

КОСМИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ В ГЕОЛОГИИ



АКАДЕМИЯ НАУК СССР

КОМИССИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
С ПОМОЩЬЮ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Секция «Космическая геология»

КОСМИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ В ГЕОЛОГИИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА 1983

Academy of Sciences of the USSR

Commission of natural resources studies
by space means

'Section «Geology from space»

SPACE INFORMATION FOR GEOLOGY

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

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

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

Редакционная коллегия:

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

Ответственные редакторы:

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

Editorial Board:

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

Responsible editors:

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

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СОВРЕМЕННЫХ И НОВЕЙШИХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Глава 8

СОВРЕМЕННЫЕ И НОВЕЙШИЕ ЭНДОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

МОЛОДАЯ ТЕКТОНИКА И ПРОГНОЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Молодые (позднеплейстоцен-голоценовые) тектонические нарушения и деформации интересны с двух точек зрения. Во-первых, в комплексе с сейсмологическими и геофизическими данными они служат основой для построения актуалистической структурно-кинематической модели литосферы, необходимой для понимания тектонических процессов и пространственных соотношений структур геологического прошлого. Во-вторых, с молодыми нарушениями и деформациями как проявлениями современной тектонической жизни Земли в той или иной мере связаны многие стихийные геологические явления: сейсмичность, вулканизм, склоновые процессы, аккумуляция и эрозия поверхности. Поэтому без знания молодых тектонических движений и их структурных проявлений невозможно рациональное долгосрочное планирование строительства и землепользования.

Методика дистанционного изучения молодых тектонических нарушений

Информативность аэрокосмических снимков для изучения позднечетвертичных тектонических нарушений неоднократно обсуждалась в литературе [Трифонов и др., 1973; Макаров и др., 1974; Макаров, Трифонов, Шуляк, 1974; Шуляк, 1975, 1976, 1977; Иванова, Трифонов, 1976; Трифонов, 1976а; Геологическое..., 1978; Weisman, 1966; Slemons, 1967; Wallace, Maxham, 1967; Thöniasson et al., 1978; Mohajer Aslaji et al., 1975; Molnar, Tapponnier, 1978, 1978].

Изучение молодых тектонических нарушений — многоаспектная проблема, и степень использования материалов аэрокосмических съемок неодинакова при решении разных задач. Одна из них — прямой поиск и диагностика позднечетвертичных разрывов, нарушающих дневную поверхность [Трифонов, 1976а]. На мелкомасштабных космических изображениях, полученных с искусственных спутников серии «Метеор» (разрешение на местность — первые сотни метров или около 1 км), прямыми линиями фотометрического контраста представляются крупные новейшие разломы, например, Таласо-Ферганский (рис. 39). Контрастность выражения зоны разлома на снимке дает основание предполагать наличие позднечетвертичных подвижек. Для выявления и картирования разрывов, нарушающих молодые отложения и формы рельефа, используются более крупномасштабные космические изображения, с разрешением на местности порядка 100 м. Однако, на фоне общего рисунка главных молодых нарушений, наиболее крупных, в 1 км и более, сдвиговых смещений и изгибов речных долин и общего направления вертикальных смещений (рис. 41; зона Таласо-Ферганского разлома), достоверную информацию о морфологии молодых разрывов, особенно мелких, с таких снимков получить трудно. Нужны еще более крупномасштабные космические фотоснимки (рис. 40) и аэрофотоснимки (рис. 42). На них по соотношению линий разрыва со средне- и позднечетвертичными формами рельефа различаются крутые и пологие нарушения. По систематическому искривлению речных русел и овраженных долин с большей или меньшей уверенностью можно предполагать сдвиговые смещения. Иногда определяется общее



Рис. 39. Космическое изображение Индостана—Памира и сопредельных территорий, полученное со спутника «Метеор-18»

Стрелкой показан Таласо-Ферганский разлом

направление вертикальных подвижек. Дешифрируются детали соотношений и рисунка молодых нарушений в зоне разлома.

Тот же ряд космо- и аэроснимков разных масштабов используется для изучения строения молодых вулканических областей [Тораринсон, 1970; Трифонов, 1979; Thøgarinnsson et al., 1973]. На космических снимках дешифрируются общий структурный рисунок, крупные вулканы и их соотношения с разломами (рис. 43). На аэрофотоснимках определяются более мелкие центры извержений, их структурное положение, соотношения разновозрастных лавовых потоков (рис. 44).

Ряд разномасштабных аэрокосмических материалов используется и при изучении молодых складчатых деформаций [Иванова, Трифонов, 1976]. Наиболее мелкомасштабные космические изображения позволяют наметить, например, области замыкания крупных и сложно построенных новейших поднятий; именно в таких областях можно ожидать развития позднечетвертичных складок. На крупномасштабных космических снимках фотометрические контрасты, определяемые степенью обводненности и характером растительности молодых поверхностей подгорных равнин, помогают распознавать складчатые изгибы таких поверхностей. На аэрофотоснимках позднечетвертичные антиклиналы подгорной равнины нередко определяются по расположению сети временных водотоков. Они могут огибать локальные поднятия, продолжающийся рост которых иногда находит отражение в расщеплении единого водотока на несколько русел, из которых более молодые отстоят дальше от оси поднятия, чем более древние. В других случаях русла, начинаясь от оси поднятия, расходятся в стороны от него.

Таким образом, использование снимков разных масштабов и различного разрешения на местности позволяет выделять на мелкомасштабных изображениях области возможного развития молодых нарушений, конкретизировать и детализировать намеченную картину с помощью все более крупномасштабных изображений и, наконец, наземных

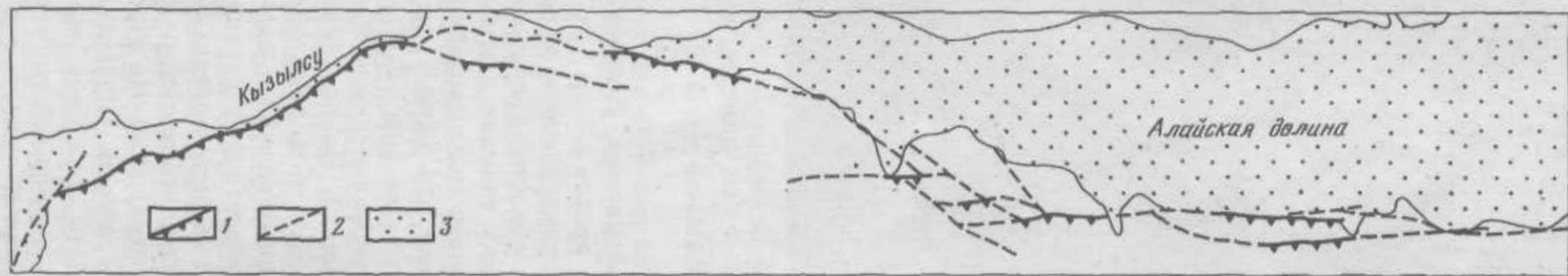


Рис. 40. Фотоснимок восточной части Дарваз-Алайской зоны молодых нарушений (северный склон Заалайского хребта), сделанный камерой МКФ-6 с космического корабля «Союз-22» в 1976 г., и схема дешифрирования позднечетвертичных разрывов

1 — молодые надвиги; 2 — разрывы с неизвестным направлением смещений; 3 — голоценовые наносы р. Кызылсу и ее притоков

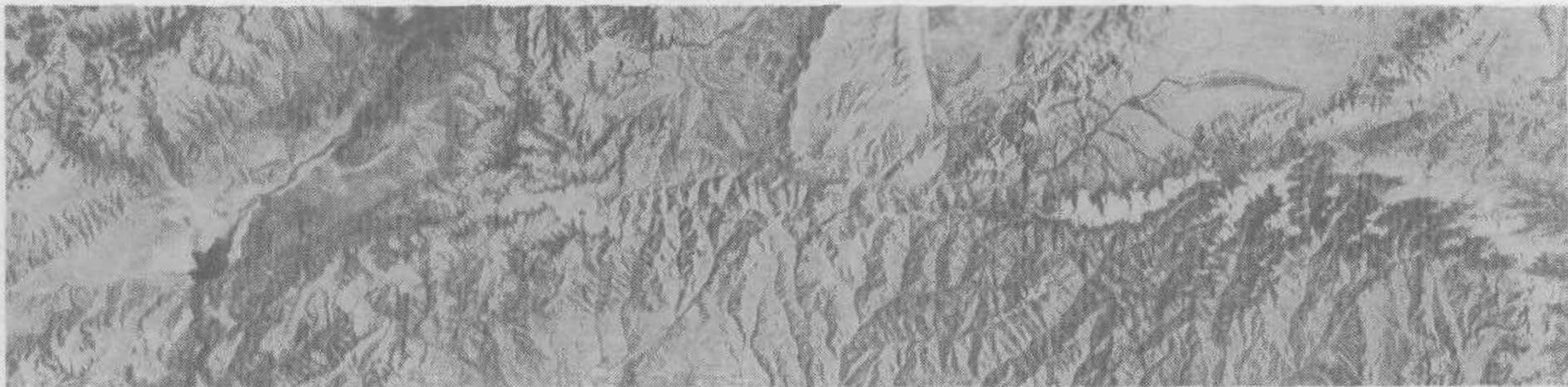


Рис. 41. Космическое изображение зоны Таласо-Ферганского разлома, полученное со спутника «Ландсэт-1» (ERTS-1)

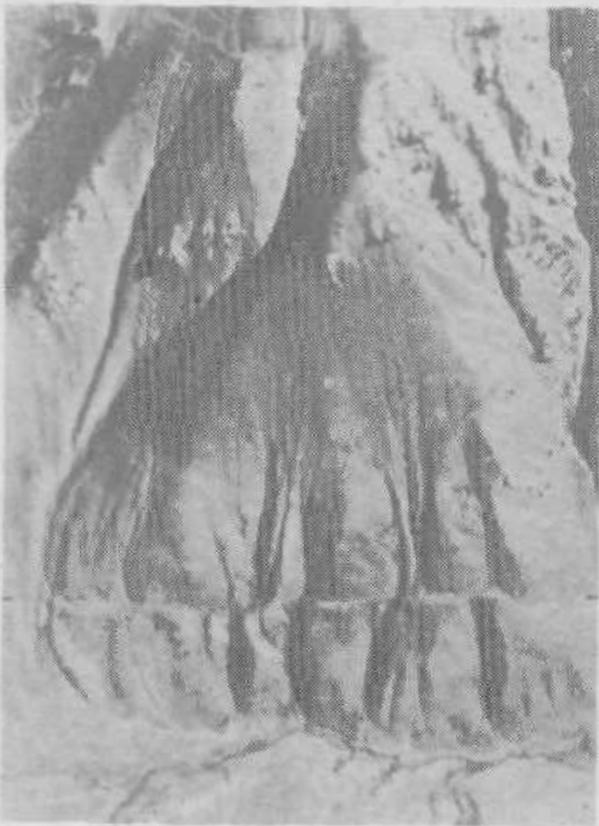


Рис. 42. Аэрофотоснимок участка Таласо-Ферганского разлома. Правый сдвиг на 30 м голоценовых русел на левом борту долины р. Джимангач [Буртман, 1964]

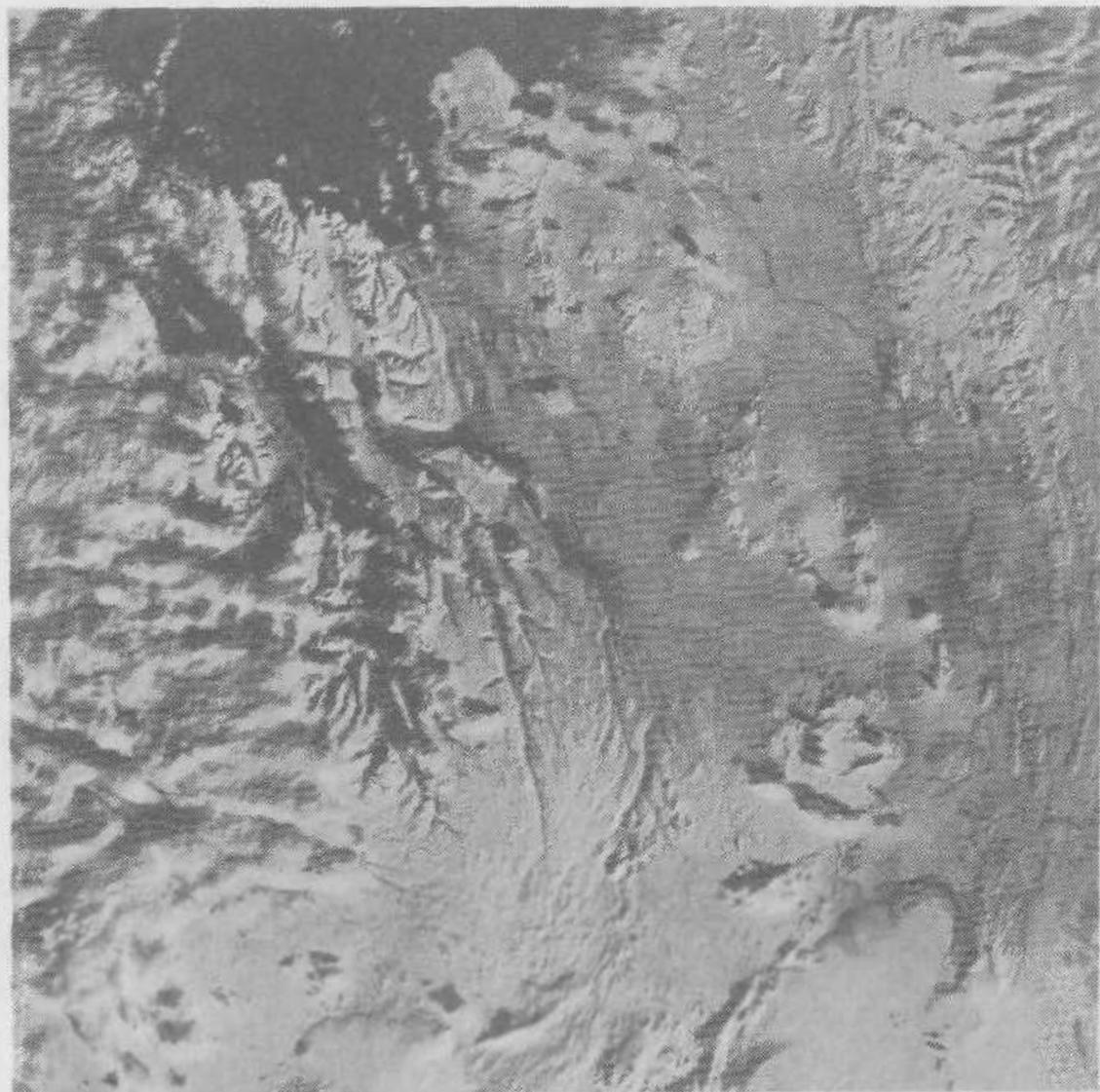


Рис. 43. Сканерное изображение северной части Срединно-Исландской рифтовой зоны, полученное со спутника «Ландсэт-1» (ERTS-1). Спектральный канал 0,8—1,1 мкм



а



б

Рис. 44. Аэрофотоснимки Срединно-Исландской рифтовой зоны

а — цепочка мелких лавовых вулканов вдоль голоценового сбросо-раздвига юго-восточнее щитового вулкана Вегъябунга (Северная Исландия); б — переход по простиранию голоценовой кратерной цепи в молодой грабен восточнее оз. Тоурисвати (Южная Исландия)

рабболодий. Последние дают возможность определить или уточнить амплитуды смещений, установить их возраст и тем самым скорость тектонических движений.

Особой задачей является определение глубины заложения тех или иных позднецетатричных нарушений и зон. Сопоставление дешифрованных образований с сейсмологическими, геофизическими, петрологическими и гидрохимическими данными позволяет оценить глубину заложения молодых подвижных зон и структур [Макаров и др., 1974; Макаров, Трифонов, Шукин, 1974; Аваньян, Трифонов, 1976; Макаров, Соловьева, 1976; Ласло-Ячешко, 1978; Макаров, Шукин, 1979].

В ардных областях изображения в ближнем ИК-диапазоне лучше отражают глубинные образования, чем изображения в видимой части спектра, поскольку на последних структурные элементы, проявленные в рельефе, нередко замаскированы растительностью и глубоко поверхностными осадками. Более важную роль играют масштаб и разрешающая способность снимка. В общем, чем хуже разрешение, т. е. чем выше уровень генерализации изображения, тем более глубинные элементы структуры находят на нем свое отражение. При этом на изображениях разной степени генерализации дешифрируются образования не только разных размеров, но местами разной формы и различного направления. На снимках высоких уровней генерализации могут проступать структурные линии в контуры, крайне слабо или косвенно выраженные в деформациях поверхности, но отвечающие молодым глубинным структурным элементам, которые устанавливаются по сейсмическим, вулканическим, геотермальным и геофизическим проявлениям. Данные о глубинах, из которых те или иные зоны нарушений и деформации наиболее активны, дают возможность сопоставлять молодые структуры разных слоев литосферы, выявлять черты их сходства и различия. Из-за неполноты и неоднозначности интерпретации данных о глубинном строении такие сопоставления остаются гипотетическими, но совпадение данных, полученных разными методами, повышает их достоверность.

Некоторые научные результаты изучения молодых структур

Комплексные исследования молодых структур, выполненные в разных активных областях, прежде всего в Западной и Центральной Азии и на западе Северной Америки, выявили две важные тектонические закономерности [Трифонов, 1980].

Во-первых, активные области, развивающиеся при взаимодействии стабильных блоков, называемых литосферными плитами, не ограничиваются узкими пограничными зонами, а образуют широкие, в сотни километров, подвижные пояса молодых деформаций со смещениями краев плит на значительные расстояния. Плиты, таким образом, не являются жесткими недеформируемыми образованиями. Поэтому источником их латеральных перемещений, скорее всего, служат не тектонические силы, приложенные к одному из краев плиты, а течение горных масс в субгоризонтальных или местами наклонных подвижных зонах, расположенных под плитой.

Во-вторых, перемещающиеся плиты не охватывают в одинаковой мере всю толщу литосферы, а разделяются подвижными зонами и слоями на отдельные литоласты, нарушаемые и деформируемые более или менее автономно.

Эти два положения имеют не только теоретическое, но и практическое значение, в частности для прогноза землетрясений.

Роль аэрокосмических средств в долгосрочном прогнозе сильных землетрясений по геологическим признакам

Геологические критерии прогноза сильных землетрясений основаны прежде всего на факте приуроченности всех сильных землетрясений к молодым подвижным поясам, а внутри них — к молодым подвижным зонам. Поэтому картирование и характеристика молодых тектонических нарушений и деформаций является первой и обязательной предпосылкой долгосрочного прогноза землетрясений и сейсмического районирования. Речь идет именно о молодых (позднеплейстоцен-голоценовых), а не только о современных нарушениях и деформациях, поскольку лишь в течение голоцена, а местами позднего плейстоцена и голоцена формы и степень современной активности подвижных зон проявляются в такой мере, что могут быть зафиксированы геолого-геоморфологическими методами. Причина этого — неравномерность проявлений тектонических движений во времени и в разных частях активной зоны, в частности весьма редкая (сотни лет и более) повторяемость катастрофических землетрясений в некоторых активных зонах, например в Северной Америке или Восточном Китае, и отсутствие активности между землетрясениями.



Рис. 45. Аэрофотоснимок голоценовой палеосейсмодислокации на северо-западном склоне долины р. Джонгоды севернее пос. Файзабад (Таджикистан)

Однако прямой связи интенсивности позднечетвертичных нарушений и деформаций на дневной поверхности с количеством или энергией землетрясений во многих активных зонах нет. По-видимому, это обусловлено двумя главными причинами. Во-первых, тектонические движения происходят как импульсно, в виде землетрясений, так и медленно, в форме крипа, причем сочетание этих форм движений различно в разных участках подвижных зон. Во-вторых, активность подвижных зон изменяется с глубиной, некоторые из них, будучи весьма сейсмоактивными на той или иной глубине, проявляются на поверхности слабо и лишь косвенными признаками. Возникает задача определения участков потенциальной сейсмической активности в пределах молодых подвижных зон.

