которой происходил сток вод Сарыкамышского озера в Каспийское море в эту эпоху. Как показывают сообщения путешественников и географов того времени, в частности наблюдения известного арабского путешественника XV в. Хафиза Абу, изложенные в его книге «Ал-Музаффарие», Аральское море в то время не существовало. После поворота Амударьи в Сарыкамышскую котловину и через нее в Каспий Аральское море полностью высохло менее чем за 40 лет. На космических снимках хорошо видны дельты и долины Амударьи античного и раннесредневекового времени — Хорезмийская и Акчадарьинская дельты и долины Акчадарьи — и еще более древнее русло Праамударьи — Унгуз, так же как и Узбой впадающее в Каспийское море, но расположенное южнее. В северо-западной и центральной частях песков Кызылкум видны долины староречий Сырдарьи — средневековая Жанадарья и другие, более древние долины, располагающиеся южнее горных гряд Тахтау и Джетымтау. Западнее горного массива Букантау видны контуры высохшего озера Мынбулак, а южнее гор Кульджуктау — древняя долина Зеравшана — Кокдарья. На космических снимках хорошо прослеживаются системы древних оросительных каналов, города и крепости древнего Хорезма и Бухаро-Каршинских степей.

Большое число поселений неолитического, античного и средневекового времени в этих регионах изучено и частично раскопано за последние 45 лет Хорезмской экспедицией Института этнографии АН СССР, много лет возглавлявшейся членом-корреспондентом АН СССР С. П. Толстовым. Но большинство древних городов, крепостей и поселений этого региона, с замечательной отчетливостью дешифрирующихся на космических и аэрофотоснимках, еще ждет изучения.

В самые последние годы замечательное археологическое открытие сделано в одном из самых безлюдных регионов Средней Азии — на плато Устюрт — обширной каменистой безводной пустыне между Каспием и Аралом площадью в многие десятки тысяч квадратных километров. При изучении мелкомасштабных аэрофотоснимков этой территории археологи Каракалпакского филиала Академии наук Узбекской ССР обнаружили странные стреловидные знаки, никогда раньше не встречавшиеся в археологической практике. Десятки таких стрел, ориентированных остриями на север, длинной цепью протягиваются в широтном направлении от мыса Дуана на западном берегу Аральского моря в глубь Устюрта. Каждая стреловидная планировка пред-

ставляет собой фигуру в виде мешка, оканчивающегося двумя растопыренными стрелами с наконечниками в виде удлиненных треугольников, которые окаймлены на концах круглыми ямами (рис. 51, б). Каждая планировка имеет до 1 км и более в длину и 400—600 м в ширину. На снимках они напоминают рисунки на военной карте. По мнению нукусского археолога В. Я. Ягодина, эта система, протягивающаяся на расстоянии около 100 км, имеет возраст древнее VII—VIII вв. н. э. и, возможно, представляет собой систему загонов-ловушек, использовавшихся древними кочевниками при охоте на диких копытных животных.

## Глава XIV

---

### КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

На современном этапе развития космических исследований Земли можно выделить несколько направлений использования искусственных спутников Земли и материалов космических съемок в народном хозяйстве. Эти направления — спутниковая связь, космические метеорологические системы, поиски и разведка полезных ископаемых, инженерно-геологические исследования, космическая геодезия, обслуживание морского транспорта, разведка водных ресурсов, лесное хозяйство, растениеводство, учет посевов и определение сроков сельскохозяйственных работ, рыболовство и т. д. В подавляющем большинстве направлений, связанных с изучением природных ресурсов Земли, использование материалов космических съемок сопровождается значительным экономическим эффектом.

Наибольшую экономическую выгоду, согласно подсчетам специалистов, приносит использование материалов космических съемок в сельском хозяйстве. Космическая информация позволила существенно уточнить оптимальные сроки и способы сева сельскохозяйственных культур, оптимальное время сбора урожая, следить за состоянием посевов и прогнозировать урожайность каждой культуры по конкретным площадям. Прямая экономическая эффективность при использовании космических снимков «Ландсат» фермерами США для уточнения сроков сева и сбора урожая в 1974—1977 гг. оценивалась специалистами в 300—600 млн. долларов в год. Следует, однако, отметить, что данные космических съемок могут использоваться также и для прогнозирования урожая в других странах, что позволяет заранее рассчитывать с высокой точностью цены на различные виды сельскохозяйственных культур, и прежде всего на пшеницу, на мировом рынке. В настоящее время США осуществляют

такого рода прогнозирование; по оценке специалистов ежегодный экономический выигрыш США за счет прогноза урожая сельскохозяйственных культур в зарубежных странах может составлять около 300 млн. долларов в год [Исаченко И. И., 1979].

Большую пользу приносит использование космических съемок в лесном хозяйстве. Как показывает сводка данных о современном естественном растительном покрове суши Земли (без Антарктиды), составленная американскими геоботаниками Х. Робертсом и Р. Колвеллом, около 42 % всей площади суши покрыто лесами, 24 % — травянистой растительностью и 34 % — пустынями, тундрами и льдом. Таким образом, лесом покрыто значительно больше трети поверхности всей суши. Космические снимки используются для инвентаризации леса, составления лесных карт, в лесоинженерных работах, при лесопатологических обследованиях, в борьбе с лесными пожарами, при мелиоративных и противозерозионных работах, в защитном лесоразведении, при обслуживании транспортировки леса — почти во всех отраслях лесного хозяйства.

Данные космических исследований привели к резкому улучшению противопожарной охраны лесов и сельскохозяйственных угодий. Наиболее частой причиной возникновения пожаров являются грозовые электрические разряды. Пожары, обнаруженные в течение 5—15 ч после их возникновения, обычно могут быть локализованы и потушены; по истечении большего срока чаще всего это сделать не удается, что ведет к массовой гибели леса. Нередко на снимках прослеживаются протяженные участки внутри лесов, лесостепной и степной зон с прямыми границами, возникшие в результате лесных пожаров и лишенные растительности.

В настоящее время авиакосмическая охрана лесов осуществляется в СССР, США, Канаде, многих странах Европы, Азии, Африки, Латинской Америки. В СССР организации государственной лесной охраны ежедневно получают и анализируют информацию с искусственных спутников Земли «Метеор» на всю территорию Советского Союза. В периоды пожарной обстановки информация принимается 2 раза в день. Охрану несут авиабазы, оснащенные самолетами и вертолетами. Возникшие пожары легко распознаются по дымовым шлейфам (рис. 52). В результате применения космической информации площадь лесных угодий, выгорающих ежегодно от лесных пожаров, за последнее десятилетие резко сократилась.