Один из способов решения этой задачи основан на изучении позднечетвертичной сейсмичности, запечатленной в палеосейсмодислокациях дневной поверхности [Солоненко, 1970, 1973]. Сравнивая такие дислокации с возникающими при современных катастрофических и сильных землетрясениях, можно прогнозировать не только места, но и ожидаемый разрушительный эффект будущих землетрясений. Палеосейсмодислокации разделяются на две основные группы. Одна из них — проявления подвижек по сейсмогенерирующим разломам. Вторая — дислокации поверхности, не отражающие непосредственно таких подвижек, а вызванные нарушением гравитационного равновесия горных масс и действием ударной волны.

Палеосейсмодислокации первой группы обычно бывает весьма трудно отличить от результатов криповых движений по разломам, которые могут временно убыстряться и вызывать эффекты, сходные с мгновенными подвижками. Признаки их отличий сохраняются не повсеместно, а там, где они есть, выявляются тонкими и детальными наземными наблюдениями. Аэрокосмические снимки в этом помочь пока не могут.

Палеосейсмодислокации второй группы нередко хорошо видны на аэрофотоснимках (рис. 45) и даже на крупномасштабных космических снимках (см. рис. 40). Использование их перспективно и ограничено лишь тем, что палеосейсмодислокации этой группы возникали не при всех сильных землетрясениях, а лишь в условиях расчлененного рельефа. Их образование зависело и от обводненности, и от физических свойств пород.

Более общий подход к определению режима современного развития активной зоны и выявлению ее сейсмоопасных участков основан на исследовании структурных и литологических факторов, способствующих или препятствующих концентрации тектонических напряжений и их последующей быстрой разрядке [Трифонов, 1980]. Преобладание в активном участке некомпетентных пород (серпентинитов, глинистых сланцев, рыхлых осадков) препятствует концентрации напряжений, тогда как преобладание компетентных пород ей способствует. Аэрокосмические снимки помогают оценить этот фактор в той мере, в какой они могут быть использованы при картировании литолого-стратиграфических комплексов пород [Трифонов и др., 1973; Панин, Скобелев, 1976].

Больше информации дают аэрокосмические снимки для оценки структурных факторов

концентрации напряжений. Высокая степень раздробленности пород в зоне активных нарушений, их ветвление и возрастание общей ширины зоны, по-видимому, препятствуют концентрации напряжений. Определенное значение имеют местные особенности: изгибы активного разлома, затруняющие непрерывное движение по нему, т. е. способствующие концентрации напряжений, наличие вулканов и грязевых вулканов, которые могут быть своеобразными клапанами, снимающими избыток напряжений, и вместе с тем источниками местных толчков, вызванных движениями и выбросами магмы, газов, грязевых масс. Повышенный тепловой поток и выходы термальных вод делают породы более пластичными, т. е. снижают возможность концентрации напряжений. При оценке термальной склеиваемости дистанционными средствами следует иметь в виду возможность не только ландшафтной индикации на аэрокосмических снимках в видимом и ближнем ИК-диапазонах, но и использования результатов тепловой съемки.

Применение аэрокосмических снимков для морфологической диагностики молодых нарушений имеет еще один аспект, связанный с различиями сейсмичности молодых структур разных кинематических типов. В целом сильные землетрясения чаще всего приурочены к зонам активных надвигов, реже они происходят в зонах активных сдвигов и еще реже — в зонах раздвигов и сбросов. Такую же роль играет сжимающая или растягивающая компонента в зонах преобладающих сдвиговых перемещений. Это проявляется и в локальном масштабе — в разной интенсивности землетрясений, связанных с активными разломами разных типов, и в глобальном масштабе. По оценкам Б. Гутенберга и К. Ф. Рихтера [1948], 76,6% сейсмической энергии выделяется в Тихоокеанском и 22,1% — в Альпийско-Азиатском подвижных мегалоюзах сжатия и сдвига. Только здесь происходят землетрясения с $M_s > 7,6$, неизвестные в мегалоюзах растяжения, принадлежащих к глобальной рифтовой системе.

Сейсмические особенности активных структур сжатия проявляются и в специфике расположения гипоцентров сильных землетрясений. В активных зонах сбросо-раздвигового и сдвигового типов гипоцентры обычно расположены вдоль главных разломов или непосредственно вблизи них (сдвиги Сан-Андреас, Таласо-Ферганский, Чаманский, Северо-Анатолийский; сбросы и сбросо-сдвиги Байкальской рифтовой системы и долин Оуэнс, Дикси, Плизант в Большом Бассейне США). В активных зонах сжатия и сжатия — сдвига сильные землетрясения нередко приурочены не к главным разломам, а к второстепенным (Уайт-Иоуэлф в Сан-Фернандо в системе Поперечных хребтов запада США) или происходят перед фронтом крупного надвига (землетрясения южнее Главного пограничного разлома Гималаев: Ассам, 1897 г., Сримангал, 1918 г., Дхубри, 1930 г., Бикар, 1934 г.).

Выше обсуждался вопрос об использовании космических снимков при оценке глубины заложения и наиболее активного развития молодых подвижных зон. Важность таких снимков для сейсмического прогноза определяется тем, что возможность концентрации напряжений повышается в активных зонах, скрытых на глубине. В простейшем случае такие активные зоны могут быть погребены недислоцированными отложениями или тектоническими покровами [Агамверзов, 1976]. В более общем виде указанный фактор действует, если два слоя литосферы деформируются дисгармонично друг относительно друга, т. е. обладают разными планами активных нарушений. Наибольшая концентрация напряжений достигается на границах по-разному нарушенных литосферных слоев, особенно в тех местах, где сочленяются разнонаправленные молодые подвижные зоны разной глубины заложения [Макаров, Шувин, 1979]. Так, при дешифрировании космических снимков Газлийского сейсмоактивного района в Центральном Кызылкуме в полном соответствии с данными структурно-тектонического анализа установлены активные тектонические зоны нескольких направлений (рис. 46), которые, как показал анализ геолого-геофизических материалов, в разных слоях земной коры имеют разное структурно-динамическое и кинематическое значение.

На самых мелкомасштабных изображениях этой области, полученных со спутников «Метеор», отчетливо проявлены тектонические зоны субмеридиональных и субширотных направлений. На значительно более крупномасштабных изображениях, полученных с орбитальных станций «Салют» и со спутника «Ландсэт-1», меридионально ориентированные структурные линии и полосы в районе Газли выражены слабо и расплывчаты, хотя севернее Каракумского свода они и на этих снимках хорошо проявлены в виде густой сети меридиональных трещин. В районе Газли на изображениях этого уровня генерализации более отчетливы элементы северо-восточного и северо-западного направлений. Густая и равномерная сеть «макротрещиноватости» северо-восточного простирания охватывает всю эпикентральную зону и смежные территории. Менее отчетливо,

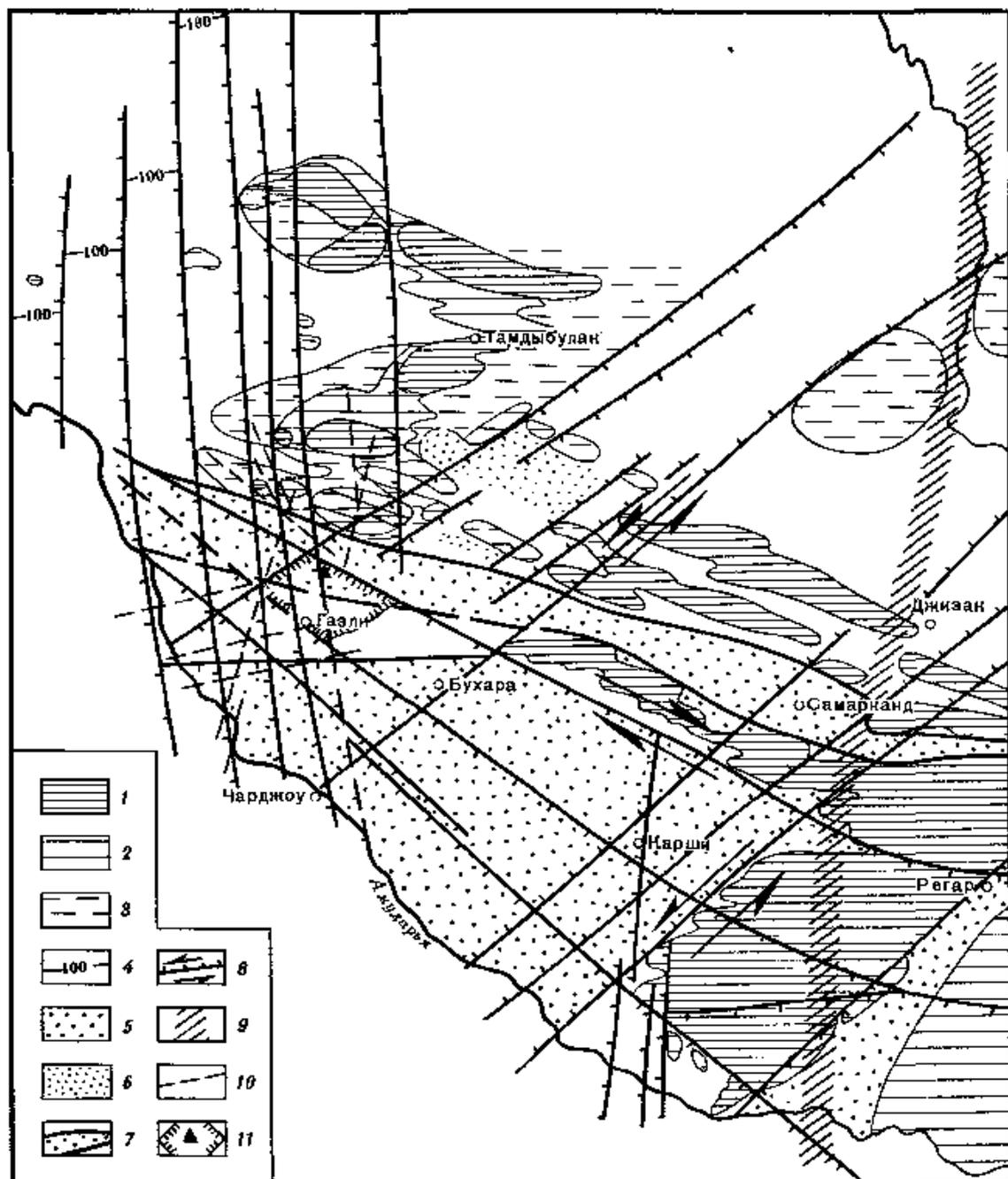


Рис. 46. Схема неотектоники Центральных Кызылкумов

1—3 — антиклинальные поднятия (складки основания), их зоны и системы (Центрально-Кызылкумские поднятия дифференцированы по степени относительного воздымания складчатого основания); 4 — положение изогипсы 100 м в междуречье Амударьи и Сырдарьи; 5 — зоны наиболее активных прогибаний и накопления неоген-четвертичных отложений; 6 — наиболее глубокие частные впадины в пределах Кульджуктау-Нуратинской системы поднятий; 7 — обобщенные контуры Зеравшанской синклинальной зоны; 8 — зоны флексурно-разрывных нарушений (штрихи обращены в сторону опущенных крыльев, стрелками обозначены направления возможных сдвиговых смещений); 9 — Туркестан-Алайский линеймент (разрывно-флексурная зона); 10 — разрывные нарушения, выявленные на космических снимках; 11 — сейсмостанция Каракыр и плейстоценовая область землетрясений 1976 г.

с расплывчатыми границами, на этих снимках просматриваются также широкие (до 50 км) ступени земной коры, уходящие далеко на северо-восток, в район городов Туркестан и Арысь. Северо-западные направления на космических снимках эпицентральной зоны проявлены в виде подчиненных элементов структуры, но они преобладают в структуре и рельефе поверхности, т. е. при рассмотрении крупным планом.

Имеющиеся геологические и геофизические данные свидетельствуют о том, что субмеридиональные направления рассматриваемой области отражают деформации, активно проявленные в самых глубоких слоях коры и верхней мантии. Северо-восточные направления достаточно активно — во всяком случае значительно активнее, чем на поверхности — проявлены в кристаллическом основании Центральных Кызылкумов. Северо-западные же направления наиболее характерны для самых верхних слоев земной коры.

Из всего этого следует, что концентрация и разрядка напряжений в разных слоях литосферы происходят по-разному, дисгармонично, в связи с чем особое значение приобретают субгоризонтальные зоны раздела дисгармонично развивающихся слоев земной коры [Макаров, Щукин, 1979].

Перспективы применения аэрокосмических средств в текущем прогнозе сильных землетрясений

Для решения задачи текущего прогноза, т. е. прогноза места и времени крупного землетрясения, изучаются разнообразные предшествующие явления (предвестники) [Мячкин, Зубков, 1973; Sadovsky, Nersesov, 1974; Рикитаке, 1979]. К числу важнейших предвестников относятся некоторые изменения сейсмических параметров активного региона. Отмечаются также изменения геодезических, гравиметрических и магнитометрических характеристик, а также гидрогеологии, гидрохимии и газового состава источников. Если измерения параметров сейсмичности и регистрируемые геодезически слабые деформации земной поверхности пока не могут улавливаться дистанционными средствами, то остальные упомянутые предвестники в принципе могут быть обнаружены если не с космических аппаратов, то с самолетов. Особого внимания заслуживает дистанционное изучение гидрогеологических и гидрохимических характеристик активных структур.

Для определения возможности текущего прогноза землетрясений необходимо зондирование типовых участков сейсмоактивных областей комплексом аэросъемок и измерений. В такой комплекс целесообразно включить многозональную фотосъемку камерой типа МКФ-6, радиолокационную съемку, съемки в ИК- и СВЧ-диапазонах, многозональное спектрометрирование и в будущем лидарную спектрометрию. Если многозональная фотосъемка и радиолокация предназначены в основном для изучения морфологии молодых структур, то с помощью других видов съемок и измерений представляется возможным улавливать в молодых структурах гидрогеологически обусловленные изменения влажности, вариации теплового потока, химии источников подземных вод и связанных с ними газовых эманаций. В сочетании с гравиметрическими и магнитометрическими наблюдениями с воздуха эти исследования могут выявить набор дистанционных предвестников сильных землетрясений, что поставит вопрос о создании системы режимных наблюдений (аэрокосмического патрулирования) сейсмоопасных областей.

Оценивая роль аэрокосмических средств в системе текущего прогноза землетрясений, следует иметь в виду и возможность использования спутников как средства оперативного сбора и передачи данных наземных сейсмических и геофизических станций, в том числе автоматических, в центры обработки и предупреждения. В таких центрах целесообразно сосредоточить оперативную обработку данных, получаемых не только наземными станциями, но и аппаратурой, установленной на самолетах и спутниках.

СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ МЕХАНИЗМАМИ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ПРОЯВЛЕНИЯМИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ЗОН НА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ

Космические снимки несут информацию не только о геологических объектах, но и о физических свойствах земной коры и верхней мантии. Остановимся на одной из физических характеристик — на изучении по космическим снимкам различных типов механизмов очагов сильных землетрясений. Любая совокупность космических снимков одной степени генерализации не может однозначно ответить на некоторые вопросы о физических свойствах объектов земной коры. Для распознавания этих свойств необходим набор эталонных критериев на космических снимках разной степени генерализации [Ананьин, Трифонов, 1976]. Только при таком условии повышается вероятность и однозначность определения физических свойств. В некоторых случаях без выполнения этого условия вообще невозможно решение поставленной задачи.

Рассмотрим, как отображается на космических снимках с разной генерализацией сейсмическая зона, расположенная вдоль южного борта Восточного Кавказа (между горой Казбек и г. Шемаха). Мы использовали снимки, полученные с космических кораблей типа «Салют» и «Союз», а также сканерные изображения со спутников «Метеор». По имеющейся классификации генерализация этих снимков отличается на один порядок [Ананьин, Трифонов, 1976].

На снимках первого типа (снимки с кораблей «Салют» и «Союз») различаются две категории линейных элементов: тонкая полосчатость, выраженная короткими, слабо различимыми линиями, и более резко проявленные линеаменты, каждый из которых протяженнее единичного элемента полосчатости. Полосчатость простирается в общекавказском направлении вдоль сейсмической зоны. Линеаменты ориентированы по отношению к ней под различными углами (рис. 47, б). На сканерных изображениях (второй тип) эта же зона представлена в виде трех протяженных линеаментов (рис. 47, а).

Описываемая сейсмическая зона является весьма активной [Ананьин, 1977]. Поэтому естественно возникает вопрос: как и в каких элементах проявляются на космических

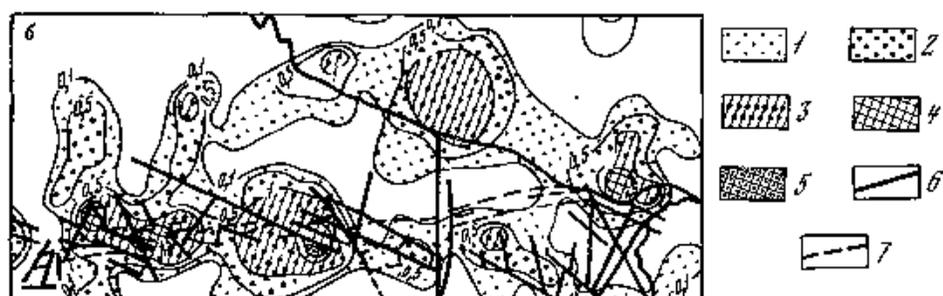
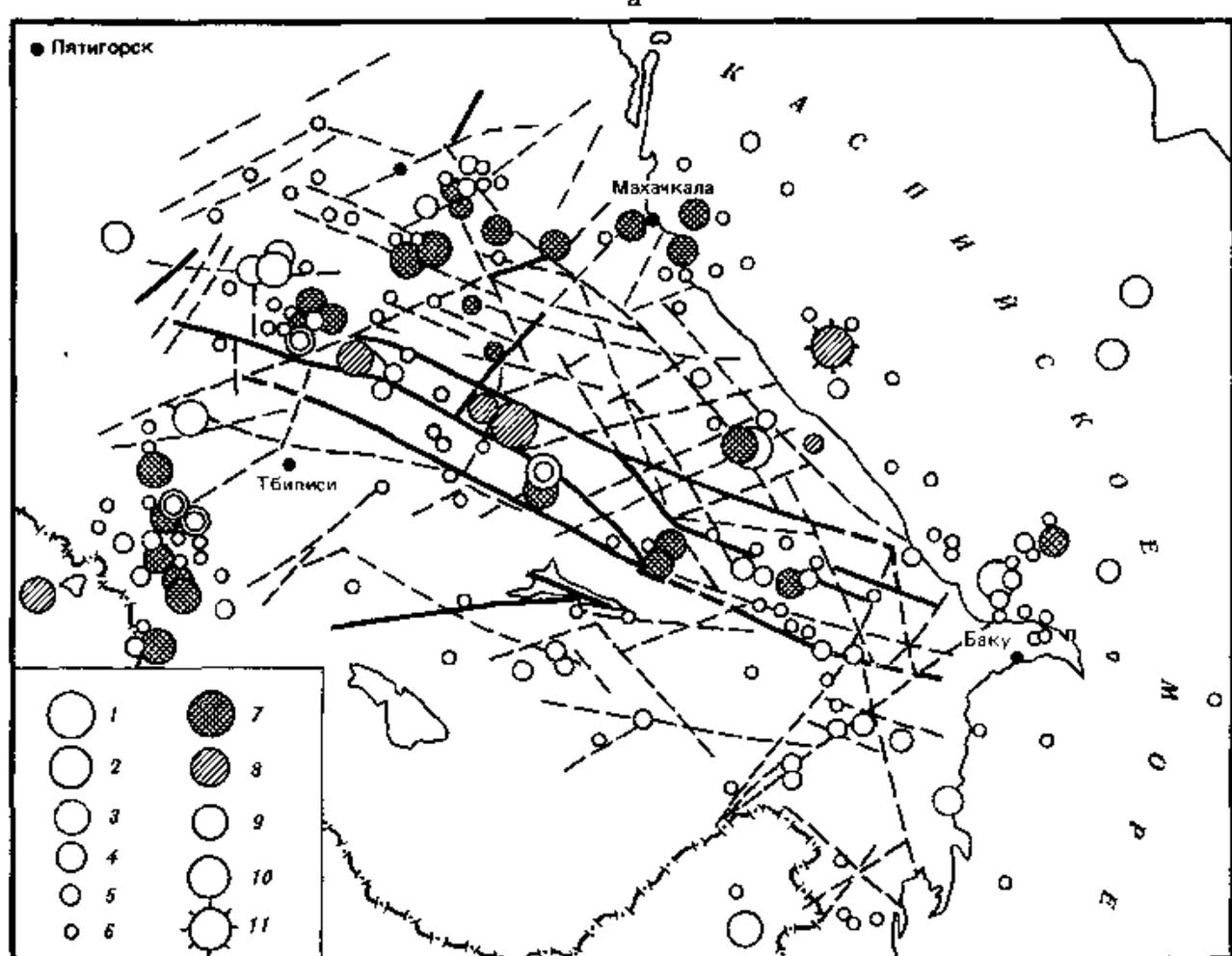


Рис. 47. Сопоставление линеаментов, отдешифрированных на сканерных изображениях со спутников серии «Метеор» (а) и на снимках с космических аппаратов «Салют» и «Союз» (б) с расположением эпицентров землетрясений и с картой повторяемости сотрясений 7 баллов за период с 1911 по 1962 г. в районе южного склона Восточного Кавказа

а. Магнитуда: 1 — 6,5—6,75, 2 — 6—6,25, 3 — 5,5—5,75, 4 — 5—5,25, 5 — 4,5—4,75, 6 — 4—4,25. Класс точности (в км): 7 — ≤ 25 , 8 — ≤ 50 , 9 — > 50 . Гипоцентры: 10 — в земной коре, 11 — под корой. Остальные условные обозначения см. на рис. 47б.

б. 1—5 — повторяемость сотрясений 7 баллов за 50 лет: 1 — 0,1, 2 — 0,5, 3 — 1, 4 — 1,5, 5 — 2 и более, 6, 7 — линеаменты, отдешифрированные на снимках: 6 — уверенно, 7 — менее уверенно

изображениях сейсмичность и динамические параметры очага? Эта зона выделена как область наибольшей плотности эпицентров землетрясений с энергией $E \geq 10^{12}$ Дж, как «живущая» зона разломов с глубиной до 60 км [Ананьин, 1977]. Ее можно также считать более или менее однородной и по общим закономерностям механизмов очагов землетрясений, а именно по ориентации в пространстве осей сжатия и растяжения сильных землетрясений [Широкова, 1962; Ананьин, 1977].

Эпицентры слабых землетрясений с $E < 10^{12}$ Дж распространены практически по всей территории Восточного Кавказа (см. рис. 47, а). При сопоставлении их расположения с элементами дешифрирования сканерных изображений никакой закономерности установить не удастся. При сопоставлении с элементами дешифрирования фотоснимков первого типа выясняется, что эпицентры слабых землетрясений тяготеют к районам выделяемых на этих фотоснимках линеаментов, образующих структуру «метелок» и пересекающих полосчатую структуру зоны южного склона Кавказа в разных направлениях. Там, где «метелки» выходят за пределы полосчатой структуры (см. рис. 47, а), плотность эпицентров слабых землетрясений между ними уменьшается. Можно предположить, что очаги слабых землетрясений связаны с линеаменами, дешифрируемыми на снимках

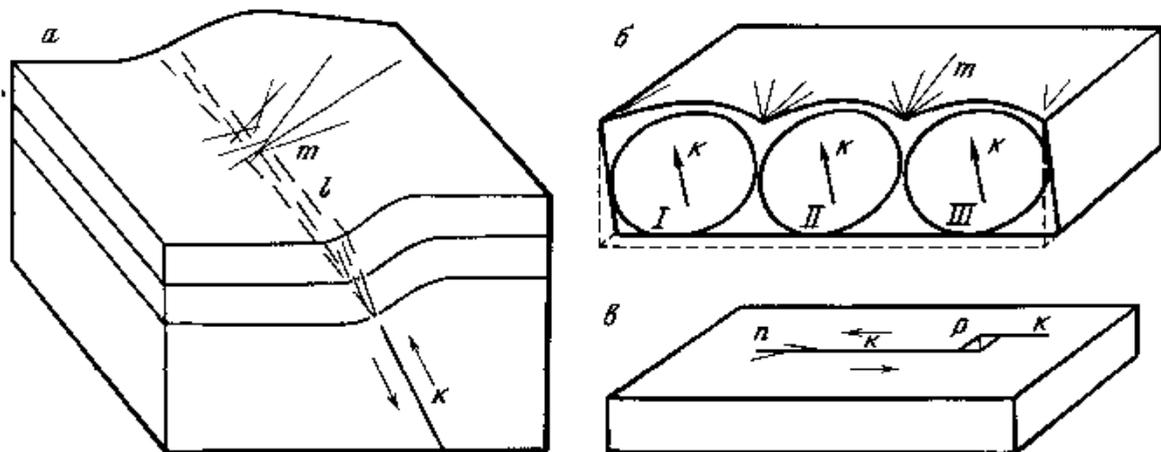


Рис. 48. Схематическое изображение систем разрывов, образующихся при тектонических процессах с разными механизмами очагов землетрясений

а, б — при вертикальной подвижке по слегка наклоненной плоскости разрыва; *в* — при горизонтальной подвижке по вертикальному разрыву; *к* — генеральный разрыв при сильном землетрясении, не выходящий на поверхность земли; *l* — полосчатая структура, образовавшаяся при ветвлении продолжения генерального разрыва в осадочной толще, *т* — разрывные нарушения типа «метелок» в осадочном чехле, образующиеся на границе между очагами сильнейших землетрясений (I, II, III); *л* — отдельные ответвления от генерального разрыва, *р* — один из видов небольших нарушений генерального разрыва

первого типа (с относительно высоким разрешением). Анализ глубин очагов землетрясений Восточного Кавказа показал, что очаги слабых землетрясений вне зоны глубинных разломов южного склона расположены на глубинах 5—10 км. По-видимому, и линейменты («метелки»), дешифрируемые на фотоснимках первого типа, отражают разрывные нарушения, развитые на этих глубинах.

По сейсмологическим данным, в зоне южного склона Восточного Кавказа плоскости разрывов в очагах сильных землетрясений наклонены под углом 60—70°, а подвижки почти вертикальны — угол около 80° [Широкова, 1962]. Поскольку в зоне разломов сброс напряжений в очагах сильных землетрясений происходит в разных участках в разное время, в некоторых местах верхней, наиболее хрупкой части земной коры около свободной поверхности возникает концентрация упругих напряжений. Из-за специфических физических свойств верхней части земной коры это как раз и приводит к разрывным нарушениям типа «метелок» [Михайлова, 1979], которые не распространяются глубже 10—15 км. Нарушения оказываются тесно связанными с перемещениями в глубинной зоне разломов, но связанными опосредственно (рис. 48, *а, б*).

Таким образом, при генерализации изображения мелкие нарушения не проявляются или проявляются слабо. В отличие от них зона глубинных разломов на границе блоков четко видна на космических снимках с низким разрешением (второй тип), на снимках с более высоким разрешением ее проявление не столь отчетливо.

Указанные особенности характеризуют зону, в которой сейсмические подвижки преимущественно близвертикальны. Если мы рассмотрим отображение на таких же космических снимках зон, где происходят в основном землетрясения с горизонтальной подвижкой, то обнаружим, что на снимках первого и второго типов очаги катастрофических землетрясений 1939—1976 гг. в Северной Анатолии, Гоби-Алтайского 1957 г. в Монголии проявляются почти одинаково. На снимках первого типа иногда видны ответвления от основного генерального нарушения — разлома, небольшие нарушения в самом генеральном разломе или на его концах. Схематично это представлено на рис. 48, *в*.

Сопоставление отображения на космических снимках зон сильных землетрясений с различными механизмами, т. е. зон преобладания либо вертикальных, либо горизонтальных подвижек в очагах, приводит к следующим выводам.

1. Если в сейсмической зоне подвижки в очагах сильных землетрясений имеют в основном вертикальные направления, то на космических снимках первого типа эта зона будет проявляться тонкой полосчатостью вдоль зоны, пересеченной в некоторых местах линейментами-«метелками». На космических снимках второго типа (мелкомасштабных сканерных изображениях) эта сейсмогенная зона представляется как протяженный линеймент.

2. Если в сейсмической зоне подвижки в очагах сильных землетрясений имеют в основном горизонтальные направления, то на космических снимках и первого и второго типов они практически имеют одно и то же изображение.

Имея неполный набор данных об энергетической характеристике отдельных сейсмических зон, о механизмах очагов землетрясений, горизонтальных размерах этих зон и т. д.,

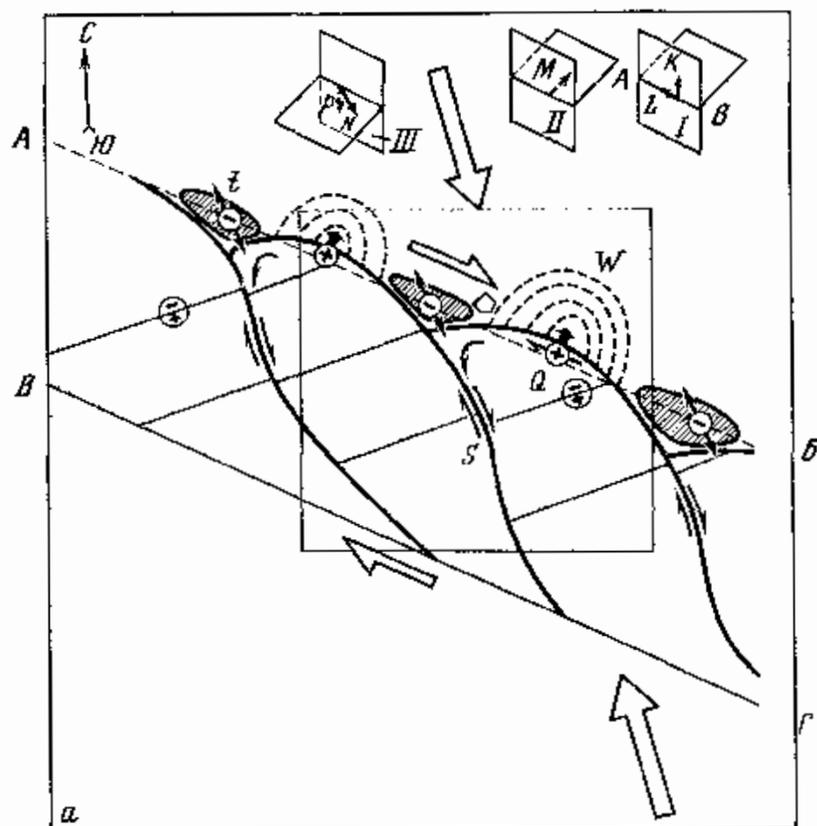
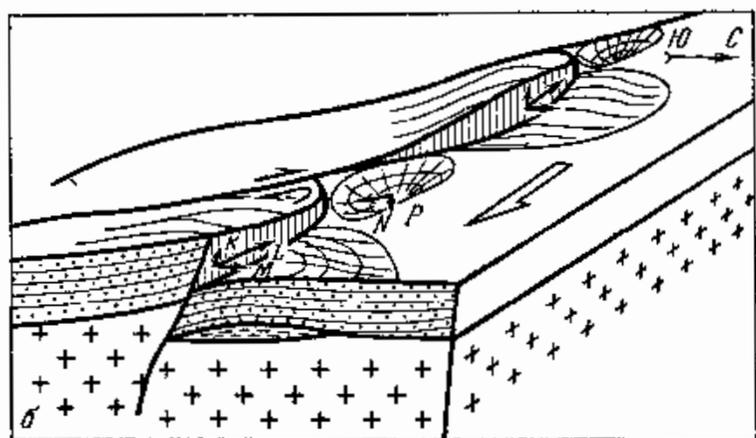


Рис. 49. Схема тектонических нарушений Копетдага и движений по ним, построенная путем дешифрирования космических снимков с использованием сейсмических и геофизических данных

a — план, *б* — объемное изображение.

Поле отдешифрированного фотоснимка выделено квадратом *АВ* — Предкопетдагская зона глубинных разломов, *ВГ* южная зона разломов, ограничивающая Копетдагскую тектоническую зону с юга, *С* — дугообразные разломы, *Q* — прямолинейные разломы северо-восточного направления. Знаком «плюс» показана поднимающаяся часть поверхности, знаком «минус» — опускающаяся.

I — горизонтальная (*L*) и вертикальная (*K*) компоненты смещения в вертикальной плоскости, проходящей через линию *АВ*, *II* — горизонтальное смещение (*M*) в горизонтальной плоскости в области *W*; *III* — горизонтальная (*N*) и вертикальная (*P*) компоненты смещения в области *t*.



можно при наличии фотоснимков различной генерализации уточнить размеры зон, выявить преимущественные движения (горизонтальные или вертикальные) в этих зонах, а в некоторых случаях оценить магнитуду максимального возможного землетрясения.

Рассмотренные примеры представляют два наиболее простых случая, встречающихся в природе.

На самом же деле механизмы очагов землетрясений и соответствующие тектонические движения более разнообразны. Таким более сложным примером может служить район Копетдага.

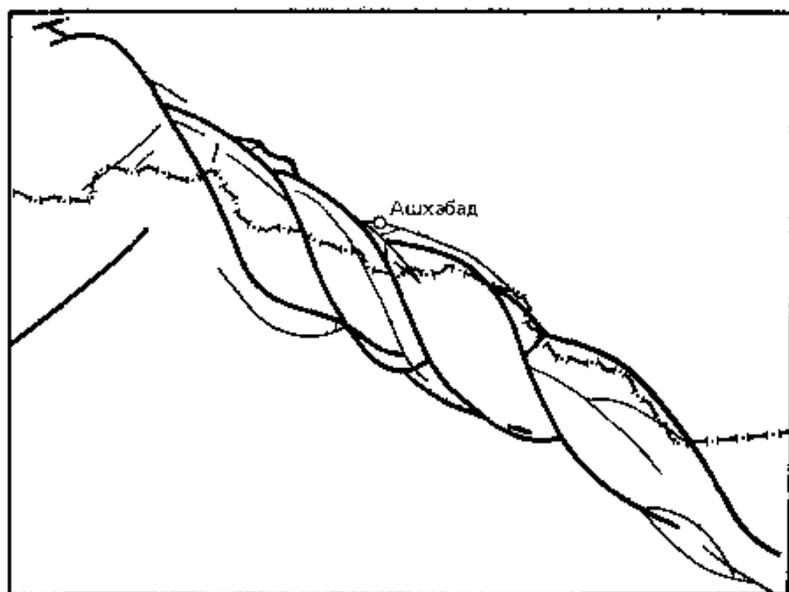
На космическом снимке первого типа в районе Ашхабада [Трифонов, 1976а] хорошо видны S-образные линейaments, которым соответствуют S-образные разломы, в том числе глубинные. Вся система S-образных разломов пересечена отдельными прямолинейными разломами северо-восточного направления. На рис. 49, *a* схематически представлен участок, отдешифрированный на космическом снимке. Поле снимка выделено квадратом. По взаимному расположению прямолинейных и дугообразных разломов, выявленных на снимке, по совместному анализу этих разломов с эпицентрами землетрясений, механизмами очагов и геофизическими полями (с гравитационным полем, с современными движениями — повторными нивелировками и триангуляцией) сделано заключение об определенных возможных типах механизмов очагов землетрясений в «живущих» разломах, взаимно связанных между собой. S-образный разлом в центре рассматриваемого квадрата является правосторонним сдвигом, так как разрыв северо-восточного направления горизонтально смещен по нему. По прямолинейным разрывам северо-восточного направления при стыке с другими разрывами горизонтальных движений не наблюдается, поэтому можно предположить, что очаги, связанные с этими прямолинейными разрывами, имеют в основном вертикальную составляющую смещения в плоскости разрыва.

Рассмотрим более подробно направления движений по отдельным S-образным разрывам и связанные с ними типы механизмов очагов землетрясений.

Принято считать, что Туранская плита с севера давит на Копетдаг и соответственно смещается на юго-восток, а Копетдаг вместе с более южными районами смещается относительно Туранской плиты на северо-запад по Предкопетдагскому глубинному разлому,

Рис. 50. Схема основных сейсмотектонических зон разломов Копетдага

который схематично изображен на рис. 49, а линией А—Б [Курбанов и др., 1973]. В связи с дешифрированием космических снимков район Копетдага целесообразнее представить как зону S-образных разломов, расположенную между линиями А—Б и В—Г. Вся зона Копетдага на основании дешифрирования космических снимков и геологотектонических карт схематично представлена на рис. 50. Видно, что зона Копетдага распадается на несколько веретенообразных блоков, каждый из которых испытывает



в основном горизонтальные вращательные движения против часовой стрелки. Таким образом, Предкопетдагский разлом неоднороден и состоит из чередующихся зон сложных движений с горизонтальными и вертикальными составляющими, которым должны соответствовать разные механизмы очагов землетрясений.

В 1948 г. в районе Ашхабада произошло катастрофическое землетрясение со значительной [Резанов, 1958] горизонтальной составляющей перемещения. Но, чтобы весь веретенообразный блок северной части сейсмической зоны при землетрясении 1948 г. мог сдвинуться в направлении А—Б, ему необходимо было немного сместиться и в горизонтальном направлении на северо-северо-восток. Вследствие этого осадочные породы Предкопетдагской зоны должны сместиться по кристаллическому фундаменту или по соответствующей слоистой среде. При этом по законам механики они должны немножко вздуться, как показано на рис. 49, а, б, за счет вектора смещения M . Смещение осадочного чехла в Предкопетдагской зоне за счет векторов L и M было обнаружено повторными нивелировками и повторной триангуляцией в очаговой зоне землетрясения 1948 г. Очаги афтершоков располагались в горизонтальной плоскости вдоль границы между осадочным чехлом и кристаллическим фундаментом. Следовательно, в районе очага землетрясения 1948 г. можно было ожидать афтершоки с механизмами очагов, подобными основному землетрясению, т. е. движения по линии А—Б с небольшой вертикальной составляющей K (см. рис. 49 а, I), и одновременно афтершоки меньших энергий с горизонтальными подвижками в северо-северо-восточном направлении (см. рис. 49, а, II).

Рассматривая пространство на линии А—Б между областями поднятий и горизонтальных смещений в Предкопетдагской зоне, мы приходим к следующему заключению. В точке, где стыкуются два веретенообразных блока и Туранская плита, можно предполагать растяжение и относительное смещение небольшой части края Туранской плиты в юго-юго-восточном направлении. Иначе говоря, в этой точке тройного сочленения и окружающем небольшом объеме теоретически возможны землетрясения с механизмами очагов байкальского типа, при которых происходит отрыв и раздвигание бортов разрыва (см. рис. 49, а, III). При этом участок должен не только растягиваться, но и опускаться, проседать. Гравитационные аномалии на поверхности Земли в этом районе должны увеличиваться, а в соседних районах поднятий с горизонтальным смещением — уменьшаться. Приведенный выше анализ позволяет сделать вывод, что в некоторых районах Копетдага можно обнаружить землетрясения с четырьмя различными механизмами очагов.

Таким образом, с использованием космических снимков, сейсмологического и геофизического материала можно разобраться в тех физических процессах, которые происходят в земной коре такого сложного района, как Копетдаг. Это, на наш взгляд, прямо применимо для практики как сейсмораионирования, так и прогноза землетрясений.

Можно попытаться оценить и магнитуду максимального землетрясения, возможного юго-восточнее г. Ашхабада. Совместный анализ результатов дешифрирования космических снимков и геофизических данных позволяет выделить здесь однородную сейсмическую зону, находящуюся между пересечениями ее с поперечными сейсмогенными зонами разломов (между узлами). Анализ выделенной сейсмической энергии в однородных зонах на Кавказе, Копетдаге, в Монголии показал, что максимум энергии приходится на середину таких зон, а по мере приближения к узлам энергия падает до чрезвычайно малых

величин. К узлам, как правило, приурочено большое количество слабых землетрясений, которые по сумме излученной энергии за большой промежуток времени вносят совершенно незначительный вклад по сравнению с энергией, выделенной в области между узлами.

Для всего Кавказа, и в частности для района между городами Ашхабад и Каспика, с использованием формулы 3ч [Анаев, 1973] можно оценить максимальную магнитуду, возможную в этой части сейсмической зоны. Грубая оценка, сделанная для района Ашхабад — Каспика, показывает, что $M_{max} \approx 6-7$, $\varphi = 37,6^\circ$, $\lambda = 59,3^\circ$ (φ — измуг и λ — угол падения вектора подтяжки, ожидаемой при максимальной землетрясении), что дает хорошее совпадение с оценками И. В. Анаева и др. [1981] ($M_{max} = 6,5$, $\varphi = 37,5^\circ$, $\lambda = 59,3^\circ$), полученными другим способом.