Еще до появления космических снимков было установлено, что при изучении различных типов лесных угодий и инвентаризации леса большую пользу приносят спектрзональные аэрофотоснимки, которые изготавливаются со специальных спектрзональных аэрофотопленок, имеющих слои, чувствительные к разным участкам электромагнитного спектра. На таких аэрофотоснимках снимаемые объекты изображаются с нарушенной цветопередачей,

Как показали проводившиеся в СССР, США и Канаде работы по инвентаризации лесов, комплексное использование детальных спектральных аэрофотоснимков обеспечивает хорошее распознавание пород деревьев (достоверность распознавания около 90 %). Столь же высока и даже выше достоверность распознавания сельскохозяйственных культур и степени их зрелости, в первую очередь таких культур, как пшеница, рожь, кукуруза, рис, виноград, соя, сахарная свекла, подсолнечник, томаты, сорго, хлопок, кормовые. Большие возможности открыли в этом направлении космические сканерные и многозональные фотоснимки, а также мультиспектральные сканерные съемки. Например, при использовании мультиспектральных снимков со спутника «Ландсат» оптимальной для распознавания признана комбинация снимков, выполненных в трех каналах съемки (длины волн 0,5—0,6; 0,6—0,7 и 0,8—1,1 мкм). Однако достаточно высокая достоверность распознавания при машинном анализе снимков достигается лишь при изучении групп растительности, образующих в момент сбора зрелые и однородные сообщества. Для перезрелых, мертвых и отмирающих сообществ процесс их узнавания и классификации затрудняется.

Огромную пользу приносит космическая информация и при поисках подземных вод, изучении влажности почв, снежного покрова, определении запасов воды в снеге и почвах. Во многих случаях подземные воды выводятся на поверхность Земли по системам линейных разрывов, легко прослеживаемых на космических снимках, подчеркнутых особенностями растительности и почв, зонами более интенсивного снеготаяния, особенностями рельефа. Иногда близость к поверхности подземных артезианских вод удается установить, используя материалы тепловой инфракрасной космической съемки, которая наглядно фиксирует потемнениями зоны выходов термальных глубинных вод. Использование космической информации в ряде случаев позволило почти вдвое сократить число скважин на воду, при бурении не достигавших водоносного горизонта. Это привело к существенному сокращению расходов на бурение.

Космические исследования позволили наметить новые пути и в изучении популяций диких животных, развивая и приумножая достижения, полученные в этой области в результате применения аэросъемок, по которым оценивается численность стад антилоп, оленей, лосей, мускусных быков, водоплавающей птицы, изучается рыбное поголовье. Радиолокационные наблюдения с самолетов позволяют следить за стайными миграциями саранчи. С 1974 г. проводится международный эксперимент по выявлению мест размножения саранчи и путей ее миграции, основывающийся на изучении изменений альбедо, цвета местности и интенсивности зеленой окраски, фиксирующей стаи саранчи в пределах некоторых регионов Саудовской Аравии,

Ближнего и Среднего Востока на космических снимках системы «Ландсат».

Иногда могут прослеживаться на космических снимках миграции рыбного поголовья в океанах и морях по таким косвенным признакам, как наличие планктона, фиксация температурных фронтов в поверхностном слое воды и т. д. Эти характеристики в отдельных случаях позволяют определить даже разновидности рыбы и приблизительные размеры мигрирующих стад.

Помогая выявлять пути миграции и зоны скопления рыб, космические снимки дают возможность оценивать возможности рыбного промысла, а также проверять выполнение международных соглашений и мораториев, пресекать браконьерство и контрабандный лов как частных компаний, так и отдельных государств, охранять мировое воспроизводство и развитие рыбного поголовья и других биологических ресурсов океана, что позволяет резко увеличить долю их использования в рыбном хозяйстве.

В последние годы материалы космических съемок начали применять даже в такой области, как борьба с контрабандой наркотиками. Площади выращивания опиийного мака, марихуаны и других наркотических культур хорошо просматриваются из космоса. Это позволило Управлению по борьбе с наркотиками в США провести в 1977—1978 гг. операцию по изъятию контрабандных наркотиков, описанную в журнале «Флайт». В ходе операции со спутников прослеживался путь 40 контрабандных судов, которые везли наркотики из Колумбии в США. На границе территориальных вод США их ожидали яхты, которые должны были принять наркотики и доставить их в назначенные пункты внутри страны. Всего было изъято 522 т наркотиков стоимостью около 400 млн. долларов и арестовано 220 контрабандистов [Исаченко И. И., 1979].

Космическая информация открывает совершенно новые возможности наземных транспортных сетей, хозяйственного планирования, дает возможность разрабатывать и осуществлять крупномасштабные строительные проекты, помогает сооружению новых и реконструкции существующих городов и промышленных зон. В последнее десятилетие как в СССР, так и в США проводятся работы по применению космической информации в градостроительстве и созданию карт динамики городов и регионов. При этом комплексно используются данные переписи населения и дистанционных съемок. Проведенные исследования показывают, что по космическим снимкам даже сравнительно низкого разрешения (типа снимков с «Ландсат») можно получать ценнейшую информацию о численности населения и ее изменениях, о плотности населения, качестве жилищ и даже проводить оценку уровня семейных доходов и проследить географическое распределение семей с разными доходами как в городах, так и в сельских местностях. Рассмотрению этих

вопросов посвящена книга «Наука наблюдения», изданная в 1973 г. в Бостоне (США) под редакцией Р. Хольца; некоторые из них рассмотрены в монографии «Космические исследования для градостроительства» (Ленинград, Стройиздат, 1981).

Многие детали прослеживающейся на космических снимках информации важно учитывать при городском строительстве и реконструкции городов. Так, на космическом снимке района Финского залива видна тектоническая линия почти широтного простираения, проходящая через северную часть Ленинграда и выходящая к южному берегу Ладожского озера (рис. 53). Этот линеймент явился ослабленной зоной, по которой в кембрийские и вендские отложения основания города в ледниковую эпоху врезалось русло потока, заполнившееся позже рыхлыми озерно-морскими и речными отложениями последних тысячелетий. Именно здесь, как ни в каком другом месте города, возможны прорывы и проседания рыхлого подвижного материала, что необходимо учитывать при строительстве.