Таким образом, анализируя пространственные и энергетические характеристики очагов землетрясений, их механизмы и другие динамические параметры совместно с космическими изображениями различных ступеней генерализации, можно определять не только динамику отдельных сейсмических зон, но и особенности современного развития целых тектонически активных районов земного шара.

СОВРЕМЕННЫЕ ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ И СТРУКТУРЫ

Современные проявления вулканической деятельности сосредоточены в определенных регионах Земли и приурочены к крупнейшим вулканическим провинциям, которые имеют характерные геологические особенности и по-разному связаны с окружающими их платформенными и складчатыми подразделениями мезозойского периода. Как в настоящее время, так и на протяжении всей геологической истории, вулканизму доселе предшествует или сопутствует тектоническая активизация (глобальная, региональная или локальная), и вулканические очаги, таким образом, являются своеобразными индикаторами глубинных явлений в складчатых и подвижных областях Земли.

Наиболее тесно вопросы региональной и структурной вулканогеологии соотносятся с фундаментальными задачами структурной геологии и тектоники. В вулканических регионах многие давно затупеванные или исчерпанные детали глубинных структур вновь находят выражение в различных элементах поверхности. Обзорные космические снимки позволяют в таких регионах не только изучать само явление вулканизма или картировать площади распространения его продуктов, но и наблюдать в поверхностных проявлениях отражение глубинных движений на обширных территориях, получать информацию о характере связей вулканических проявлений с геологическими структурами всего региона, прослеживать развитие данного очага во времени или предсказывать его дальнейшую эволюцию. В периоды наиболее высокой активности и длительных извержений некоторые явления структурообразования и тектоники можно наблюдать непосредственно, а при соответствующих методах регистрации получить не только качественные, но и некоторые количественные его характеристики.

Одной из важнейших особенностей вулканизма как объекта исследования методами космической техники является его динамичность, изменение различных параметров (геометрия, температура, газовый спектр, физическое поле и др.) во времени. Выбор временного интервала для систематической регистрации отдельных вулканов может определяться циклическостью их активизации или характером извержения и может быть установлен от нескольких лет или десятков лет до часов или даже минут при наблюдении извержений и других сопутствующих им быстро протекающих природных процессов. Некоторые вулканические извержения, например мощные пароконьмальные взрывы, длятся менее часа, а отдельные выбросы газов и пепла действующих вулканов, находясь в стадии активности длительное время, происходят почти мгновенно, в доли минуты, с интервалами от нескольких минут до часов и нескольких суток.

Данные по динамике вулканического процесса представляют большой научный и практический интерес. В масштабе локальных вулканических аппаратов или их групп, а также отдельных вулканических районов эти материалы необходимы при изучении детальной формирования вулканических структур и прогнозирования периодов активизации отдельных вулканических центров или целых регионов. В глобальном масштабе они представляют уникальный материал для изучения роли вулканизма в формировании физико-географических особенностей поверхности земного шара на протяжении всей его геологической истории.

Исследования, связанные с процессами активного вулканизма на Земле, приобрели в последние годы еще большую актуальность благодаря развитию новой отрасли естест-



Рис. 51. Извержение вулкана Тятя на о-ве Кунашир. Изображение получено со спутника «Ландсэт-1» 16 июля 1973 г.

венных наук — сравнительной планетологии. Детальные материалы, полученные средствами новой космической техники, показали наличие на многих планетах Солнечной системы активных вулканических процессов или неоспоримых их последствий, сходных с земными.

Как видно из краткого перечисления проблем современной вулканологии, технические требования к регистрирующим системам новой космической техники, материалы которых представляют интерес при изучении вулканизма, оказываются достаточно многообразными и сложными: 1) глобальность информации и необходимость проведения систематических наблюдений практически в любой точке поверхности земного шара; 2) необходимость регистрации достаточно большого количества параметров, характеризующих вулканический процесс и его динамику, из которых наиболее важные — геометрия объекта, температура, спектр газов, некоторые физические поля; 3) высокая разрешающая способность регистрирующих систем по основным параметрам объекта.

В настоящее время для изучения современных вулканических явлений и структур используются изображения, получаемые с различных метеорологических спутниковых систем, данные специальных спутников для исследования природных ресурсов — «Ландсэт» (рис. 51) и «Метеор», снимки, получаемые с помощью различной аппаратуры на пилотируемых космических кораблях и орбитальных станциях.

Исходя из возможностей использования перечисленных материалов, исследования проводились по двум основным направлениям: обнаружение и изучение вулканических извержений и изучение геологических особенностей современных вулканических структур.

Изучение вулканических извержений

Наибольшее практическое значение при дистанционном наблюдении вулканических явлений в глобальном масштабе имеет возможность предсказания и оповещения о вулканическом извержении за некоторое время до его возникновения. Известными и наиболее надежными предвестниками вулканических извержений являются напряжения и деформации поверхностных участков земной коры вблизи активизирующегося вулкана, появление или усиление геотермальных аномалий, сейсмические явления, изменение газового спектра или концентраций определенных газовых составляющих в атмосфере и подземных водах. Некоторые другие явления недостаточно хорошо изучены и не дают пока однозначного прогноза. В настоящее время усиленно ведется поиск косвенных признаков прогнозирования, выясняется корреляционная их связь с известными или изученными признаками. Разрабатываются системы регистрации этих признаков. Необходимо также иметь в виду, что вслед за системой регистрации должна работать система трансформирования и передачи данных на станцию обработки и оперативная система оповещения.

В 1972 г. Национальный центр исследования землетрясений совместно с Геологической службой США создал опытную систему наблюдений за вулканами через спутник

ERTS. Система включала комплекс наземной аппаратуры, состоящей из сейсмических датчиков и наклономеров, которые были установлены на 15 вулканах в Америке, Исландии и на Гавайских островах. Регистрируемые импульсы через спутник передавались на одну наземную станцию обработки для анализа. Эксперимент, успешно выполнявшийся в течение нескольких лет, продемонстрировал достаточно высокую надежность работы системы и показал возможность создания подобной службы в более широком масштабе.

При существующем уровне технических и методических разработок регистрацию и анализ самого извержения или значительного усиления активности вулкана можно разделить на два в некоторой степени независимых этапа, которые могут выполняться различными службами или программами: 1) поиск и обнаружение извержения или изменения активности и оперативное оповещение; 2) систематическое наблюдение и анализ режима извержения. Факт опознания извержения, его оперативная регистрация и оповещение являются ценным научным и практическим достижением, так как далеко не каждое извержение, особенно кратковременное, происходящее в удаленном и малонаселенном районе Земли, становится доступным для научного анализа или даже может быть учтено статистикой. Кроме того, своевременное сообщение позволяет заинтересованным службам прибыть к месту события для более детальных исследований. Сложность поиска и опознания извержения связана не только с несовершенством регистрирующих систем, но заключается также в необходимости частого и систематического анализа огромного количества информации о состоянии поверхности значительной части земного шара, что даже при хорошо налаженном постоянном зондировании является очень трудоемким делом.

Практически единственными техническими средствами, которые наиболее полно отвечают задаче постоянного патрулирования земной поверхности, в настоящее время являются автоматические спутники метеорологического назначения. Главная особенность и достоинство этих систем — возможность получения очень обзорных, охватывающих огромные площади изображений в любое время и практически на любую область поверхности Земли; недостатки — малая разрешающая способность по необходимым регистрируемым параметрам, а также отсутствие системы целевого анализа и оповещения. На метеорологических снимках можно опознать только очень сильное извержение при достаточно благоприятной метеорологической обстановке.

В течение нескольких лет нами систематически анализировались визуальные изображения с метеоспутниковых систем НОАА и «Метеор» Курило-Камчатского региона в целом и некоторых вулканов, находящихся в состоянии повышенной активности и прогнозируемых на это состояние. Единственным признаком извержения являлось наличие эруптивного шлейфа или отдельных выбросов; критерием же оценки изменений активности служил размер (площадь) выброса или шлейфа, измеренный на снимке.

25 марта 1977 г. по изображению, полученному с помощью спутников «Метеор», был зафиксирован шлейф мощного взрыва очередного извержения вулкана Безымянного в Ключевской группе вулканов. Полоса пеплово-газового выброса прослеживалась на снимке на восток от вулкана более чем на 300 км. Это очень кратковременное явление было замечено только на одном снимке, принятом в 07 ч 42 мин. На других снимках этого района, полученных в течение суток, следов извержения обнаружено не было. На следующий день было зафиксировано увеличение активности Ключевского вулкана (также по хорошо заметному на снимке светлому эруптивному шлейфу длиной около 80—100 км). По-видимому, достаточно насыщенный пеплом и газами светлый шлейф извержения наблюдался выше прозрачного облачного покрова, сквозь который просвечивали детали темной подстилающей поверхности, что обеспечило четкую дешифрируемость шлейфа на снимке.

На протяжении нескольких лет постоянно находится в состоянии извержения вулкан Карымский на востоке Камчатки, один из активнейших действующих вулканов всего Курило-Камчатского региона. Его деятельность выражается в периодических излияниях небольших лавовых потоков, а также в постоянных пеплово-газовых эксплозиях. Выбросы происходят с интервалами от нескольких минут до нескольких часов или суток в периоды некоторого спада активности. При частых выбросах общий непрерывный шлейф иногда прослеживался визуальными наблюдениями с самолета на несколько десятков километров. На метеорологических снимках признаки извержения Карымского вулкана дешифрировались редко.

С начала 1979 г. в состоянии активности находится вулкан Чирикотан, расположенный на одноименном острове в центральной части Курильской островной дуги. Впервые

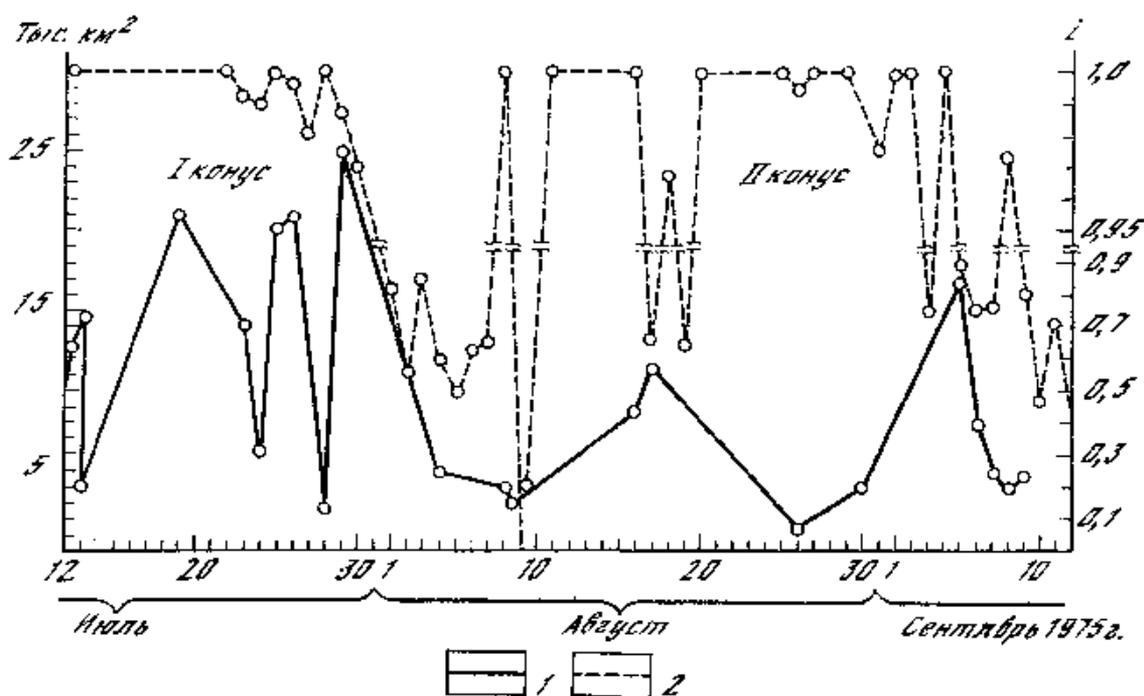


Рис. 52. Графики относительной интенсивности Толбачинского извержения на Камчатке за период с 12 июля по 10 сентября 1975 г.

1 — по данным интерпретации спутниковых снимков, 2 — по данным наземных наблюдений

сомнительные признаки эруптивной активности Чиринкотана были отмечены среди сложных рисунков облачных покровов на изображениях, полученных с метеоспутника «Метеор» в феврале 1979 г. В апреле об извержении вулкана были получены сообщения с проходящих судов. В апреле и мае 1979 г. эруптивная деятельность Чиринкотана была отчетливо видна на многих изображениях с метеоспутника НОАА. В течение 1979 и 1980 гг. систематически анализировались снимки этого района с различных метеосистем, и извержение Чиринкотана фиксировалось неоднократно. На отдельных снимках, включая и изображения среднего разрешения, эпизодически получаемые спутниками серии «Метеор», признаки извержения явно отсутствуют даже при благоприятных условиях наблюдений. Это позволяет сделать вывод о периодической активации этого вулкана. Полного же прекращения деятельности, по-видимому, не происходило, однако уверенно этого сказать нельзя из-за сильной генерализации информации.

Примером использования космической информации при изучении продолжительных вулканических извержений могут служить материалы, полученные при систематическом анализе снимков со спутника системы НОАА Толбачинского извержения на Камчатке в 1975—1976 гг. Первый период этого извержения, с начала июня по начало сентября 1975 г., характеризовался мощной эруптивной деятельностью с выносом в атмосферу огромного количества газов и пирокластического материала (шлаки, пепел, аэрозоли). Сносимый востром шлейф продуктов извержения в отдельные дни достигал нескольких сот километров в длину и уверенно дешифрировался на снимках. В качестве критерия оценки изменения относительной интенсивности извержения принималась величина (площадь) эруптивного облака, отдешифрированная на снимке. Данные, полученные по спутниковым наблюдениям, хорошо коррелируются с результатами наземных наблюдений за этот же период, и обе системы наблюдений хорошо дополняют друг друга (рис. 52). При наземных наблюдениях относительная интенсивность процесса извержения оценивалась по продолжительности регистрируемых отдельных выбросов, отнесенной к общему времени наблюдений.

Некоторые извержения регистрировались с помощью орбитальной аппаратуры в тепловом диапазоне и делались попытки наблюдать изменения активности. На полученных с метеоспутников НОАА, «Нимбус» ИК-снимках вулканов и извержений на Гавайских островах, Этны в 1967 и 1971 гг., вулкана Беренберг на о-ве Ян-Майен и некоторых других были зафиксированы тепловые аномалии.

Уникальным и надежным методом патрулирования вулканической активности являются визуальные наблюдения с пилотируемых орбитальных комплексов. При визуальном поиске может просматриваться огромная территория, значительно большая, чем при автоматической регистрации, даже с использованием широкозахватной регистрирующей аппаратуры. Однако информативность таких данных, подобно самолетным визуальным наблюдениям, ограничена возможностью заметить только достаточно сильные изменения активности или зафиксировать факт происходящего извержения. Получение же более

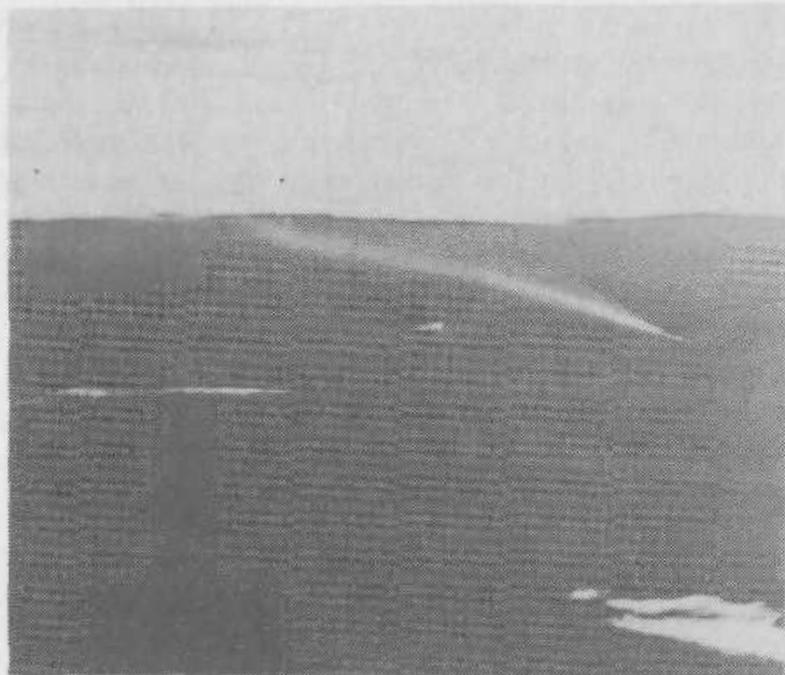


Рис. 53. Сильно наклоненный снимок Сандвичевых островов, сделанный космонавтами Г. М. Гречко и Ю. П. Романенко с орбитального комплекса «Салют—Союз»

На снимке, выполненном с большого расстояния (с севера), почти неразличимы сами острова, но отчетливо видны шлейфы извержений, один из которых протягивается на несколько сотен километров

точных и количественных данных о явлении возможно только при многократном систематическом зондировании с соблюдением определенных технических требований регистрации. При долговременных орбитальных экспедициях с борта пилотируемого

корабля принципиально может быть выполнена наиболее полная и продолжительная по времени проведения программа исследования извержения. Вместе с максимальным использованием комплекса современной дистанционной аппаратуры, имеющейся на борту, это позволило бы получить разностороннюю информацию о физических параметрах явления. Однако выполнение такой программы вряд ли осуществимо, поскольку в масштабе практически всей поверхности Земли только поиск признаков активизации должен занять все или почти все рабочее время экипажа, даже с организацией сменного режима работы. Исследование активного вулканизма с пилотируемых кораблей должно, по-видимому, акцентироваться на вопросах методических, технологических, регистрации, оперативного анализа и оповещения, с тем чтобы в дальнейшем реализовать полученные результаты на автоматических станциях.

Современные вулканические явления наблюдали космонавты практически во всех экспедициях на орбитальном комплексе «Салют»—«Союз». В 1977 г. космонавты В. Н. Коваленок и А. С. Иванченков наблюдали извержение на о-ве Уайт вблизи Новой Зеландии. Извержение Этны было снято космонавтами В. В. Рюминым и В. Н. Ляховым. В первой орбитальной экспедиции Г. М. Гречко и Ю. П. Романенко зафиксировали высокую вулканическую активность в группе Сандвичевых островов в южной части Атлантического океана (рис. 53). Если такие наблюдения проводить систематически и в большем объеме, можно получить уникальный материал о явлении вулканизма.

Изучение современных вулканических структур

К настоящему времени на основе дешифрирования снимков из космоса районов современного вулканизма различными авторами составлено большое количество схематических рисунков и карт. Детальность работы в этом направлении в основном зависела от качества снимков или от их «уровня генерализации» [Скарятин, 1976] и не всегда соответствовала поставленным задачам. В последние годы стало возможным более строго и целенаправленно подходить к использованию снимков, поскольку имеется возможность выбрать материалы орбитальных съемок для геологического дешифрирования в очень широком диапазоне масштабов, использовать дополнительно новые виды информации (например, данные спектрометров, радиофизических методов и др.), а также многозональные снимки, информативность которых очень высока. Тематика вулканологических исследований разномасштабна благодаря широкому географическому распространению вулканизма, а также исключительной важности самого процесса в геологической истории Земли. Это определяет эффективность использования самых разнообразных материалов для изучения объектов и структур различных рангов — планетарных; глобальных, региональных и локальных [Святловский, 1971]. Такая классификация не предусматривает, конечно, формального ограничения в выборе и применении материалов, но удобна в работе со снимками различных уровней генерализации и масштаба, а также подчеркивает необходимость использования всего арсенала новых разработок.

По современным представлениям, действующие вулканы и молодые вулкано-тектонические структуры сосредоточены в основном в двух крупнейших планетарных подразделе-

влиях — Тихоокеанском поясе в Альпийско-Индонезийском поясах. За пределами этих двух регионов вулканы расположены на обширных сводовых поднятиях, осложненных рифтами и локальными вулканотектоническими структурами [Мучинский, 1971].

Несколько обособленную группу вулканических объектов, применительно к возможностям новых дистанционных исследований, представляют океанические структуры, как крупнейшие — типа срединно-океанических хребтов, так и более низкого ранга. Для непосредственного наблюдения в районах экваторий доступны только очень малые вершинные части отдельных вулканов, расположение которых на поверхности океана может совершенно не отражать ни геологических особенностей обширных вулканических структур, скрытых под поверхностью, ни пространственного распространения центров вулканической активности в таких регионах. В пределах же наиболее глубоких частей Мирового океана вулканическая активность вообще может не проявляться на поверхности. Применение дистанционных методов в пределах экваторий возможно только на основе использованных косвенных признаков и в комплексе с методами морских и подводных исследований и геофизики.

Полнота получаемых к настоящему времени дистанционных данных по геологии районов современного вулканизма зависит прежде всего от уровня многих технических, технологических и методических разработок вопроса съемки и интерпретации, а также от обеспокоенности исследователя исходными дистанционными материалами.

На сегодняшний день наиболее хорошо обеспечены материалами районы кайнозойского вулканизма центральной части Альпийского складчатого пояса, Камчатки, некоторые районы Северной Африки, частично Аравии. Проведенное по этим и некоторым другим районам геологическое дешифрирование современных вулканических структур показывает высокую эффективность дистанционных исследований в вулканологии, а также необходимость постоянного пополнения данных даже о хорошо изученных территориях, поскольку буквально каждый новый снимок может дать качественно новую информацию при определенной направленности исследований, а также в зависимости от типа, технического совершенства съемки и условий ее выполнения.

На снимках наиболее высокого уровня генерализации (изображения, полученные с метеосистем низкого разрешения) районов Эгейского моря и Западной Турции можно опознать отдельные вулканические острова и неуверенно констатировать некоторые крупные морфологические детали. Сравнение таких снимков со схематической картой расположения полей плащек четвертичного вулканизма на территории Турции показывает отсутствие жестких дешифровочных признаков для вулканических образований. С привлечением более детальных материалов достаточно уверенно дешифрируются крупные вулканотектонические структуры типа Эрджиядаг, а также протяженные линейные региональные структуры.

По результатам дешифрирования снимков с пилотируемых кораблей удалось получить более детальные данные по этому региону. Очень четко дешифрируется сеть разрывной тектоники Кайсери (Южная Анатолія), где позднеорогенный вулканизм проявился в наибольшем масштабе [Милановский, Коронзовский, 1973]. Крупнейшим в районе является вулкан Эрджиядаг. Он расположен в огромной кольцевой депрессии проседания, по периферии которой сохранились остатки, по-видимому, древнего щитового вулкана. К югу от Эрджиядага видна цепь крупных вулканических массивов. Во всем районе дешифрируется сложная сеть разломов, выраженная в основном в элементах морфологии. Главнейшие направления разломов северо-восточное, параллельное простиранию структур Центрального Тавра, и северо-западное, секущее. Севернее залегая Исаандерен, в районе развития палеозоя, отчетливо наблюдается разрывная тектоника меридионального простирания. Кроме того, в наиболее возвышенной части Центрального Тавра и в складчатом обрамлении северной части Джейханской низменности наблюдается широтная система разломов, которая в районе вершины Айдог пересекает Центральный Тавр и уходит на запад под отложения вулканического массива Карадаг. Эта сложная пересеченная разломами, по-видимому, местами вулканических проявлений в этом районе. Для района характерны наличие крупных дугообразных разломов, возникновение которых, очевидно, обусловлено сочетаниями линейных зон с кольцевыми вулканотектоническими линейными элементами.

По региону Кавказского сегмента Альпийского пояса имеется большое количество работ, посвященных изучению геологических особенностей Кавказа и прилегающих территорий по материалам съемок из космоса [Вызова и др., 1973; Сахатов, 1973; Трифонов и др., 1973; Брусничкина, Гусев, 1974; Гусев, 1976; и др.]. Почти во всех работах обсуждается связь структурных элементов, выявляемых на снимках, с проявлениями

вулканизма. Наиболее мелкомасштабные, сильно генерализованные снимки НОАА-2 позволили проанализировать положение крупных вулканических и вулкано-плутонических центров в системе крупнейших региональных линеаментов [Брусничкина, Гусев, 1974]. Транскавказское поднятие северо-северо-восточного простирания, протягивающееся широкой полосой из района Центрального Ирана через вулканический массив Сахенд, через Арагац, Джавахетское вулканическое нагорье, Дзирульский массив, Эльбрус и район Ставропольского поднятия, возможно, играло определяющую и активную роль в развитии вулканизма этого региона. К значительным разломам, секущим этот линеамент, тяготеют и многие другие вулканические проявления, наиболее значительные из которых приурочены к пересечению поднятия с разломами северо-восток—юго-западного простирания и секущие Главный Кавказский антиклинорий. На несколько более детальных снимках, полученных со спутников серии «Метеор» (второй уровень генерализации), были отдешифрированы многочисленные системы разрывных нарушений, дополняющие представление об общей региональной структуре. Практически на всех метеоспутниковых изображениях непосредственно не дешифрируются или дешиф-

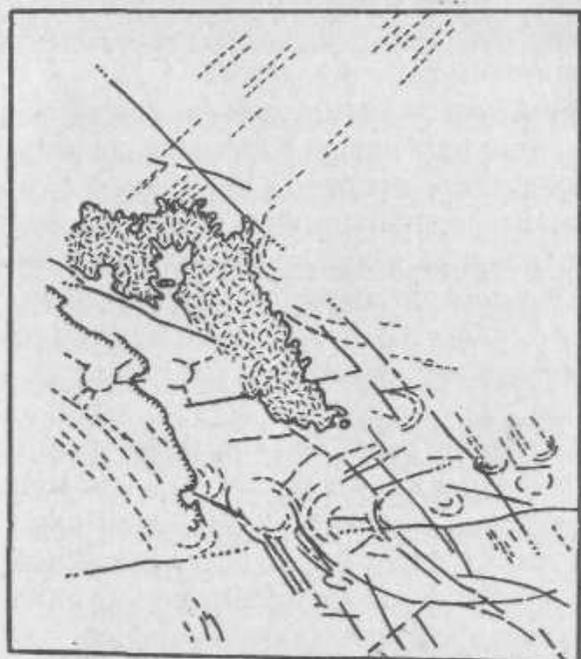
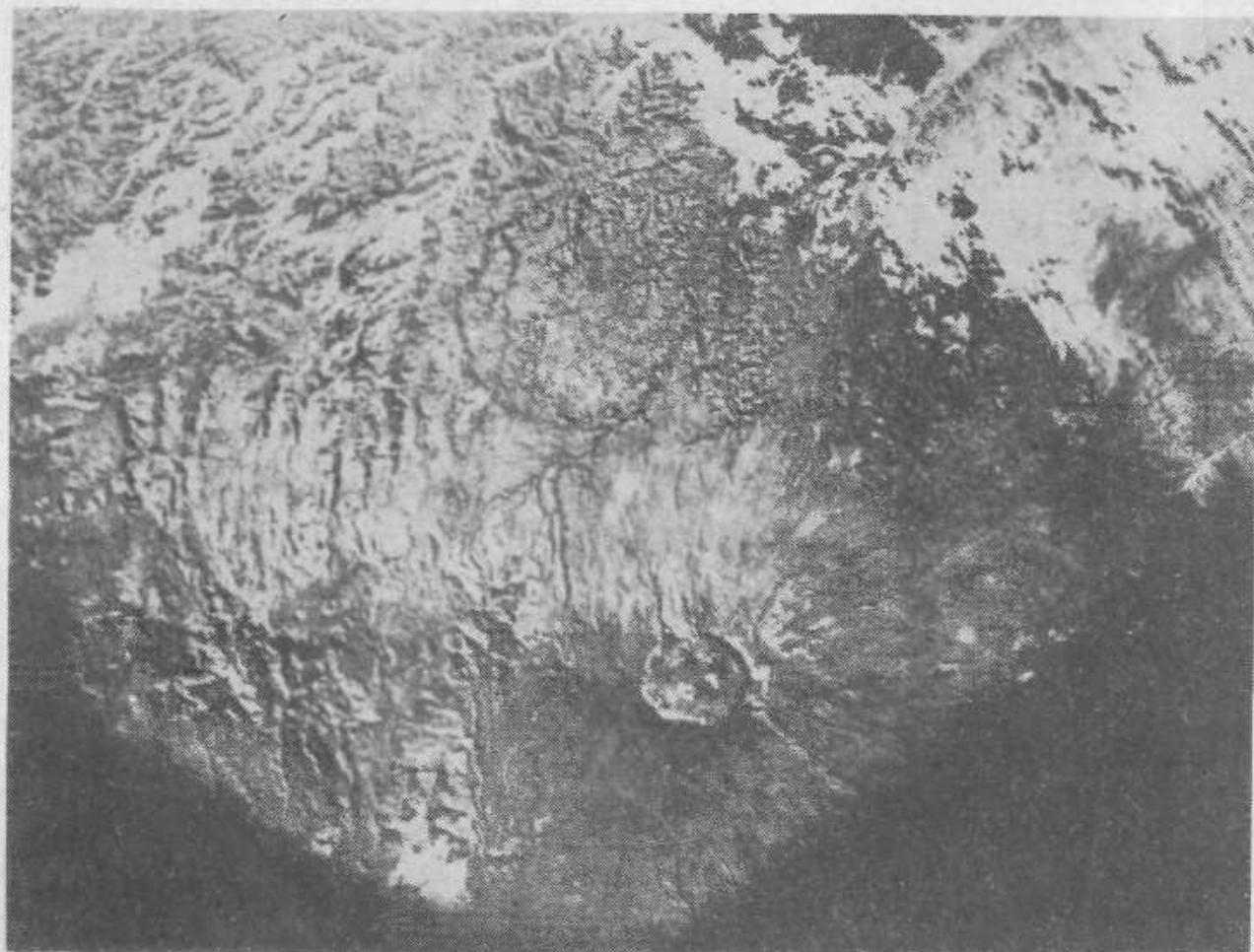


Рис. 54. Схематическая карта результатов дешифрирования северной части Арабо-Нубийского щита, область Хиджаз, Саудовская Аравия

Условные обозначения см. на рис. 56

Рис. 55. Близкий к плановому фотоснимок вулкана Эми-Кусси (вулканическое нагорье Тибести в Северной Африке), полученный с космического корабля «Аполлон-7» в 1968 г. Север наверху слева



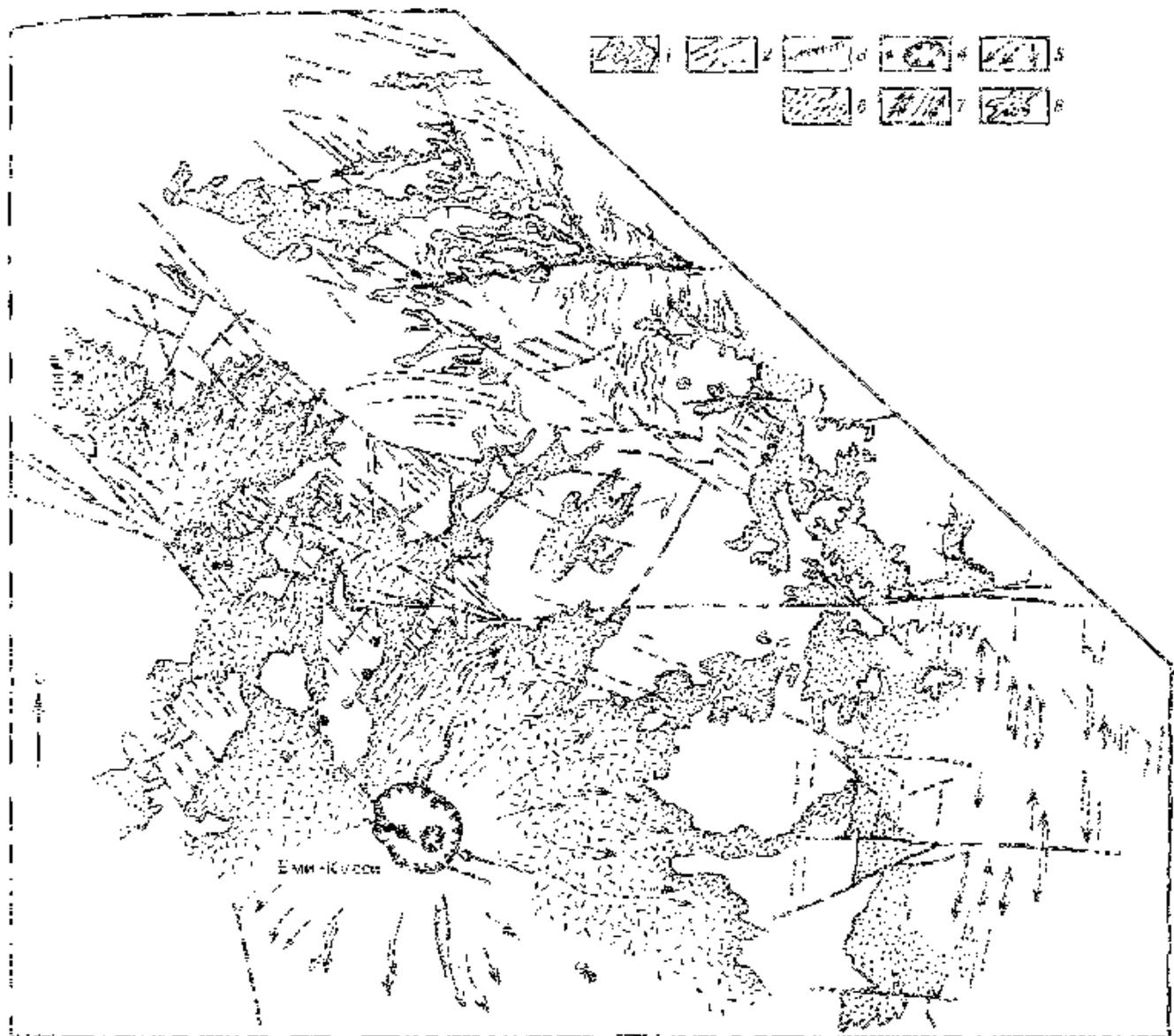


Рис. 56. Схема геологического строения района вулкана Эми-Куссу

1 — четвертичные, частично юроденские вулканические породы, преимущественно базальты; 2 — различные нарушения различных порядков, деформирующиеся уверенно, менее уверенно, и предполагаемые продолжения разрывных нарушений; 3 — тектонические и эрозивно-тектонические уступы; 4 — вулканы и кальдеры; 5 — направление течения лав и сноса материала при деуляции; 6 — структурные линии; 7 — ориентирован современных вулканических форм; 8 — современные вулканические осадки, вулканические пески

рываются очень неуверенно локальные вулкано-тектонические структуры или отдельные вулканы. Привязку же вулканических районов и конкретных структур к отдешифрированным региональным деталям здесь можно сделать достаточно точно.

Качественно новую информацию дали по данному региону снимки с пилотируемых космических кораблей «Союз-4», «Союз-9», «Союз-12» и с орбитальной станции «Салют-6». На этих снимках при маршрутном и покадровом фотографировании отражены только фрагменты крупнейших глобальных и региональных линейностей, отдешифрированных по более обзорным и генерализованным изображениям. В пределах этих фрагментарных снимков детали разрывальной структуры, как правило, дешифрируются по другим, более локальным и конкретным признакам. При отсутствии глобальной или региональной связи такие детали могут быть отнесены к другим геологическим подразделениям. Например, по одиночным снимкам нельзя предположить принадлежность к единой региональной структуре нескольких разобщенных на большой территории центров проявления вулканизма и интрузивного магматизма. Но в то же время линейное, субпараллельное региональной структуре расположение вулканов в пределах относительно небольшого по площади Тегамского нагорья (что можно отдешифрировать только по детальному снимку), по-видимому, подтверждает предположение о наличии крупной линейной структуры. Подобные разномасштабные связи могут быть обнаружены на детальных снимках, включая и аэросъемку, как непосредственно на самой структуре, так и за ее пределами — в обрамляющих отложениях, в трещиловатых зонах смития, вадригах и т. д.

На снимке с корабля «Союз-12» в этом же регионе отдешифрированы группы вулканических центров в районе северной части Армянского нагорья (Гусев, 1976). Главнейшей особенностью района, по данным проведенного анализа, является наличие крупной

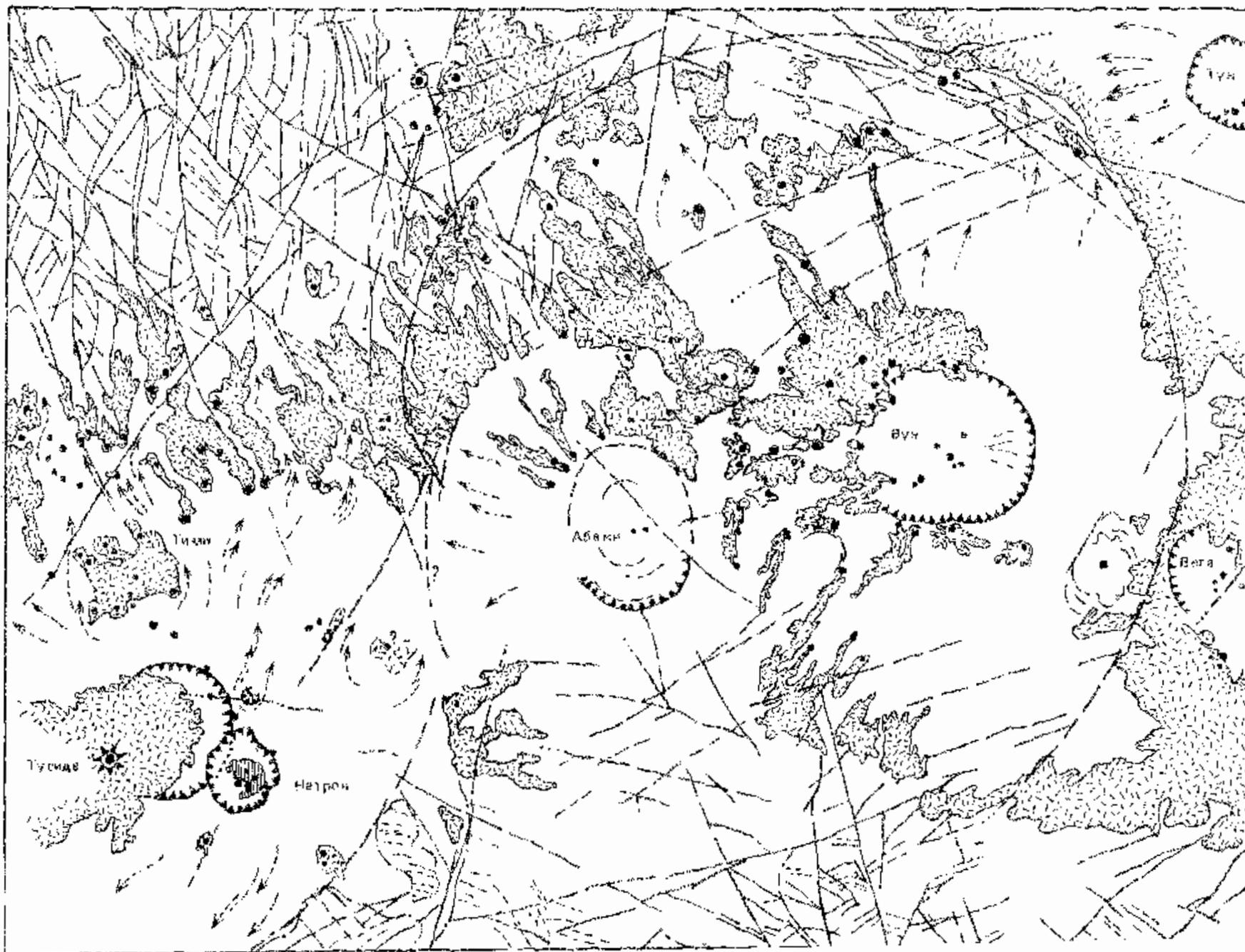


Рис. 57. Схема геологического строения центральной части вулканического нагорья Тибети, составленная по результатам дешифрирования плановых и перспективных снимков, полученных с иллюстрируемых космических кораблей

Условные обозначения см. на рис. 56



Рис. 58. Перспективный фотоснимок Камчатки с космического корабля «Салют-6»

кольцевой вулcano-тектонической структуры диаметром около 65—75 км, с оз. Чилдыр, заполняющим депрессию в ее центральной части. Структура расположена на пересечении сложных систем разрывных нарушений нескольких направлений. Другие вулканические центры, отдешифрованные на снимке, также связаны с линейными зонами, которые прослеживаются за пределами этого района по более мелкомасштабным снимкам.