Средства космической техники используются также для целей навигации. Навигационную программу выполняет, в частности, спутник «Космос-1000». Данные, полученные от навигационных спутников, дают ежегодную экономическую выгоду в размере сотен миллионов рублей. Одновременно более точное определение местоположения судов в море, которое обеспечивается навигационными спутниками, дает возможность избежать многих морских катастроф. Большую роль в этом отношении играет и выявление метеорологическими спутниками мест зарождения и путей распространения тайфунов и смерчей.

Наряду с прямыми путями использования космической информации развитие космической техники за последние два десятилетия привело к перевороту во многих отраслях промышленного производства. Технологические и конструктивные разработки, проводившиеся в рамках подготовки космических полетов, находят применение в самых различных отраслях хозяйства, иногда далеких от космических проблем. В процессе конструирования и создания ракет и космических аппаратов, подготовки и проведения пилотируемых космических полетов создаются разнообразные конструкционные материалы, не существовавшие ранее, находящие широкое применение в различных областях техники. Это, например, слоистые, армированные, стекловолокнистые, комбинированные пластики, пленки, покрытия, которые обладают иногда замечательными свойствами. При этом они сравнительно дешевы и просты в производстве. Материал, разработанный для космических целей, — слоеный пенопластик с тонкими прослоями алюминия — идет на изготовление стальных панелей и чрезвычайно прочных и легких лыж. Изобретенный для космических конструкций материал, состоящий из нитевидных кристаллов бора, склеенных специальной резиной, оказался значительно легче алюминия, буду-

чи вдвое прочнее и в 2,5 раза тверже его при гораздо более высокой термостойкости.

Развитие космических исследований способствовало широкому внедрению в производство электронно-вычислительных кибернетических систем, микроэлектроники, микро-ЭВМ, последовательному уменьшению их размеров и снижению стоимости. Следует, однако, отметить, что, несмотря на это, передача информации с автоматических спутников на Землю представляет собой одну из серьезных проблем. Для любой из действующих в настоящее время систем скорость передачи информации составляет 6—15 мегабит в секунду; в дальнейшем она должна увеличиться до 100 мегабит в секунду. Наземные регистрирующие устройства в состоянии принимать лишь 5—10 % этой информации, что приводит к необходимости регистрировать ее выборочно. Следует при этом учитывать, что при получении информации необходимо проводить ее коррекцию (в первую очередь геометрическую). Сейчас коррекции подвергается лишь около 5 % передаваемой информации.

Еще одна область, в которой заметно сказывается влияние космических исследований,— это здравоохранение и медицина. Если традиционная медицина занималась прежде всего изучением и лечением болезней человеческого организма, то в процессе подготовки космических полетов оказалось необходимым изучать человеческий организм как единую систему и определять возможности работы этой системы в экстремальных условиях (как физических, так и психологических).

Начало космической эры совпало с перестройкой основ биологической науки, рождением молекулярной биологии, с открытием Ф. Криком и Дж. Уотсоном генетического кода, установлением механизма передачи генетической информации, стремительным развитием молекулярной генетики, появлением генной (плазмидной) инженерии. Поэтому многие космобиологические эксперименты и медицинские исследования проводились и проводятся на качественно новом уровне, а результаты этих экспериментов начинают использоваться в медицинской практике. Уже сейчас в медицине применяются системы различных приборов, контролирующих жизнедеятельность организма, которые первоначально были сконструированы для целей космической медицины.

Широкие перспективы открывает использование спутниковых систем для биологических и медицинских исследований и экспериментов, в частности получения в космических условиях сверхчистых биологически активных веществ, ферментов, гормонов, антибиотиков, что находит применение и на Земле. С помощью биотехнологических экспериментов «Таврия», проводившихся на орбите космической станцией «Салют-7», удалось подтвердить, что в условиях невесомости увеличивается скорость процесса разделения веществ, а степень биологической очистки повышается многократно.

В этой главе приведены лишь немногие примеры использования материалов космических съемок в народном хозяйстве. Более обширный материал по рассмотренным вопросам можно найти в монографиях Б. В. Виноградова «Преображенная Земля», И. И. Исаченко «Космос и экономика», Э. Баррета и Л. Куртиса «Введение в космическое земледелие» и в ряде других отечественных и зарубежных изданий. В этих книгах можно отыскать оценки экономической эффективности использования космических съемок в хозяйстве. Авторы почти всех таких подсчетов и оценок сходятся на том, что космические программы как социалистических, так и капиталистических стран все в большей мере становятся экономически окупаемыми. Размеры прибыли, полученной от использования космической информации и разработок в области космоса к началу 1980-х гг. (по оценкам зарубежных специалистов), колеблются от 70 до 440 млрд. долларов, что, по-видимому, превышает все затраты человечества на развитие ракетной техники и освоение космического пространства.

## Глава XV

---

### КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Все больше ученых высказывают мнение, что человечество может погибнуть — и очень скоро — не в результате атомной или термоядерной войны, а из-за стремительно возрастающего загрязнения окружающей среды, задушив себя отходами. Это, конечно, пессимисты; но к их голосам невозможно не прислушаться. За последние годы количество разнообразных отходов производства — отвалов горно-обогатительных комбинатов, шлаков, намытых и искусственных грунтов, городских отбросов, продуктов строительной деятельности человека, сельскохозяйственных отходов — возрастает со все увеличивающейся быстротой. По подсчетам М. И. Хазанова, опубликованным им в книге «Искусственные грунты, их образование и свойства», объем разного рода отходов и переработанных людьми горных пород только за последние 20 лет значительно превысил 1 трлн. м<sup>3</sup>, иначе говоря, тысячу кубических километров. Он лишь немного уступает объему отходов, накопившихся за всю предыдущую историю человечества. В ближайшие 20—30 лет ожидается дальнейшее резкое увеличение объема отходов — в 3—5 раз. Если сейчас они покрывают площадь, исчисляемую многими десятками тысяч квадратных километров (вероятно, более 100 тыс. км<sup>2</sup>), то уже в 2000 г. ими будет занята пло-

щадь во многие сотни тысяч квадратных километров, а к концу XXI в. они могут покрыть большую часть континентов, имея среднюю мощность около 200 м.