Разномасштабные и различные по уровню генерализации материалы проанализированы для некоторых территорий проявления молодого вулканизма в районе Красного моря. Мелкомасштабные метеоспутниковые снимки позволили выделить некоторые региональные линеаменты, которые в большинстве случаев нашли объяснение на более детальных материалах. На снимках со спутников системы «Метеор» в северной части Арабо-Нубийского щита, в области Хиджаз (рис. 54), достаточно уверенно дешифрируются поля молодых эффузивов и многочисленные разрывные нарушения, которые образуют закономерно ориентированные кольцевые или линейные системы. Более детальные снимки этого района также показали наличие дугообразных разломов и связанных с ними структурно полей молодых эффузивов.

Получено большое количество снимков вулканического нагорья Тибести в Северной Африке. Перспективные снимки, полученные с пилотируемых кораблей «Джемини», «Аполлон», с орбитальной станции «Салют», позволяют составить детальное представление об общей структуре массива, не прибегая к помощи сильно генерализованных метеоспутниковых изображений. Это объясняется почти постоянным отсутствием облачного покрова на очень большой территории, что позволило выполнить многократное перспективное фотографирование в различных ракурсах. Плановые и близкие к плановым снимки нагорья и отдельных его фрагментов дали возможность выполнить детальное дешифрирование локальных вулканических структур и отдельных объектов (рис. 55, 56).

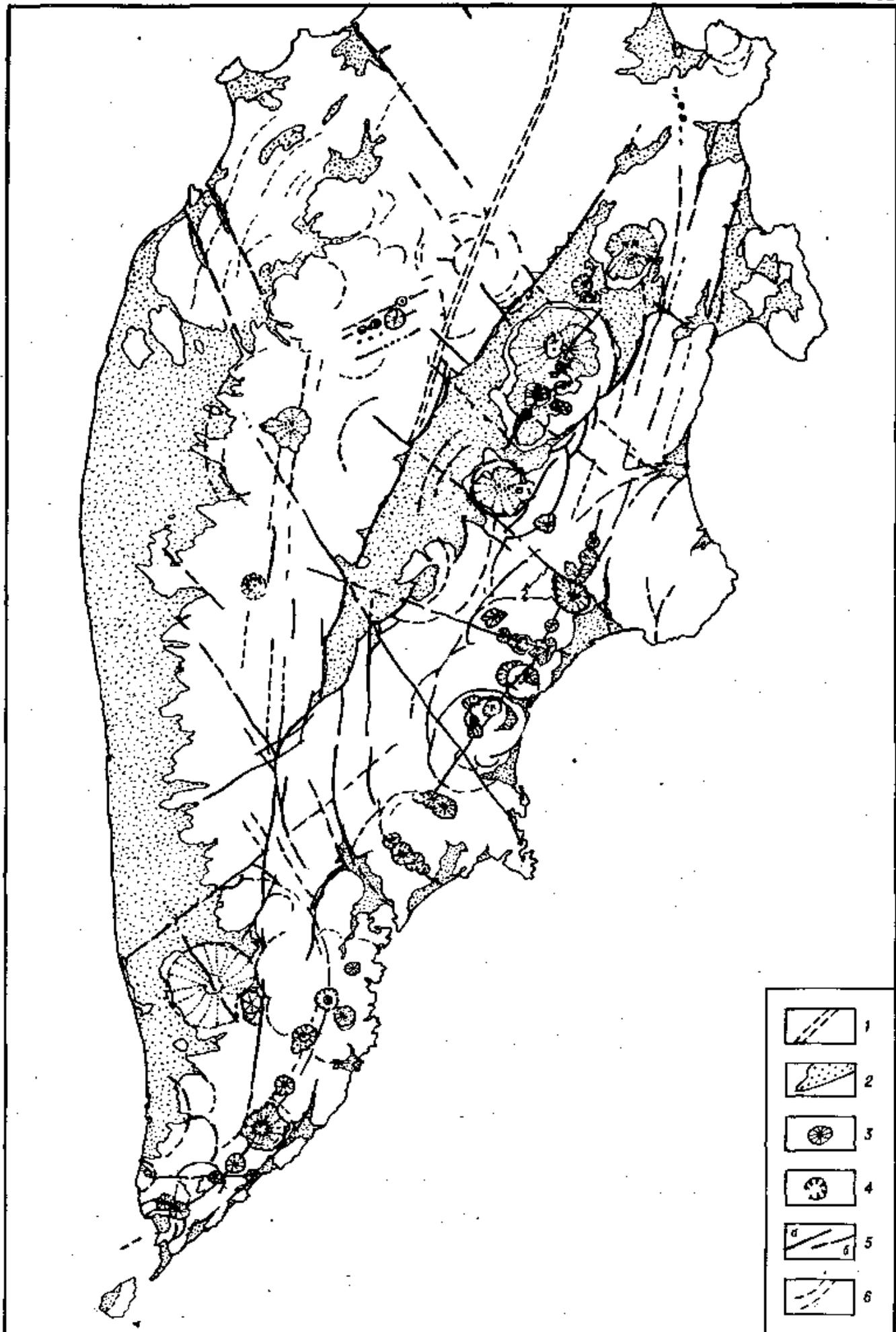


Рис. 59. Схема структурно-вулканологического дешифрирования фотоснимка, приведенного на рис. 58

1 — осевая линия северной части Среднего хребта; 2 — депрессии и впадины, преимущественно тектонические; 3 — вулканотектонические структуры и отдельные вулканы; 4 — кальдеры; 5 — разрывы, дешифрируемые уверенно (а) и менее уверенно (б); 6 — структурные линии

Перспективные снимки оказали существенную помощь при дешифрировании структурно-тектонических особенностей нагорья и обрамляющих структур (рис. 57).

Проделана большая работа по дешифрированию современных вулканических образований на территории Камчатки. Она дала большой методический материал по использованию снимков из космоса при изучении районов современного вулканизма.

В отличие от аридных районов с хорошей обнаженностью и минимальной облачностью почти во все времена года Камчатка, а также другие районы северо-западной части Тихоокеанского пояса находятся в значительно менее выгодных условиях. В очень ограниченный период наиболее благоприятного для съемки состояния ландшафта полностью закрытыми облачностью оказываются наиболее необходимые или интересные в геологическом отношении территории, а то и весь регион. Очень часто присутствует легкий прозрачный облачный покров, сквозь который прослеживаются только некоторые, наиболее значительные детали поверхности, береговая линия, крупные горные системы и т. д. Опасность использования таких снимков для геологического дешифрирования, при их кажущейся информативности, заключается в том, что контрасты, обусловленные таким облачным покровом и его тенями, очень значительны и абсолютно меняют представление о ландшафте, в особенности о его ориентированных элементах, имеющих наибольший структурно-тектонический смысл. Отрицательное влияние облачности усугубляется и ее линейной ориентировкой, очень часто хорошо выраженной. Опознать наличие такой облачности на снимке бывает не всегда просто, и часто эти облачно-теневые рисунки могут быть приняты за элементы земного ландшафта. Существенной помехой при дешифрировании могут быть локальные участки низкой облачности, полосы тумана и т. д.

Систематичность приема информации позволила проанализировать изображения Камчатки за несколько лет во всех сезонных условиях, что дало большой методический материал по оценке качества и информативности мелкомасштабных изображений.

Снимки, выполненные в зимних условиях, наиболее информативны в этом и подобных районах при низком положении Солнца, когда элементы рельефа подчеркиваются тенями. На зимних снимках сложнее распознаются облачные покровы, почти не имеющие контрастов с заснеженной поверхностью Земли, а тени от облачности создают иллюзию деталей структуры. Летние снимки не всегда могут быть информативны даже при их хорошем техническом качестве, благоприятных метеорологических обстановке и условиях освещения при съемке. Камчатка почти полностью покрыта разнообразной растительностью, которая дает свои, очень яркие контрасты, сильно осложняющие мелкомасштабные изображения. Возможность использования многозональных изображений позволяет при дешифрировании избежать некоторых мешающих контрастов, а также получить некоторую новую информацию, например о нарушении растительного покрова в результате сильных вулканических извержений. Площадь, покрытая выпавшим шлаком и пеплами в результате Толбачинского извержения 1975—1976 гг., составляла, по данным дешифрирования снимка со спутника «Метеор» в диапазоне 0,8—1,1 мкм, около 350—450 км². С пилотируемых космических аппаратов на территорию Камчатки получены в основном только перспективные снимки, охватывающие южную часть полуострова (рис. 58). Дешифрирование этих снимков (рис. 59) совместно с метеорологическими изображениями и снимками со спутника «Ландсэт» значительно повышает достоверность получаемой информации.

В пределах Курило-Камчатского региона постоянно в течение нескольких лет проводятся эксперименты, связанные в первую очередь с режимными аэрофотосъемками действующих вулканов и позволяющие следить за их состоянием и изменениями. Благодаря высокой контрастности и динамике многих геологических объектов и явлений в этом регионе (тепловые, геохимические, геофизические поля, деформации поверхности и др.) систематическое выполнение самолетных экспериментов с различными съемочными системами позволяет наиболее эффективно получать новый материал для совершенствования и разработки комплекса дистанционных методов для целенаправленных вулканологических и геологических исследований.

СОВРЕМЕННЫЕ И НОВЕЙШИЕ ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ КАК ИНДИКАТОРЫ НОВЕЙШЕЙ СТРУКТУРЫ РАВНИННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В практике геологического дешифрирования при целенаправленном исследовании по космическим снимкам ландшафта в целях получения геолого-структурной информации известен как геолого-индикационный, или ландшафтно-индикационный, прием дешифрирования [Абросимов, 1974; Соловьева и др., 1976; Лион, Соловьева, 1980]. Основная его задача при дешифрировании космических снимков континентального, регионального, локального и детального уровней генерализации сводится к изучению морфологии различных таксономических элементов ландшафта, особенностей геоморфологического строения и специфики современных экзогенных процессов. На основе полученных фактических данных проводится структурно-геологическая интерпретация, использующая стандартные [Основы..., 1978], специальные и узкорегиональные [Лион, Соловьева, 1980] приемы структурно-геоморфологического анализа. Теоретические основы анализа, заложенные в трудах В. Пенка, В. Девиса, И. П. Герасимова, Ю. А. Мещерякова, С. С. Шульца и других исследователей, успешно разрабатываются в настоящее время многими исследователями на примере разных районов.

Согласно современным представлениям структурной геоморфологии ландшафтно-геоморфологические объекты земной поверхности — это прежде всего объекты геологические, это тектонические и неотектонические структуры, представляющие собой результат длительного геологического развития континентов.

В геологических исследованиях равнинных областей плит молодых и древних платформ ландшафтно-индикационное дешифрирование космических снимков разных уровней генерализации позволяет восстановить общую картину современной неотектонической структуры земной поверхности во всем многообразии ее разнопорядковых, разнонаправленных, морфологически разнородных (разрывных и складчатых) элементов. Главным индикатором структурно-тектонических условий является геоморфология местности, концентрирующая всю информацию о длительной истории глубинной генерации развивающихся в рельефе тектонических структур. Анализ морфологии речной сети и орографических форм, в частности высот разновозрастных уровней рельефа, их конфигурации и генезиса поверхности по региональным и локальным космическим снимкам дает все основные предпосылки для общей реконструкции современного тектонического строения местности.

При анализе геоморфологического строения по космическим снимкам разных уровней генерализации в целях структурно-геологической интерпретации устанавливаются границы развития различных генетических типов и подтипов рельефа. Причем границы участков с разным характером рельефа идентифицируются с границами основных и подчиненных блоков с различным режимом новейших тектонических движений, что составляет основание для последующей реконструкции современной тектонической структуры. Однако при дешифрировании снимков равнинных районов с монотонным однообразным геоморфологическим строением, характеризующихся развитием единых по возрасту и генезису поверхностей, мы вынуждены обращаться к второстепенным, менее выразительным, иногда едва намечающимся элементам ландшафта, относящимся к категории современных экзогенных процессов и развивающимся на фоне общих геоморфологических элементов. Естественно, что только условно можно разграничить элементы геоморфологического строения, возникшие в результате длительного (многие миллионы лет) воздействия экзогенных процессов и сформированные современными экзогенными процессами.

По-видимому, за нижний возрастной интервал современных экзогенных процессов как индикаторов структурной обстановки можно принять конец плейстоцена. В этот отрезок времени завершилось формирование комплекса молодых террас и сопряженных с ними эрозионных врезов. Опыт показывает, что в условиях равнинных районов с аккумулятивно-денудационным и аккумулятивным рельефом анализ экзогенных процессов раскрывает морфологические черты поверхности более определенно, нежели ее гипсометрические превышения [Лион, Соловьева, 1980], и позволяет выявить структурные элементы, скрыто развивающиеся в ландшафте.

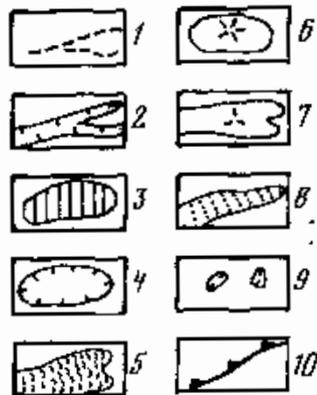
Важная роль экзогенных процессов, формирующих земную поверхность, проявляется в формировании изображения равнинных районов на космических снимках практически

всех уровней генерализации. Например, полигенические равнины Западной Сибири и Туранской плиты, отличающиеся гипсометрически маловыразительными элементами геоморфологического строения, получают столь контрастное выразительное отображение на снимках благодаря разнообразию экзогенных процессов (и прежде всего гидрогеологического фактора), которые, в свою очередь, проявляются через посредство растительности. С этой точки зрения наиболее благоприятные условия складываются в гумидных районах. Примером тому служат четвертичные полигенические поверхности выравнивания Западной Сибири, которые на космических снимках всех уровней генерализации отличаются неожиданной пестротой и выразительностью красок, фототонов и рисунков изображения. Создающая темный фототон хвойная растительность занимает наиболее дренируемые участки территории. Анализ порядков долин и водоразделов и общие геоморфологические сопоставления позволяют непосредственно по данным снимков датировать возраст преимущественного расчленения (денудации) аккумулятивных поверхностей как средне-позднечетвертичный. Наиболее яркими примерами служат районы Белогорья, Черногорья, левобережной Оби и Васюганья. Анализ факторов денудации — вертикального и горизонтального расчленения — выявляет и для этих районов устойчивую тенденцию к поднятию. Светлый фототон на космических снимках характеризует, напротив, районы или участки преимущественной аккумуляции в позднечетвертичное время и в голоцене. Высокая контрастность изображения создает предпосылки для дешифрирования деталей ландшафта даже на континентальных снимках со спутников «Метеор».

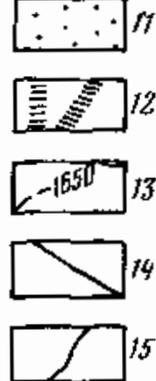
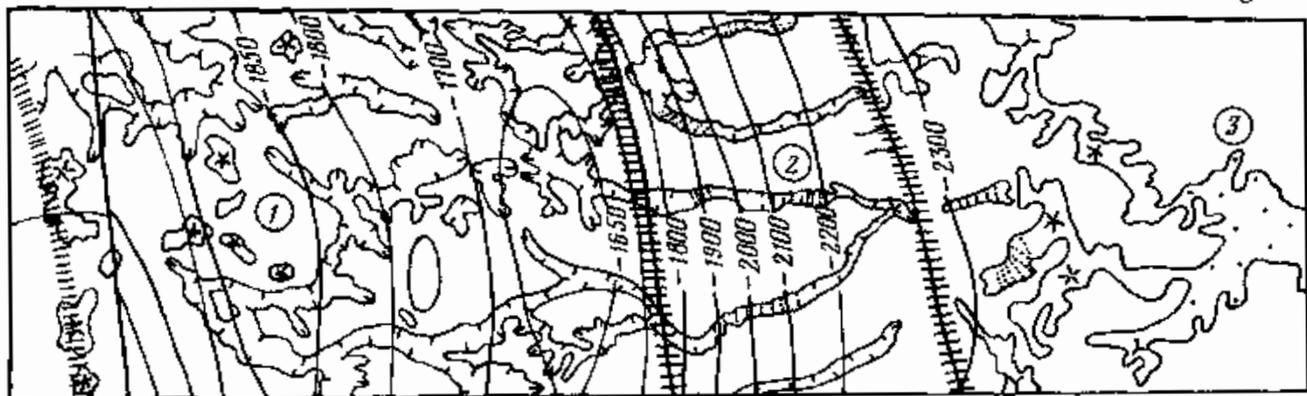
В отличие от гумидных аридные районы равнин проявляются на континентальных снимках со спутников «Метеор» в размытых серых маловыразительных тонах, практически не зависящих от сезона и оптического диапазона съемки. При дешифрировании снимков этих районов складываются свои, особые критерии, учитывающие слабые, едва уловимые фототоновые различия изображения. Например, на обзорных снимках «Метеор» или на региональных космических снимках денудационного плато Устюрт удается выявлять основные геоморфологические и эквивалентные им тектонические элементы приповерхностной и глубинной структуры. На этих снимках относительно темный фототон характеризует возвышенные, а светлый — относительно пониженные участки (за исключением оазисов). Темный фототон сводов поднятий обусловлен главным образом скоплением кустарниковой растительности, приуроченной к наиболее обводненным выветрелым трещиноватым породам с карстовыми и суффозионными просадками, т. е. к участкам активного проявления процессов денудации. Светлый фототон пониженных участков обусловлен активным проявлением современных процессов образования такыров в связи с привнесом глинистого материала и с образованием соляных выцветов, также обладающих высокой спектральной яркостью.

Смежные с Устюртом районы Прикаспийской впадины с аккумулятивным рельефом, напротив, характеризуются темным фототонем. Он обусловлен высокой влажностью осадков в участках относительных понижений, как правило структурно обусловленных. Яркость проявления, или относительная выразительность, анализируемых объектов во многом зависит от активности экзогенных процессов, обусловленных внутренними, тектогенными, или внешними факторами, такими, как близость регионального базиса денудации и др. Примером влияния первых являются наиболее активно развивающиеся в ландшафте поднятия Карабаур, Музбель, вторых — относительно высокая выразительность в ландшафте и на снимке структурных элементов прибортовых зон плато Устюрт.