Хвостохранилища горно-обогатительных комбинатов, свалки городских отходов, места формирования искусственных, антропогенных ландшафтов хорошо прослеживаются на космических снимках. Многие крупные хвостохранилища в США, СССР, Канаде, Европе видны не только на детальных, но и на локальных космических снимках, а наиболее значительные из них — даже на региональных.

Одновременно с суши загрязняется гидросфера и атмосфера. Уже сейчас над большинством крупных городов наблюдается опасное насыщение атмосферы углекислым газом, пылью, дымом фабрик и заводов, отравление воздуха ядовитыми химикатами и выхлопными газами автомобилей. Быстро возрастает загрязнение рек, озер, внутриматериковых водоемов и даже континентального шельфа. Общая степень отравления природной среды не просто увеличивается, но ускоренно растет с каждым днем, вызывая неизвестные ранее аллергические и сердечно-сосудистые заболевания, распространение которых неизменно возрастает.

Эти обстоятельства способствовали появлению нового направления использования космических съемок — антропоэкологического, связанного с оценкой деятельности человека на Земле и с обратным воздействием этой деятельности на человеческий организм. В декабре 1982 г. в СССР состоялось первое всесоюзное совещание по антропоэкологическим проблемам, решаемым с помощью средств космической техники.

Возрастает и учитываемый ущерб от загрязнения среды. В Японии он возрос, например, с 35 млрд. иен в 1955 г. до 6 трлн. иен в 1970 г., что составляет около 8 % всего национального дохода страны.

Изучение космических снимков земной поверхности позволяет объективно оценивать степень загрязненности различных регионов, главные источники загрязнения, выявлять и анализировать антропогенные ландшафты, картировать охраняемые ресурсы, планировать и осуществлять национальные и межгосударственные мероприятия по охране окружающей среды. На космических снимках отчетливо видны области массового поражения растительности (особенно хвойных лесов) в результате загрязнения атмосферы; видно иссыхание и загрязнение озер, рек и крупных водоемов; видны участки эрозии почв и зоны наступления пустынь, обширные районы вырубленных лесов, дымовые шлейфы заводов, теплостанций, цементных предприятий, направление разноса дымов, нередко на сотни километров, и степень загрязнения ими атмосферы. По материалам космических снимков устанавливается, в частности, что вырубка лесов на нашей планете ведется со скоростью около 6 млн. га в год. Это приводит к тому, что каждый год в атмосферу Зем-

ли поступает кислорода меньше на 10—12 млрд. т, и эти потери ничем не восполняются.

Сравнение материалов космических съемок разных лет и их сопоставление с существующими картами и схемами позволяют объективно оценивать скорость роста городов, часто очень высокую. Так, площадь городов Даллас и Форт-Уэрт в штате Техас в США за 15 лет, с 1954 по 1969 г., увеличилась более чем в 10 раз. Не менее быстро растут крупнейшие города Латинской Америки — Мехико, Сан-Паулу, Буэнос-Айрес, Рио-де-Жанейро. Население этих городов за 100 лет выросло более чем в 50 раз, а площадь — в 80—100 раз, и рост их продолжается столь же стремительными темпами: уже сейчас только в этих четырех городах живет более 50 млн. человек — больше, чем во всей Латинской Америке 100 лет назад.

На космических снимках отчетливо видны не только изменения, происходящие в облике районов активного городского строительства, но и связанные с этим изменения ландшафтов прилегающих регионов: перепланировка земельных угодий, перестройка ирригационных систем, рост сельскохозяйственных комплексов. Нередко городское строительство сопровождается образованием вблизи городов искусственных водохранилищ. Но одновременно рост городов ведет и к загрязнению речных и озерных вод, следы которого отчетливо просматриваются на космических снимках.

Не менее четко видны на снимках и результаты все более широкого использования пресных вод на орошение, что ведет к быстрому иссыханию внутриконтинентальных водоемов, таких, например, как Аральское море. Значительные участки южной и восточной частей Арала в начале 1980-х гг. превратились в заболоченную, а местами совершенно высохшую равнину (рис. 54).

Космические снимки позволяют с высокой точностью определять как сезонные, так и прогрессирующие со временем изменения водного баланса рек, озер и морей, определять как механическое, так и химическое, биологическое и тепловое загрязнение вод и атмосферы. Особенно четко фиксируется механическое загрязнение водоемов около крупных прибрежных городов. Оно прослеживается лучше всего на снимках, выполненных в желто-зеленой и оранжевой частях спектра. На снимках в этих каналах лучше всего прослеживается и химическое загрязнение воды нефтяными и другими пленками.

Использование космической информации о загрязнении окружающей среды позволяет принимать действенные меры по охране природы. В СССР, так же как и в ряде других стран, были приняты законодательные акты, связанные с охраной водной среды, атмосферы, защитой вод и атмосферы от химического и иных видов загрязнения. Однако многие виды охраны невозможны без международного сотрудничества. Целым рядом стран в последние годы приняты программы охраны и защиты

окружающей среды, в значительной степени основанные на информации, поступающей с космических аппаратов. В рамках Совета экономической взаимопомощи такая программа действует начиная с апреля 1971 г. Можно думать, что в будущем космическая информация будет положена в основу международной системы соглашений по охране окружающей среды и контролю над всеми процессами, ведущими к ее загрязнению.

## Глава XVI

---

### ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ

То, о чем говорилось в предыдущих главах, — всего лишь рассказ о первых попытках людей понять и использовать ширящийся поток космической информации. В наши дни мы используем лишь малые ее доли.

Что нам сулит будущее? Как будет происходить развитие человечества в первые века новой космической эры? Попытки давать долгосрочные прогнозы — дело рискованное. Но некоторые ближайшие перспективы уже вырисовываются.

Нет ни одной области человеческой жизни, которой не коснется — или уже не коснулся — космический век. С каждым годом достоверность и точность космической информации повышается. Сокращается и реальная себестоимость космических снимков, и оперативность их доставки потребителям. Так, например, если в середине 1970-х гг. на получение одного снимка со спутника «Ландсат» затрачивалось около 700 долларов, а в 1980 г. — 70 долларов, то уже к 1985 г. себестоимость одного такого снимка снизится до 0,5 доллара, а срок доставки материалов космических съемок заказчикам сократится в 100—200 раз — от 5—7 недель в середине 1970-х гг. и 5—7 суток в 1981 г. до 1—10 ч во второй половине 1980-х гг.

Чрезвычайно быстро развиваются и совершенствуются и системы космической связи. В настоящее время телевизионные программы Советского Союза ретранслируются спутниками систем «Молния» «Радуга», «Экран», «Горизонт». Прием телевизионных программ в СССР ведется сетью наземных станций «Орбита». Советские спутники связи, являющиеся основой международной системы «Интерспутник», используются для обмена телевизионными программами и обеспечения телефонной и телеграфной связи со многими странами Европы, Азии, Африки и Америки. Линии связи международной спутниковой системы «Интелсат» обслуживают ныне многие страны мира. Координация работ по ретрансляции телевизионных программ, осуществляемая международными организациями космической связи, становится все более всеохватывающей.

В последние годы создаются международные организации по использованию космической информации, в которых сотрудничают капиталистические и социалистические страны (например, ИНМАРСАТ — Международная организация спутниковой системы морской связи, объединяющая 37 крупнейших морских держав мира). К концу 1981 г. станциями спутниковой связи было оснащено уже около 900 судов; в ближайшее пятилетие их число удвоится.

Другим примером международного сотрудничества является проект КОСПАС — САРСАТ, разработанный совместно со специалистами СССР, США, Франции и Канады и предусматривающий создание космической системы обнаружения терпящих бедствие судов и самолетов. Уже сейчас, например, в рамках этого проекта только с помощью спутника «Космос-1383» за один месяц, с 10 сентября по 10 октября 1982 г. определены координаты четырех авиационных и морских катастроф и спасены 7 человек. В ближайшие годы планируется запустить еще 12 ИСЗ для дальнейшей реализации проекта «КОСПАС — САРСАТ».

Одним из важнейших направлений космических исследований является охрана природной среды. В ближайшие годы намечается создание спутниковых систем и спутников-обсерваторий для регистрации загрязнения природной среды, а также спутниковых систем регистрации лесных пожаров. Изучаются возможности создания спутниковой системы для удаления радиоактивных и других вредных промышленных отходов в космос.

Спутниковые системы все шире начинают удовлетворять многие потребности быта. В США к 1990 г. предполагается ввести в действие спутниковую систему ретрансляции почтовых отправок (с обслуживанием до 100 тыс. почтовых отправок), а еще раньше, в 1985 г., — спутниковую систему межбиблиотечного обмена. Предусматривается использование спутниковых систем в торговле, управлении воздушным движением, в связи геологических, туристских и альпинистских партий и групп с помощью наручных приемопередатчиков, а также индивидуальной связи на той же основе.

Огромное значение имеет использование материалов космических исследований в сельском хозяйстве. В результате уточнения сроков сбора урожая сократились потери урожая при его транспортировке и хранении. Съемки в инфракрасной части спектра широко применяются для наблюдения за состоянием посевов, прежде всего за водным режимом растительности. Использование космических снимков помогает бороться с сорняками, болезнями посевов, угнетенным состоянием растительности, позволяет своевременно вносить на поля необходимые удобрения, заблаговременно учитывать метеорологические прогнозы. Все это приводит к повышению урожайности и улучшению качества урожая. К началу 1980-х гг. космическая инфор-

мация уже использовалась при сельскохозяйственных работах во многих странах мира, в том числе в странах Латинской Америки, Африки и Европы, а также в Австралии и Новой Зеландии. Можно думать, что в середине 1990-х гг. в большинстве стран мира сельскохозяйственные работы, включая и пастбищное скотоводство, охоту и рыболовство, будут проводиться на основе широкого использования космической информации.

Большое значение имеет космическая информация для дальнейшего развития науки и техники. Возможно, что в некоторых областях науки именно она будет определять главное направление исследований и приведет к пересмотру многих существующих представлений. В особенности это относится к науке о Земле и к данным сравнительной планетологии, которые, вероятно, будут накапливаться с прогрессирующей быстротой. Геохимия и космохимия (делающая сейчас свои первые шаги) будут стремительно развиваться. Можно ожидать, что уже в самое ближайшее время будут сформулированы фундаментальные законы, лежащие в основе космохимического устройства Вселенной. Исследование геодинамики и динамики планетных оболочек будет развиваться в тесном сочетании с изучением генезиса и морфологии поверхности планет и слагающих их горных пород и формаций. Поиски рудных и нерудных полезных ископаемых будут проводиться в рамках общего исторического, химического, динамического и экономического картирования Земли и планет.

Космические исследования, по-видимому, приведут в ближайшем будущем и к революционным преобразованиям во многих областях техники и технологии, а также в медицине. Результаты разработок в области космической техники найдут применение при проведении промышленных и сельскохозяйственных работ, при исследовании глубин Мирового океана и при полярных исследованиях, в спортивных состязаниях, при изготовлении геологического оборудования и в других областях. Результаты изучения систем жизнедеятельности человеческого организма и психологии человека, полученные при длительных космических полетах, будут использоваться в повседневной медицинской практике.