На локальных и детальных снимках аридной области, характеризующихся более высоким разрешением на местности, при внимательном анализе могут быть выделены характерные детали форм проявления современных экзогенных процессов, формирующих дневную поверхность и являющихся индикаторами тех или иных тектогенных элементов (рис. 60). Например, в условиях аккумулятивного рельефа низменных гумидных районов при дешифрировании детальных снимков в целях поиска локальных структур ставится задача выявления участков повышенного дренажа, развивающегося на фоне общего современного прогрессирующего заболачивания. Конкретные признаки экзогенных процессов — индикаторов развивающегося дренажа — уже разработаны для некоторых районов Западной Сибири на основе аэрофотоснимков и могут быть с успехом применены к новым материалам [Орлов, 1975]. На рис. 60, а приведен фрагмент схемы ландшафтно-индикационного дешифрирования локальных космических снимков территории Сургутского полесья — озерно-болотной равнины правобережной Оби. В пределах плоского водораздела Сургутского поднятия выделяются участки со слабо выраженным дренажем, с широким развитием крупных озер, возможно, термокарстового происхожде-



b



b

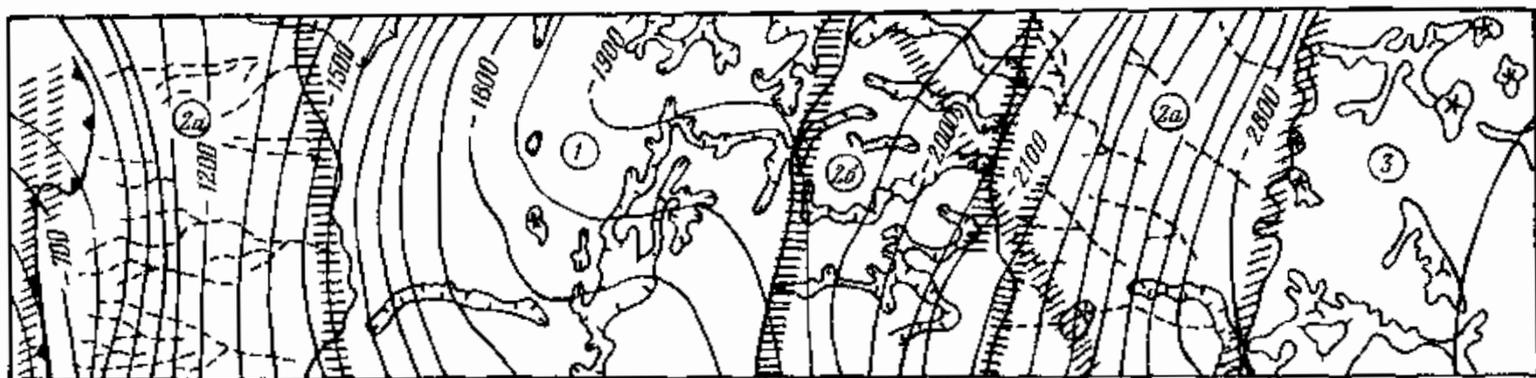


Рис. 60. Примеры отражения новейших тектонических деформаций (поднятий и прогибов) в ландшафте и экзогенных процессах гумидных и аридных равнин Западно-Сибирской и Туранской плит по данным ландшафтно-индикационного дешифрирования крупномасштабных космических снимков восточного склона Сургутского свода (а), южного склона Актумсуковского поднятия Устьюрта (б), северного склона Южно-Мангышлакского прогиба (в)

1 — русла временных или слабо презаных мелких водотоков; 2 — долинообразные понижения; 3 — озера; 4 — береговая линия спущенных озер; 5 — грядово-мочажинные болота; 6 — тахыры; 7 — затакыренные участки; 8 — валиковые тахыры; 9 — карстовые и суффозионно-карстовые котловины; 10 — уступ плато (чинк); 11 — пески; 12 — линейные группировки микроэлементов ландшафта, дешифрируемые как линеаменты; 13 — изогипсы опорных отражающих горизонтов осадочного чехла (в м); 14 — разлом по геолого-геофизическим данным; 15 — границам структурно обусловленных комплексов ландшафта, различающихся разнонаправленностью экзогенных процессов. Объяснения цифр в тексте

ния. Присклоновая часть водораздела (см. рис. 60, а, 1) устанавливается по наличию спущенных (осушенных) озер. Причем осушенный берег озера, имеющий террасы, указывает направление водораздела; противоположный берег, расположенный ближе к склону, остается подтопленным. Склон водораздела (см. рис. 60, а, 2) характеризуется широким развитием грядово-мочажинных болот. Ширина и расположение гряд и мочажин, по свидетельству Л. П. Полкановой и др. [Основы..., 1978], указывают на направление и величину уклона поверхности. Сопряженной с поднятием впадине в данном примере соответствует широкая заболоченная долина Тромьегана, заполненная аллювиальными позднечетвертичными отложениями.

В районах аридных равнин (см. рис. 60, б, в) в связи с малой выразительностью ландшафта при дешифрировании среднемасштабных, локальных и детальных космических снимков требуется особенно тщательное выявление всех доступных для опознавания элементов ландшафта: долинообразных понижений, разновидностей такыров, ложбин, карст-суффозионных воронок и т. д. Эти элементы обычно настолько слабо выражены в рельефе, что при наземных исследованиях обнаруживаются с большим трудом либо вообще не наблюдаются. В то же время опознавание их на космических или высотных снимках при определенном навыке не представляет особой трудности [Соловьева и др., 1976; Лион, Соловьева, 1980]. Результаты дешифрирования локальных снимков (см. рис. 60, б, в) показывают, что в пределах однообразной структурно-денудационной поверхности плато с маломощным прерывистым покровом элюво-делювия (серый размытый фототон) возможно выделение участков с характерными наборами элементов ландшафта (форм рельефа) высоких порядков. На рис. 60, б, где показана территория внутренней части плато Устюрт (Куанышский участок), на основе различия микроформ ландшафта выделены три разновидности ландшафта. Первая характеризуется большим количеством протяженных прерывистых и ветвящихся долинообразных понижений различной ориентации, глубина вреза которых, по данным полевых наблюдений, составляет 0,2–0,3 м. Понижения опознаются на снимке по чуть более темному фототону, обусловленному сменой растительности. Во второй разновидности широко развиты или долинообразные понижения, подобные описанным, но отличающиеся линейной субпараллельной ориентировкой, или «валиковые» перетекающие такыры. Третья разновидность ландшафта выделяется по редким мелким понижениям, ложбинам, такырам.

В отличие от Куанышского Кукумбайский участок (см. рис. 60, в), расположенный близ северного уступа плато Мангышлак, характеризуется более активным проявлением экзогенных процессов и потому большей лаконичностью изображенных на снимках ландшафтов. Здесь по набору и композиции элементов также выделяют ландшафт с большим количеством разноориентированных долинообразных понижений на фоне преимущественного развития элювиально-делювиальных отложений, ландшафт с большим количеством однонаправленных временных водотоков или долинообразных понижений на фоне развития делювиального шлейфа и ландшафт с редкой прерывистой сетью мелких понижений, ложбин, такыров.

Приводимое сопоставление ландшафтно-индикационных ситуаций (см. рис. 60) с данными структурных карт обнаруживает неразрывную связь выделенных на снимках элементов ландшафта с различным уклоном земной поверхности, с конфигурацией стратозогипс и наглядно иллюстрирует тектогенную причину изменений характера экзогенных процессов.

В условиях малых уклонов земной поверхности участки преобладающей денудации и аккумуляции связаны между собой постепенными переходами, проявляющимися в парагенетических комплексах новейших четвертичных образований, находящихся в процессе формирования. В результате между участками денудации и аккумуляции намечается полоса транспортировки (транзита) обломочного материала, отличающаяся характерным струйчатым рисунком изображения. Она соответствует сопряженным склонам поднятий и прогибов, развивающихся в ландшафте. В случаях сложного ступенчатого сопряжения намечается несколько зон транзита и локальной аккумуляции (см. рис. 60, в). При структурной приуроченности склона поднятия к флексурной зоне осадочного чехла последняя выражается на поверхности линейной или кулисно смещенной зоной транзита обломочного материала, нередко ограниченной по простиранию субпараллельными линеаменами с характерной системой многочисленных водотоков (гумидные области) или долинообразных понижений (аридные области), поперечно ориентированных по отношению к простиранию флексурной зоны. Яркими примерами служат Куанышская флексура на Устюрте (см. рис. 60, в) и аналогичная ей по изображению Увальская флексурная зона (южный склон Сибирских увалов).

Из приведенных примеров и сопоставлений следует, что при дешифрировании космических снимков в целях их структурной интерпретации главное внимание должно быть уделено выявлению направленности развития процессов. Как отмечает В. И. Орлов [1975], эрозия и аккумуляция, проявляющиеся в самых разнообразных вариантах, служат яркими показателями хода развития рельефа. Как правило, денудационные формы рельефа при прочих равных условиях свидетельствуют о восходящих тектонических движениях, а аккумулятивные — о нисходящих.

В целях структурного анализа элементов геоморфологического строения или форм проявления экзогенных процессов наиболее рационально различать индикаторы денудационных или эрозионно-денудационных процессов, индикаторы аккумулятивных процессов и индикаторы транспортировки материала (промежуточная группа). Первые свидетельствуют об условиях преобладающего тектонического поднятия, вторые — опускания, а третьи указывают на переходные условия, на смену знака движений. Следовательно, элементарная задача геолого-структурного дешифрирования снимков сводится к выявлению и картированию форм современных экзогенных процессов четвертичной денудации и аккумуляции. При дешифрировании снимков намечаются и оконтуриваются участки с различным фотоизображением, которое анализируется с точки зрения оценки интенсивности процессов денудации и аккумуляции. В результате выделяются различно ориентированные блоки с разными вертикальными уклонами поверхности (линейного и плоскостного смыва). Относительная величина вертикального уклона определяется по интенсивности процессов, проявляющихся в ослабленной или прогрессирующей форме. Границы блоков, как правило, совпадают с линеаменами или зонами линеаментов, которые интерпретируются как разрывные нарушения (см. рис. 60).

В приведенных примерах (см. рис. 60, а, б) территории в границах развития карста, термокарста, суффозии или накопления преимущественно элювиальных образований интерпретируются как своды поднятий. Оконтуривающие их зоны развития делювиальных, делювиально-пролювиальных, солифлюкционно-пролювиальных образований — индикаторов плоскостного смыва (перетекающие болота, такыры) и зоны линейной транспортировки материала интерпретируются как склоны поднятий. Сопряженные с ними зоны развития аллювиально-озерных, солончаковых образований, включая зоны разгрузки пролювиальных шлейфов, соответствуют зонам прогибов, впадин.

Более детальное подразделение площадей, различающихся направленностью развития, может быть произведено по признаку интенсивности (или степени развитости) процесса. Такое подразделение позволяет выявить участки, блоки относительно более интенсивных тектонических движений того или иного знака или градиенты деформации флексурных зон (см. рис. 60, в, 2а, 2б).

Анализ развивающихся региональных и локальных тектонических структур в условиях слабонаклонных, преимущественно денудационных (например, плато Устюрт) или аккумулятивных, гумидных и аридных (Западная Сибирь, Северный Прикаспий) равнин, по существу, не показывает принципиальных различий между ними. Так, элювиально-делювиальные маломощные отложения плоских поверхностей сводов региональных поднятий на Устюрте являются фактически гомологами верховых олиготрофных торфяных болот, развитых на плоских сводах, например, Сургутского поднятия. Делювиальные (плоскостной смыв) и делювиально-пролювиальные отложения пологих склонов поднятий Устюрта, переходящие в линейные или извилистые медленно перетекающие «валиковые» такыры, аналогичны по динамике процесса солифлюкционно-делювиальным и солифлюкционно-пролювиальным образованиям склона Сургутского и сходных с ним поднятий. «Валиковые» такыры и мочажинные болота, тоже полосчатые, с закономерной (подобно стратонизогипсам) ориентировкой валиков — это наиболее яркий пример динамически аналогичных форм проявления экзогенных процессов, различающихся только условиями климата.

Таким образом, геолого-структурная интерпретация результатов ландшафтно-индикационного дешифрирования космических снимков сводится к решению элементарной задачи: к выделению площадей (главных и подчиненных) с положительным или отрицательным знаком движений и переходных (условно нейтральных). Оконтурив названные площади, мы фактически реконструируем общую картину неотектонического развития (строения) исследуемого района. Участки территории, характеризующиеся общностью предшествующего геологического развития, геоморфологического строения и современных экзогенных процессов, можно было бы рассматривать в качестве структурно-территориальных (структурно-обусловленных) комплексов ландшафта. С точки зрения структурно-геоморфологического анализа выявление в сложном разнообразии ланд-

ландшафтно-геоморфологических форм их основного признака — направленности (вектора) развития составляет основную задачу структурной интерпретации. Эта задача остается первостепенной как при анализе элементов геоморфологического строения, так и при анализе форм проявления экзогенных процессов.

Совместный анализ элементов геоморфологического строения, форм проявления современных экзогенных процессов и составляет основу геолого-структурной интерпретации результатов дешифрирования космических снимков равнинных районов.

ИЗУЧЕНИЕ ПОГРЕБЕННОЙ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТИ НА ПРИМЕРЕ ТУРАНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Современная гидрографическая сеть Туранской низменности весьма неоднородна. Она наиболее густа в предгорных равнинах, а в пределах самой низменности протекают лишь две крупные реки — Амударья и Сырдарья, впадающие в Аральское море. Такие же реки, как Зеравшан, Мургаб, Теджен и ряд более мелких, рассеивают свои стоки в пустынях.

В связи с тем что равнины в основном сформированы за счет наземных и субаральных дельтовых осадков, здесь имеется большое количество русел старых рек. Они разного возраста и по-разному выражены в рельефе (нередко перекрыты золовыми формами). На плато и склонах возвышенностей довольно многочисленны короткие долины (саи) временных водотоков.

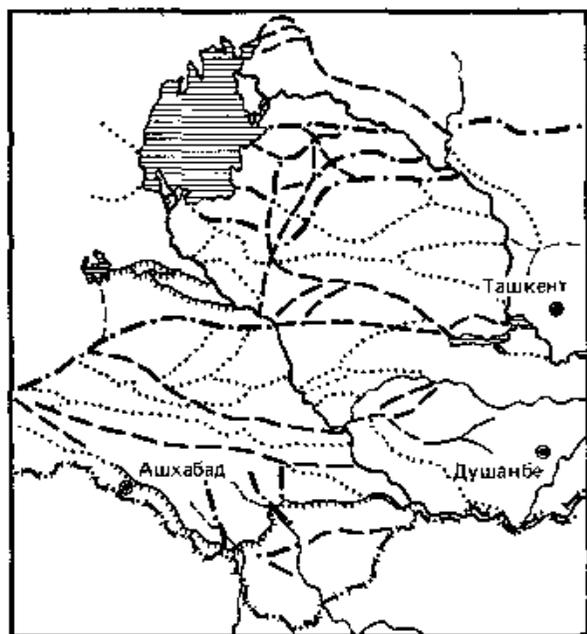
В основу изучения современной и древней гидрографической сети по телевизионным космическим снимкам, полученным со спутников «ERTS-1» и «Метеор», взята общепринятая методика ландшафтного и географо-геоморфологического дешифрирования.

Космический телевизионный снимок со спутника «Метеор» в левой (западной) части имеет некоторое искажение географических контуров за счет перспективности изображения. Тем не менее моря, озера, реки и другие объекты четко распознаются при сопоставлении с другими космическими снимками и с географическими картами. На космическом телевизионном снимке, полученном со спутника «ERTS-1», конфигурации наземных объектов более правильны. В силу этого полученные материалы дешифрирования иллюстрируются в ранге «дешифровочных схем», а материалы интерпретации отражают принципиальное строение сфотографированной поверхности региона (рис. 61). Масштаб космических телевизионных снимков позволяет различать при дешифрировании элементы ландшафта (рельефа) с разрешением на местности до 0,2—0,3 км, т. е. фиксировать даже мелкие меандры рек, заливы в море, водохранилища и др.

Основным исходным материалом дешифрирования служили рисунок фотоизображения и различия между фототонам ландшафтных элементов, но не сам фототон. Например, современная речная сеть имеет темный фототон, аналогичный фототону оазисов и поверхностей других водоемов. Неоген-четвертичные отложения характеризуются серым фототонам различных оттенков с мозаично-струйчатым рисунком. При этом олигоцен-плиоценовые и плейстоценовые отложения дешифрируются как бесструктурные, а аллювиально-пролювиальные отложения верхнего плейстоцена и голоцена обладают веерным и струйчатым рисунком. Докембрийские и палеозойские образования отличаются темно-серым фототонам. Более светлый, чем окружающие пустыни, фототон имеют приподнятые возвышенности: Центрально-Кызылкумские поднятия и отдельные морфоструктуры, сложенные мезозойско-кайнозойскими образованиями.

Дельты рек на космических телевизионных снимках отчетливо распознаются по специфической треугольно-лопастной конфигурации и наличию следов блуждания русел и стариц, а также по фототону более темному (но иногда и светлому), чем окружающие пространства. Флювиальные формы — речные долины на снимках имеют «ниточный» или более широкий «ленточный» рисунок. Обширные высокие аллювиальные террасы, а также подгорные пролювиальные веера, образованные шлейфом конусов выноса, в отличие от окружающих золовых форм выражены более светлым фототонам.

На телевизионных снимках наряду с легко дешифрируемой современной гидрографической сетью, морями, водохранилищами, выраженными темными (до черного) фототонами, повсеместно просматриваются тонкие серые линии, непрерывные или прерывистые, извилистые, сильно ветвящиеся. Отнесение их к руслам палеорек, местами погребенным под покровом рыхлых образований и песков, основывается на следующих фактах и дешифровочных признаках: 1) подавляющее большинство палеорусел ориентировано с востока на запад, т. е. в направлении основного стока современных рек; 2) рисунок строения в плане (волнистые изгибы, меандрирование, протяженность и т. п.) весьма



1 — русла современных рек; 2 — озера, водохранилища; 3 — меандрирующие русла пересыхающих рек и протоков; 4 — палеорусла, выраженные: а — слабо, б — относительно четко; 5 — каналы

Рис. 61. Схема дешифрирования космических снимков, полученных со спутников «ERTS-1» и «Метеор-18»

1 — русла современных рек; 2 — озера, водохранилища; 3 — меандрирующие русла пересыхающих рек и протоков; 4 — палеорусла, выраженные: а — слабо, б — относительно четко; 5 — каналы

напоминает рисунок современных рек; 3) наблюдается ответвление большого количества мелких второстепенных палеорусел от основного или плавного русла; 4) дешифрируемые на снимках палеорусла совпадают с известными сухими и временными руслами Жанадарьи, Инкадарьи, Кувандарьи, Узбоя, Корынжарыка и других или повторяют их конфигурацию; 5) нередко к палеоруслам приурочены такыры, солончаки и цепочки небольших озер, свидетельствующие о былых действующих водотоках; 6) сгущение и увеличение количества палеорусел наблюдается на пониженных участках — в Сырдарьинской впадине, Заунгузских Каракумах, Низменных Каракумах, Муюнкумах и т. д., где палеорусла «просвечивают» сквозь барханные и крупногрядовые пески; 7) на телевизионных снимках наблюдаются отдельные палеорусла, которые в процессе формирования выработали («пропилили») свои долины в современных Центрально-Кызылкумских поднятиях; палеодолины же расположены главным образом по понижениям между поднятиями Кульджуктау, Ауминзатау, Тамдытау, Букантау, Аристантау, Сангрунтау и т. д.; 8) отмечается приуроченность палеорусел к линейным элементам рельефа (линеаментам), т. е. связь палеорусел с разрывной тектоникой.

В целом погребенные палеорусла фиксируются на телевизионных снимках в виде прерывистых объектов с серыми и темными тонами, которые воспринимаются как единое целое. От русел современных водотоков, небольших уступов, серии карстовых воронок они отличаются своей протяженностью и извилистым рисунком. Временные водотоки имеют более светлый фототон и характерный веерообразный рисунок.

Геологические данные [Геология СССР, 1971, 1972] свидетельствуют о разном возрасте речных долин, образование которых началось в Средней Азии со времени регрессии олигоценового моря. С этого же периода началось формирование современной морфоструктуры, поэтому установление рисунков древних гидрографических сетей является одним из методов определения направленности, интенсивности и амплитуды вертикальных тектонических движений.

Тектонические движения в олигоцене привели к регрессии моря из восточных частей Западного Тянь-Шаня. Море сохранилось лишь в западной части Туранской низменности. На месте будущих горных цепей Таласского Алатау, Угамского, Пскемского, Чаткальского, Туркестано-Алайского, Зеравшанского и Гиссарского хребтов возникли небольшие сводовые поднятия. Одновременно с ними начали развиваться континентальные депрессии — Ферганская, Приташкентская, Таджикская.

К позднеолигоценному — раннемиоценовому времени относится образование первых крупных водных артерий — равнинных рек в широких синклиналиях долинах, заполнявшихся песчано-алевритовым материалом. Это палео-Нарын и палео-Гульча, сбрасывающие свои воды в бессточные озерные бассейны [Геология СССР, 1972].

В позднем миоцене — раннем плиоцене шло накопление континентальных и флювиальных отложений (пролювиальных, аллювиально-дельтовых и иллювиально-озерных), в конечном счете сформировавшее относительно выровненную страну. Наиболее значительная эпоха образования эрозионного рельефа — конец раннего и средний плиоцен. По мнению Н. П. Лупова [1963], основные черты современного макро- и мезорельефа были не только заложены, но и в значительной степени выработаны в предакчагыльское время. Именно тогда возникли плато и чинки, глубоко врезанные долины предопределили формирование современных впадин, начал формироваться куэстовый рельеф.

В позднем миоцене ингрессия акчагыльского, а затем апшеронского моря охватила большую часть Туранской плиты, причем проникновение акчагыльского моря происходило в первую очередь по речным долинам, образуя систему заливов и рукавов.