Дальнейшее развитие космических исследований приведет к более тесным связям между людьми, живущими в разных регионах мира, расширению хозяйственного и культурного сотрудничества, дальнейшему объединению человечества и укреплению мира между народами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анализ космических снимков при тектоно-магматических и металлогенических исследованиях. М., Наука, 1979. 164 с.
- Аэрокосмические исследования Земли. М., Наука, 1979. 304 с.
- Баррет Э., Куртис Л. Введение в космическое землеведение. М., Прогресс, 1979. 368 с.
- Большой А. А., Стражева И. В. Двадцать лет космической эры. М., Знание, 1977.
- Брацлавец П. Ф., Росселевич И. А., Хромов Л. И. Космическое телевидение. М., Связь, 1973.
- Виноградов Б. В. Космические методы изучения природной среды. М., Мысль, 1976. 286 с.
- Виноградов Б. В. Преображенная Земля. М., Мысль, 1982. 296 с.
- Виноградов Б. В., Кондратьев К. Я. Космические методы землеведения. Л., Гидрометеониздат, 1971. 188 с.
- Геологические исследования из космоса/Под ред. С. Фредена, Э. Мерканти, М. Беккер. М., Мир, 1975. 287 с.
- Геологическое изучение Земли из космоса. М., Наука, 1978. 227 с. (Труды ГИН АН СССР, вып. 317).
- Гонин Г. Б. Космическая фотосъемка для изучения природных ресурсов. Л., Недра, 1980. 319 с.
- Григорьев А. А. Космическая индикация ландшафтов Земли. Л., Изд-во ЛГУ, 1975. 166 с.
- Известия вузов. Геология и разведка, 1973, № 7; 1974, № 12; 1975, № 1; 1976, № 11.
- Исаченко И. И. Космос и экономика. М., Мысль, 1979. 228 с.
- Исследование Земли из космоса. С 1980 г. № 1—6 ежегодно.
- Исследования природной среды космическими средствами. М., АН СССР, 1973—1976, т. 1—5.
- Картографирование по космическим снимкам и охрана окружающей среды. М., Недра, 1982. 251 с.
- Кац Я. Г., Рябухин А. Г., Трофимов Г. М. Космическая геология. М., Изд-во МГУ, 1976. 248 с.
- Келдыш Р. В., Маров М. Я. Космические исследования. М., Наука, 1981. 191 с.
- Коваль А. Д., Тюрин Ю. А. Космос — Земле (Международное сотрудничество в области прикладного использования космонавтики). М., Знание, 1979. 112 с.
- Коваль А. Д., Успенский Г. Р. Космос — человеку. М., Машиностроение, 1974.
- Кондратьев К. Я. Спутники и проблема природных ресурсов Земли. М., Знание, 1971.
- Кондратьев К. Я. Спутниковая климатология. Л., Гидрометеониздат, 1971.
- Космическая геология. Материалы симпозиума НАСА по исследованию ресурсов Земли. Л., Недра, 1979. 382 с.
- Космическая информация в геологии. М., Наука, 1983. 534 с.
- Космическая фотосъемка и геологические исследования. Л., Недра, 1975. 416 с.

- Космос — Земле. М., Наука, 1981. 152 с.
- Кравцова В. И. Космическое картографирование. М., Изд-во МГУ, 1977. 116 с.
- Методы теоретической геологии. Л., Недра, 1978. 336 с.
- Мещеряков И. В., Сильвестров С. Д., Цепелев А. В. Космическая навигация и геодезия. М., Знание, 1978.
- Минина Л. С. Искусственные спутники Земли на службе у метеорологии. М., Знание, 1970.
- Многозональная аэрокосмическая съемка и ее использование при изучении природных ресурсов. М., Изд-во МГУ, 1976. 146 с.
- Многозональные аэрокосмические съемки Земли. М., Наука, 1981. 304 с.
- Семакин Н. К., Назиров М. Использование космической фотоинформации в обучении физической географии. М., Просвещение, 1977. 144 с.
- Сладкопевцев С. А. Изучение и картографирование рельефа с помощью аэрокосмической информации. М., Недра, 1982. 216 с.
- Смирнов Г. Д., Зиман Я. Л., Аванесов Г. А. Космос — народному хозяйству. М., Знание, 1977.
- Смирнов Л. Е. Аэрокосмические методы географических исследований. Л., Изд-во ЛГУ, 1975.
- Уеда С. Новый взгляд на Землю. М., Мир, 1980. 213 с.
- Унксов В. А. Тектоника плит. Л., Недра, 1981. 288 с.
- Харин Н. Г. Дистанционные методы изучения растительности. М., Наука, 1975.
- Чернявский Г. М., Бартенев В. А. Орбиты спутников связи. М., Связь, 1978.
- Nicks O. W., ed This Island Earth. Washington, NASA, 1970.

**Аллохтон** — комплекс горных пород, перемещенных на значительное расстояние (десятки, сотни и тысячи километров) от места своего первоначального формирования.

**Амфиболы** — водосодержащие минералы, представляющие собой соединения кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ) с кальцием, магнием, железом и щелочами. Породообразующие минералы земной коры. Амфиболит — горная порода, состоящая преимущественно из амфибола и плагноклаза.

**«Аполлон»** — одна из главных космических программ США в 1961—1974 гг. Космические корабли «Аполлон-6» (беспилотный), «Аполлоны-7 и -9» (пилотируемые) вывелись на околоземные орбиты в 1968—1969 гг. «Аполлоны-8 и -10—17» (все пилотируемые) выполняли полеты по трассе Земля — Луна; шесть полетов включали высадку космонавтов на Луне.

**Астеносфера** — слой магнезиально-силикатной мантии Земли, подстилающей литосферу и способный к пластическому течению.

**Базальт** — темноцветный эффузив, состоящий преимущественно из основного плагноклаза, пироксена и часто оливина.

**«Восток»** — наименование серии советских одноместных космических кораблей, на которых были совершены первый в мире космический полет Ю. А. Гагарина (12 апреля 1961 г.) и полеты космонавтов Г. С. Титова (6—7 августа 1961 г.), А. Н. Николаева (11—15 августа 1962 г.), П. Р. Поповича (12—15 августа 1962 г.), В. Ф. Быковского (14—19 июня 1963 г.) и В. В. Терешковой (16—19 июня 1963 г.).

**«Восход»** — наименование советских многоместных космических кораблей. «Восход» совершил полет 12—13 октября 1964 г.; экипаж — В. М. Комаров, К. П. Феоктистов, Б. Б. Егоров. «Восход-2» совершил полет 18—19 марта 1965 г.; экипаж — П. И. Беляев и А. А. Леонов, который впервые в мире осуществил выход в открытый космос.

**Габбро** — горная порода, состоящая из основного плагноклаза и пироксена, часто с примесью оливина и (или) амфибола.

**Геостационарные спутники Земли** — ИСЗ, которые запущены в плоскости экватора на круговые орбиты с высотой около 36 тыс. км и вращающиеся по орбите с той же угловой скоростью, что и Земля; в результате эти ИСЗ постоянно находятся над определенной точкой экватора.

**Глаукофан** — щелочной амфибол с высоким содержанием натрия, образующийся в условиях высоких давлений (более 10 тыс. ат) и относительно низких температур — 200—400 °С. Глаукофановые сланцы в разрезах складчатых поясов являются индикаторами швов замкнувшихся океанов геологического прошлого.

**Горячие точки** — согласно гипотезе Дж. Т. Уилсона, места активного базальтового вулканизма над бьющими из глубин мантии фонтанами дифференцированного вещества (см. главу V).

**Гранит** — главная порода континентальной коры Земли, состоящая из преобладающего полевого шпата, кварца и слюды, иногда с примесью амфиболов.

**Дешифрирование снимков** — изучение местности по ее изображению, заключающееся в выявлении и распознавании объектов или явлений, установлении их характеристик.

**«Джемини»** — наименование серии американских двухместных пилотируемых космических кораблей, из которых пять («Джемини-3»—«Джемини-7») были запущены в 1965 г., а пять («Джемини-8»—«Джемини-12») в 1966 г.

**Диапир** — структура, возникающая в результате прорывания глубинными пластическими массами вышележащих толщ.

**Дунит** — ультраосновная мантийная порода, состоящая в основном из оливина.

**Зеленые сланцы** — сланцы с высоким содержанием зеленоцветных минералов: эпидота, кальциевого амфибола — актинолита, хлоритов; возникают чаще всего в зоне повышенного стрессового давления и вместе с офиолитами маркируют сутурные зоны складчатых поясов.

**Зона субдукции** — зона поглощения океанической литосферы, фиксируемая сейсмическими толчками и уходящая в глубины мантии до 500—700 км.

**Изостазия** — состояние равновесия масс земной литосферы и астеносферы. Быстрое поднятие земной литосферы после снятия нагрузки (в частности, после таяния ледников) показывает высокую подвижность астеносферы и низов литосферы, которые и обеспечивают изостатическое выравнивание.

**Кислые породы, лавы** — породы, лавы с высоким содержанием кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ).

**Кора земная** — внешняя алюмосиликатная оболочка Земли. Под океанами имеет мощность 5—10 км, под континентами — 30—40 км; под горами утолщена, местами до 70—75 км.

**Ландсат** — американская космическая система изучения природных ресурсов Земли, включающая ИСЗ того же наименования, наземные станции приема, обработки, хранения, передачи информации и т. п. Характеристика в тексте (см. главу I).

**Литосфера** — внешняя твердая оболочка Земли, включающая алюмосиликатную кору и верхи подстилающей ее магнезиально-силикатной мантии; подстилается астеносферой, прочность вещества которой относительно мала. Мощность литосферы колеблется от 30 до 100 км под океанами, до 200—300 км под континентами.

**Магма** — расплавленная огненно-жидкая масса, возникающая в коре или мантии Земли и дающая при застывании магматические горные породы.

**Магматизм** — совокупность геологических процессов, вызываемых образованием или внедрением магм и магматических расплавов. Глубинный магматизм обычно называют плутонизмом, а прорыв магм на поверхность Земли и извержения вулканов — вулканизмом.

**Мантия Земли** — оболочка Земли, залегающая между границей Мохоровичича — подошвой земной коры (5—15 км под океанами, 30—70 км под континентами) и внешней границей земного ядра (2898 км ниже уровня Мирового океана).

**Меланж серпентинитовый** — тектоническое месиво, состоящее из серпентинитовой основной массы и включенных в нее глыб и блоков горных пород.

**Металлогения** — наука о закономерностях размещения рудных месторождений в пространстве и во времени.

**«Метеор»** — советская метеорологическая система, включающая в себя метеорологические ИСЗ того же названия, наземные станции приема, обработки, хранения, передачи информации и т. п. На ее базе в 1974 г. создана экспериментально-эксплуатационная система «Метеор — Природа» для изучения природных ресурсов Земли. В этой системе используются ИСЗ типа «Метеор — Природа», оснащенные более совершенной съемочной аппаратурой. За время функционирования систем «Метеор», «Метеор — Природа» уже выведено более 30 ИСЗ. Характеристика в тексте (см. главу I).

**«Метеосат»** — геостационарный метеорологический ИСЗ, входящий в систему одновременного глобального слежения за метеобстановкой, оснащен сканирующей съемочной аппаратурой.

**Мохоровичича граница (раздел)** — планетарная поверхность раздела, принятая за нижнюю границу земной коры. Скорость продольных сейсмических волн скачкообразно возрастает здесь от 6,5—7,4 до 8,0—8,2 км/с, плотность увеличивается от 2,9 до 3,3 г/см<sup>3</sup>.

**Оливин** — главный минерал мантии Земли, ортосиликат магния и железа; легко изменяется под воздействием водосодержащих растворов, превращаясь в серпентин и минералы группы хлорита.

**Олистострома, дикий флиш** — хаотические скопления переотложенных не-

отсортированных обломков горных пород (олистолигов), сцементированных тонкозернистой массой хорошо отсортированных осадков, возникающие в процессе активного движения тектонических пластин и шарьяжей по морскому дну.

**Орогенез** — горообразование, формирование горных хребтов.

**Основные породы, лавы** — магматические и вулканические алюмосиликатные породы с высоким содержанием кальция и магния и низким содержанием кремнезема.

**Офиолиты** — ассоциация пород ультраосновного и основного состава, шаровых базальтовых лав и кремней, участвующая в строении складчатых областей. Большинство исследователей рассматривает офиолиты как тектонически перемещенные пластины океанической коры и верхней мантии, маркирующие швы замкнувшихся океанов геологического прошлого.

**Перидотит** — ультраосновная порода, состоящая преимущественно из оливина и пироксена.

**Пироксены** — темноцветные минералы, представляющие собой безводные соединения кремнезема с кальцием, магнием, железом, натрием, алюминием, титаном, реже — с другими элементами. Подразделяются на две группы — ромбические, более тугоплавкие (магнезиально-железистые) и моноклинные, более легкоплавкие.

**Плагноклаз** — см. Полевые шпаты.

**Платформы** — обширные участки континентов Земли, характеризующиеся относительно спокойным тектоническим режимом и равнинным рельефом. Складчатый фундамент платформ на большей их части перекрыт полого и горизонтально залегающим платформенным чехлом. Участки платформ, где складчатый фундамент выходит на поверхность, называют шитами.

**Плиты литосферные** — обширные жесткие блоки, слагающие литосферу Земли. Находятся в постоянном движении, перемещаясь от зон растяжения — рифтовых долин срединно-океанических хребтов — к зонам сжатия, где их вещество частично погружается в глубь мантии, а частично участвует в формировании континентальной сиалической коры.

**Покров тектонический** — см. Шарьяж.

**Полевые шпаты** — главные минералы земной коры, из которых и из продуктов разрушения которых — минералов группы глин и хлоритов — земная кора состоит более чем наполовину. Полевые шпаты представляют собой алюмосиликаты натрия, кальция и калия, реже — бария. Они подразделяются на две главные группы — калиевые (ортоклаз, микроклин) и натриево-кальциевые (плагноклазы).

**Рифтогенез** — образование рифтов и рифтовых систем.

**Рифты** — линейно вытянутые на сотни километров рвообразные или каньонообразные структуры, характерные для зон растяжения континентальной и океанической коры Земли.

**«Салют»** — наименование серии советских долговременных орбитальных станций, работающих в пилотируемом и автоматическом режимах. Со станциями «Салют» проводятся стыковки пилотируемых кораблей «Союз» и грузовых кораблей «Прогресс». Первая станция «Салют» находилась на орбите с 19 апреля по 11 октября 1971 г. На ее борту работали две экспедиции, одна из которых (Г. Т. Добровольский, В. Н. Волков, В. И. Пацаев) — в течение 23 суток. «Салют-3» находился на орбите с 25 июня 1974 г. по 24 января 1975 г., принял одну экспедицию, «Салют-4» находился на орбите более двух лет — с 26 декабря 1974 г. по 3 февраля 1977 г., на его борту работали две экспедиции. «Салют-5» на орбите с 22 июня 1976 г. по 8 августа 1977 г., также принял две экспедиции. «Салют-6» на орбите с 29 сентября 1977 г. по 29 июля 1982 г.; программа работы станции включала полет пяти основных экипажей, проводивших в космосе в общей сложности 676 суток, и 11 экспедиций посещения, в том числе 9 международных. 19 апреля 1982 г. на орбиту введен «Салют-7», на базе которого стал функционировать комплекс «Союз» — «Салют-7» — «Прогресс» с новым экипажем космонавтов.

**Сейсмология** — наука о землетрясениях и связанных с ними явлениях, раздел геофизики.

**Серпентин** — водосодержащий силикат магния и железа, обладающий слоистой структурой кристаллов и повышенной пластичностью. Образуется за счет гидратации оливина и пироксена.

**Сиаль** — название вещества алюмосиликатной земной коры как океанической, так и континентальной.

**«Скайдэб»** — американская пилотируемая орбитальная станция. На станции в 1973—1974 гг. проводили работы три сменных экипажа: первый — в течение 28 суток; второй — в течение 59 суток, третий — в течение 84 суток.

**Сканирование** — последовательный построчный просмотр полосы местности с ИСЗ или самолета: обычно строки располагаются перпендикулярно к направлению полета. Изображение формируется по мере перемещения ИСЗ или самолета за счет сложения отдельных строк.

**Сканирующая аппаратура** — аппаратура, обеспечивающая получение изображений (сканерных снимков) в результате сканирования местности в видимой или инфракрасной областях электромагнитного спектра.

**«Союз»** — наименование серии многоместных советских космических кораблей, запущавшихся с 23 апреля 1967 г., предназначенных первоначально для длительных пилотируемых космических полетов и использовавшихся впоследствии в качестве транспортных космических кораблей для доставки на долговременные орбитальные научные станции «Салют». Всего запущено 40 космических кораблей «Союз».

**«Союз-Т»** — новый пилотируемый космический корабль, представляющий собой усовершенствованный вариант космического корабля «Союз» и предназначенный только для транспортировки космонавтов на станцию «Салют» и их возвращения на Землю.

**«Спейс Шаттл»** — наименование американской программы пилотируемых полетов космических кораблей многократного пользования на 1980-е — начало 1990-х гг. К началу 1983 г. произведено семь запусков космических кораблей «Спейс Шаттл» (пять запусков корабля «Колумбия», два запуска корабля «Челленджер»).

**Спреди́нг** — разрастание океанической дна — процесс формирования океанической коры Земли в результате последовательного наращивания новых порций океанической коры в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов.

**Субдукция** — поглощение океанической коры. См. **Зона субдукции**.

**Сугурная зона, сугура** — участки складчатого пояса континента, в пределах которого на поверхность выходят офиолитовые и зеленосланцевые формации, фиксирующие шовную зону замкнувшегося океана геологического прошлого.

**Тектоника** — наука о строении земной литосферы, о геологических структурах и закономерностях их формирования.

**Ультраосновные породы** — общее название бесполевошпатовых глубинных пород. По минеральному составу подразделяются на три основные группы: оливиновые породы — дуниты, оливин-пироксеновые породы — перидотиты и пироксеновые породы — пироксениты.

**Центробежные элементы** — химические элементы, накапливающиеся в процессе дифференциации Земли и планет в их внешних оболочках. Достигают максимальной концентрации в континентальной коре Земли.

**Центростремительные элементы** — химические элементы, последовательно накапливающиеся в ядрах Земли и планет и вытесняемые на всех этапах дифференциации из их внешних оболочек.

**Шарьяж** — горизонтальный или пологий надвиг с перемещением масс в виде тектонических покровов на десятки и сотни километров по поверхности надвига.

**Щит** — участок континентальной платформы, в породах которого складчатый фундамент платформы выведен на поверхность.

**Элементы-океаниты** — Ca, Ti, V, Sc — химические элементы, накапливающиеся в океанической коре Земли по сравнению с мантией, но резко сокращающие свои содержания в гранитах и большинстве других пород земных континентов.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

Предисловие . . . . .	3
Глава I. Дистанционные исследования в прошлом и настоящем. Типы и виды космических съемок . . . . .	6
Глава II. Атмосфера Земли на космических снимках . . . . .	18
Глава III. Космические снимки и геология . . . . .	24
Глава IV. Океаны и моря на снимках из космоса . . . . .	42
Глава V. Вулканы Земли . . . . .	46
Глава VI. Линеаменты на космических снимках . . . . .	53
Глава VII. Горные хребты Земли . . . . .	59
Глава VIII. Щиты и равнины платформ . . . . .	63
Глава IX. Наша подвижная планета . . . . .	67
Глава X. Концентрические структуры . . . . .	75
Глава XI. Как снимки помогают искать руду . . . . .	82
Глава XII. Карты и снимки . . . . .	90
Глава XIII. Следы человека . . . . .	94
Глава XIV. Космические исследования и хозяйственная деятельность человека . . . . .	97
Глава XV. Космические снимки и охрана окружающей среды . . . . .	103
Глава XVI. Взгляд в будущее . . . . .	106
Список литературы . . . . .	109
Словарь терминов . . . . .	111

40 коп.

4458

# Земля из КОСМОСА