В позднем миоцене ингрессия акчагыльского, а затем апшеронского моря охватила большую часть Туранской плиты, причем проникновение акчагыльского моря происходило в первую очередь по речным долинам, образуя систему заливов и рукавов.

В конце плиоцена — начале четвертичного времени начались восходящие тектонические движения и сформировалась близкая к современной гидрографическая сеть.

Геологические, а также археологические и исторические сведения говорят об постоянном блуждании русел Амударьи и Сырдарьи. В раннечетвертичное время Амударья текла по Низменным Каракумам. В это же время существовал рукав пра-Амударьи в Верхнеузбойском коридоре, и воды ее сбрасывались на север, в Сарыкамышскую впадину.

В среднечетвертичную эпоху пра-Амударья протекала по Низменным Каракумам; на западе, в районе Кызыл-Арвата и Казанджика, она подходила к подножиям Копетдага, отлагая в Низменных Каракумах мощную толщу аллювия. В Кызылкумах формировался эоловый рельеф, а в предгорных равнинах пролювиальные раннечетвертичные шлейфы оказались расчлененными среднечетвертичными долинами.

Современные равнинные части долин Амударьи и Сырдарьи начали формироваться с хвалынского времени.

К концу среднечетвертичной эпохи пра-Амударья повернула из Низменных Каракумов на север и затопила Хорезмскую впадину, в которую впадала пра-Сырдарья. Воды Амударьи заполнили Сарыкамышскую и Ассакеауданскую впадины и начали стекать на юг, образовав р. Узбой. В это же время формировалась присарыкамышская дельта Амударьи. Сырдарья, расчленив к концу хвалынской эпохи северо-восточную окраину Кызылкумов, сформировала систему русел Инкадарьи и впадала вместе с реками Чу и Сарысу в Аральское море.

Начало современного русла и приаральской дельты Амударьи датируется второй половиной I тысячелетия до н. э. Сырдарья после прорыва Кызылординских озерных разливов и начала стока в Арал образовала русла Инкадарьи, Жанадарьи, а позже — системы Кувандарьи, по которым ее воды текли в восточные и юго-восточные части Арала. Современная дельта Сырдарьи начала формироваться примерно 2,5 тыс. лет назад, когда пра-Сырдарья прорвала Хорхутскую антиклиналь и повернула к северо-восточным берегам Арала.

Из приведенной выше истории развития территории Туранской плиты следует, что гидрографическая сеть в течение неогенового и четвертичного времени неоднократно перестраивалась. Эпохи континентального (в западной части преимущественно морского) накопления твердого стока рек с образованием слабо расчлененного рельефа чередовались с эпохами интенсивного формирования рельефа путем воздушной и водной эрозии с образованием древнеаллювиальных долин.

Наиболее хорошо выраженными эпохами рельефообразования были эпохи позднего олигоцена — раннего миоцена (предсарматская), среднего миоцена (предпонтская), среднего плиоцена (предакчагыльская) и среднечетвертично-голоценовая (современная). Совместная интерпретация материалов геолого-геоморфологических исследований, исторических данных по датировке происхождения палеорек Сырдарьи и Амударьи и новых данных, полученных авторами в результате дешифрирования космических телевизионных снимков, позволила при палеореконструкции гидрографической сети и современного рельефа Средней Азии выявить следующие закономерности (см. рис. 61).

1. Палеоруслу, выделенные на телевизионных снимках в качестве основных, совпали с погребенными палеоруслуами предакчагыльского времени. Выраженность их на снимках обусловлена, по нашему мнению, глубокими врезами, заполненными в основном морскими акчагыльскими осадками, и приуроченностью в основном к линиям крупных региональных разломов.

2. В среднеплиоценовое время палеоруслу Амударьи и Сырдарьи мигрировали с юга на север под влиянием растущих поднятий (соответственно Копетдагско-Парапамизского и Центрально-Кызылкумского); рельеф имел форму увалов преимущественно субширотного простирания, и отклонения, изменения направления течения рек обуславливались их прорывом в смежные, гипсометрически ниже расположенные долины. С течением времени субширотная ориентировка долин изменилась, вначале на северо-западную, причем реки достигали берегов Понт-Каспийского моря, а затем в связи с ростом в конце среднего плиоцена Карабогазгольского—Устюртского меридионального поднятия, реки палео-Чу и палео-Сырдарья резко повернули к югу и стали протекать через восточную часть современного Аральского моря. В районе Сарыкамышской впадины они соединились с палео-Амударьей, и образовавшаяся полноводная река через Узбой вливалась в Понт-Каспийское море.

3. Схемы строения гидрографической сети, составленные в результате дешифрирования космических снимков, отображают палеореконструкции событий, происходивших на территории Туранского региона в течение олигоцен-плиоцен-плейстоценового

времени. Эти палеорекоконструкции новейшего этапа развития страны являются чувствительным индикатором формирующегося рельефа на фоне происходящих новейших тектонических движений, проявившихся дифференцированно с различной интенсивностью.

Некоторые исследователи в создании преадакчагыльского рельефа отводят основную роль агентам пустынной денудации, и в первую очередь солевому распылению и дефляции. По нашему мнению, эти процессы действительно привели к возникновению ряда бессточных впадин, провалов, грядовых форм рельефа. Однако наличие в это время высоких гор с ледниками Тянь-Шаня и Памира позволяет предполагать существование полноводных рек и формирование рельефа в первую очередь водной эрозией.

В пользу подобного предположения свидетельствует и тот факт, что в ранних преадакчагыльских реках русловые осадки формировались за счет размыва местных пород, а в более поздних аллювиальный материал содержал уже гальку палеозойских и даже кристаллических пород, привнесенных с далеких горных сооружений.

Дальнейшее изучение обнаруженных на упомянутых космических снимках палеорусел Сырдарьи и Амударьи, несомненно, имеет большое практическое значение. Палеорусла, являясь своеобразными гидроиндикаторами, могут указывать места формирования подземных гидрогеологических бассейнов линейного стока («подземных рек»). Отложения древних русел могут вмещать в себе ряд полезных ископаемых, в частности золоторудные россыпи.

ИЗУЧЕНИЕ И ПРОГНОЗ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ

Прогноз оползневых процессов подразделяется на бессрочный, долговременный и краткосрочный [Кучай, 1973]. Решение задач прогнозирования различной срочности осуществляется различными методами, в связи с чем и способы применения, и набор методов дистанционного зондирования зависят от масштаба и срочности конкретных исследований.

В задачу бессрочного прогноза входит ранжирование геологических условий и конкретных территорий по их предрасположенности к оползневым явлениям различных типов и масштабов (временной аспект прогноза в этих работах отсутствует). Долговременное прогнозирование предполагает не только предсказание места и типа оползневых явлений в будущем, но и определение долговременной средней повторяемости оползней. Наконец, краткосрочный прогноз призван определить место, размеры и время активизации оползневых процессов за несколько часов, суток, недель, месяцев (а может быть, и за несколько лет) до их начала.

Таким образом, если для бессрочного и долговременного прогнозирования достаточно исследовать статистическую картину пространственного распределения и взаимоотношений различных инженерно-геологических параметров и оползневых явлений, то для краткосрочного прогнозирования следует основное внимание уделить некоторому изменяющемуся во времени параметру и коррелированности с ним эпох активизации оползневых явлений.

Элементы бессрочного, долговременного и краткосрочного прогнозирования могут иметь место в работах различного масштаба. Поскольку в настоящее время практический интерес представляет прогноз оползней в среднем и детальном масштабах, то именно им мы уделим основное внимание.

Среднемасштабное оползневое прогнозирование. В задачу такого прогнозирования входит объективное отражение и предсказание оползневых процессов с детальностью, соответствующей картам масштабов от 1 : 100 000 до 1 : 500 000. Карты среднемасштабного оползневого районирования необходимы для планирования строительства и землепользования и являются обязательным элементом инженерной стратегии освоения той или иной территории.

Решение задач среднемасштабного оползневого прогнозирования в настоящее время основывается на некоторых экспериментально установленных статистических закономерностях оползневых процессов. В частности, опыт среднемасштабных оползневых работ в Средней Азии свидетельствует о том, что на конкретной территории оползни различных размеров и разного генезиса не являются независимыми событиями. Так, в зоне перехода от Памира к Тянь-Шаню в элементарных квадратных ячейках площадью 16 км² повторяемость α оползней различных классов размеров K подчинена степенной зависимости [Кучай, Курамжина, 1978]:

$$\alpha(K) = A(3) \cdot 10^{-\xi(K-3)}, \quad (9.1)$$

где K — логарифм площади оползня, м²; A и ξ — безразмерные коэффициенты.

Закон (9.1) повторяемости оползней различных классов делает возможным простое и компактное отображение повторяемости оползней достаточно обширных территорий. Для этого необходимо на интересующей нас площади провести картирование всех имеющихся оползней и ранжировать их по классам размерности K . После этого экспериментально находят время сохранности оползней различных классов (методику определения времени сохранности см.: [Кучай, Курамжина, 1978]) и на основании (9.1) для каждой элементарной ячейки рассчитывают повторяемость минимального класса оползней и максимальный класс оползня, возникновение которого возможно в пределах элементарной ячейки.

Другая сторона среднемасштабного исследования оползней связана с районированием наборов типов оползней, реализующихся на площади элементарных ячеек. Если естественные ассоциации оползней, возникающих в зависимости от конкретных инженерно-геологических (в том числе и сейсмических) условий, назвать «парагенезисом оползней», то подобное районирование типов оползней можно назвать «парагенетическим».

Пусть для каждой элементарной ячейки имеется набор различных типов оползней.

Число оползней типа n в элементарной ячейке обозначим через $S_{ij}^{(n)}$. Множество $\{S_{ij}^{(n)}\}$ в каждой ячейке образует распределение оползней различных типов. Введя меру близости (например, коэффициент корреляции) и задавшись уровнем доверия, мы можем классифицировать исследуемую территорию по различным типам парагенезиса оползней. Таким образом, на уровне среднемасштабных исследований имеется возможность бесспорного парагенетического районирования и долговременного районирования оползней различных классов с учетом их повторяемости.

Дистанционные методы зондирования открывают широкие возможности ускоренного составления среднемасштабных карт оползневого прогнозирования. Действительно, на космических снимках и мелкомасштабных аэрофотоснимках дешифрируются наиболее крупные оползневые тела, которые в принципе не могут быть обнаружены на более крупномасштабных снимках или непосредственно в поле из-за своих грандиозных размеров. Серия же более детальных аэрофотоматериалов позволяет дешифрировать более мелкие оползневые тела и определять их размеры. Таким образом, комплекс космических данных и аэрофотоматериалов различного масштаба служит основой расчета повторяемости оползней практически без полевых работ. В то же время, очевидно, определение времени сохранности оползней различных размеров и проведение парагенетического районирования предполагают дополнительные полевые исследования, имеющие целью установление генезиса конкретных оползней.

Использование материалов дистанционных съемок при долгосрочном среднемасштабном оползневом прогнозировании¹. Опыт изучения оползневых явлений дистанционными методами весьма обширен. Пример исследований такого рода — работы, выполненные в Горном Дагестане сотрудниками лаборатории фотогеологии МГУ. Изложение результатов работ не имеет цели охарактеризовать распространение обвально-оползневых образований на всей изученной территории, а показывает лишь возможности и пути их изучения для среднемасштабного оползневого прогнозирования.

В качестве исходных материалов для дешифрирования служили аэрофотоснимки масштабов 1 : 17 000 и 1 : 33 000, увеличенные до масштаба 1 : 500 000 космические фотоснимки с космических кораблей «Союз-9» и «Союз-19», компоуемые в стереопару, и увеличенные до масштаба 1 : 200 000 сканерные снимки со спутника «Ландсэт» в ИК-зоне спектра, выполненные при довольно низком стоянии солнца над горизонтом (34°). Результаты предварительного дешифрирования проверялись в полевых маршрутах и при аэровизуальных наблюдениях. Использование вертолетов существенно облегчало полевую работу (на высотах до 3000 м) и проведение перспективной фототеодолитной съемки, обеспечивавшей точную инструментальную обработку снимков с подсчетом площадей и объемов сорванных со склонов масс горных пород.

Такие измерения с построением детальных карт оползневых участков велись в районе Чиркейской котловины, где после землетрясения 14 мая 1970 г. с эпицентром в районе сел. Кумторкала наблюдались оползни срыва на левом берегу р. Сулак. Два из них на короткое время перегораживали его русло, но затем были прорваны. Весь этот район находится в зоне Андийского линейамента северо-восточного простирания [Скарятин, 1976]. Оползни срыва в этом районе приурочены к пестроцветному горизонту палеоцена

¹ Раздел написан А. И. Гузиным, Ю. М. Никитиным, В. Д. Скарятиным.

(нижнефораминиферовая подсвета), сложенному зеленоватыми и красноватыми мергелями мощностью около 80 м, с прослоем размокающих известковистых глин в основании мощностью в несколько метров. Эти породы наклонены под углом 20° на северо-восток и нарушены зоной повышенной трещиноватости северо-западного направления, проследженной от Буйнакса до сел. Иха. Юго-восточнее на космических снимках с космического корабля «Союз-9» отмечен закартированный ранее разрыв. В направлениях трещин преобладают две системы — северо-западная (320°) и северо-восточная (30—60°). При сравнении результатов дешифрирования аэрофотоснимков, сделанных до землетрясения 1970 г. и после него, видно, что линии отрыва сползших масс в виде дешифрирующихся трещин существовали и до 1970 г. Крупнейший из этих оползней срыва (объемом 10^7 м³) переместился по поверхности напластования пород на 150 м в русло р. Сулак. К юго-западу от этого района, в зоне того же Андийского линейamenta в Известняковом Дагестане, наблюдается множество осыпей, оползней срыва и других проявлений новейшей и современной тектонической активности.

Одним из самых крупных линейаментов, пересекающих антиклинорий Большого Кавказа, является Джурмут-Аргунский (или Самур-Аргунский), выделенный В. Д. Скарятным при дешифрировании фотографий с космического корабля «Союз-9». В южной части он совпадает с закартированными разрывами.

Здесь, в верховьях р. Андийское Койсу, по данным аэровизуальных наблюдений и дешифрирования аэрофотоснимков фиксируется обилие оползней-срывов сейсмогенного характера. Они концентрируются по линии Самур-Аргунского линейamenta, сложены песчаниками и сланцами лейаса. Многие из них имеют современный возраст. Это подтверждается наличием в местах срыва оползневых масс подпружных участков долин, в пределах которых идет интенсивное накопление современного аллювия, и тем, что ниже оползней-срывов обычно происходит врезание реки в тело оползня. Величина подпруженных частей долин, в которых происходит интенсивное отложение материала, составляет от 0,5 до 2—4 км. В непосредственной близости от сейсмогенных оползней-срывов на водоразделах выявлены протяженные (до 2—4 км) трещины отседания и разрывы, создающие характерную ступенчатость рельефа и также, видимо, являющиеся результатом сейсмической активности в зоне линейamenta.

На космических стереоскопических фотоснимках с космического корабля «Союз-12» впервые был отдешифрирован линейамент, разделяющий области Известнякового и Сланцевого Дагестана и простирающийся в северо-западном субкавказском направлении. В долине р. Андийское Койсу от сел. Нижний Инхело и далее на юго-восток вдоль долин рек Ахвах и Карах; у сел. Андых ему соответствует закартированный разрыв.

Этому линейаменту, названному Пограничным, сопутствуют обширные обвальное-осыпные накопления глыбового характера, состоящие из пород нижнего и реже верхнего мела. Первые располагаются на своде и крыльях Хунзахской антиклинали и представлены крутыми обвальными массивами пород неокома, имеющими крупноблоковое строение. Вторые (долина р. Казикумухское Койсу у сел. Цудахар), имеющие сложное происхождение, формировались в перигляциальной обстановке, но, несомненно, с участием сейсмотектоники. В верхних частях едва ли не наибольшего в Горном Дагестане оползневого массива близ сел. Цудахар фиксируется крупноблоковое (блоки до 0,5—1 км) строение, осложненное системой крупных (длиной до 1—2 км) зияющих трещин юго-восточного простиранья.

В долине р. Акуша Пограничный линейамент совпадает с крупным сбросом и отделяет Хаджал-Махинскую антиклиналь от Акушинской синклинали. Выявляются два крупных обвальных массива сейсмогенного происхождения, подпрудивших в долину в среднем — позднем плейстоцене. Они сложены глыбовой (0,5—10 м в поперечнике) брекчией из известняков неокома, смещенных с южного крыла Хаджал-Махинской антиклинали. В настоящее время в долине р. Акуша на значительном протяжении фиксируются озерные отложения, связанные с подпруживанием долины обвальными массивами.

Перпендикулярно Пограничному протягивается слабо дешифрирующийся Аварско-Сулакский линейамент северо-восточного простиранья. К нему приурочен значительный оползень на восточном склоне плато Бегли у сел. Унцукуль. Обвальное-оползневые накопления представлены здесь цементированной карбонатной брекчией из пород верхнего мела, имеющей плащеобразное залегание по эрозионному рельефу на коренных породах. Размеры слагающих брекчию обломков и глыб составляют от 0,1—0,2 до 1—2 м в поперечнике. Видимая мощность обвальное-осыпных накоплений достигает 100 м и более.

Детальное оползневое прогнозирование. В задачу детального оползневого прогнозирования входит определение оползневой опасности конкретных склонов. При этом

возникают проблемы, относящиеся как к бессрочному, так и к долговременному и краткосрочному прогнозам. Бессрочное прогнозирование заключается в расчете вероятностей возникновения оползней определенных типов на фиксированных склонах. Решение этих задач проводится в рамках общей методики геологического прогнозирования математическими методами (см. часть первую, гл. 2).

Предположим, что в распоряжении исследователя имеется доброкачественный геологический материал, объективно отражающий как пространственные особенности распределения оползней различных типов, так и распределение информативных признаков по площади. На основании этого материала строятся матрицы t_{ij} и t_{ij}^* . Первая из них строится отдельно для каждого из типов оползней. Каждый столбец матриц t_{ij} и t_{ij}^* соответствует определенному значению u_i^k признака U , а каждая строка — одной натурной реализации. Наиболее крупные оползни захватывают склоны с разнородными геологическими характеристиками, в связи с чем мы прибегаем к своеобразному «матрицированию»: в матрице для крупных оползней записываем столько строк, сколько наборов изображений реализуется в пределах конкретного оползня на склоне. Матрица t_{ij} обычно содержит 40—50 строк. Матрица t_{ij}^* формируется путем случайного выбора точек на площади обучения и определения значений признаков в этой случайной точке. Матрица содержит не менее 200—300 строк.

Оползневой диагноз конкретных склонов требует знания априорных вероятностей оползней типа K на территории анализируемого склона и в его окрестностях. Как показано выше, такую информацию мы получаем в результате среднемасштабного оползневой прогнозировании. В тех случаях, когда среднемасштабные работы предварительно не проведены, следует изучить особенности оползневых процессов на квадрате или круге площадью 16 км² (оптимальная площадь, полученная экспериментально), в центре которого находится интересующий нас склон. Рассчитав для этой территории повторяемость оползней различных типов, мы можем приступить к процедурам прогноза и диагноза (см. часть первую, гл. 2).

Наиболее широко методы дистанционного зондирования используются на первой стадии прогнозных работ, а именно на стадии обучения, когда на достаточно обширной площади необходимо получить информацию об особенностях инженерно-геологической обстановки при условии реализации оползней определенных типов и при случайной выборке инженерно-геологических условий на склонах. Здесь предполагается сплошное дешифрирование оползней на всей территории обучения, а также применение аэрофотоматериалов при формировании косвенного изображения склона. Точно так же расчет повторяемости оползней на площади элементарной ячейки, к которой принадлежит анализируемый склон, возможен только на основании дешифрирования материалов дистанционного зондирования различных масштабов.

Краткосрочное прогнозирование. Изучение оползневых процессов для целей среднемасштабного и детального оползневой прогнозирования предполагает широкое использование комплекса материалов дистанционного зондирования различного масштаба. Методика этих исследований в настоящее время достаточно хорошо разработана и внедрена в практику. Что же касается краткосрочного прогнозирования оползней, то сейчас можно говорить лишь о перспективах и возможных направлениях применения дистанционных методов в этой области.

Возможность любого краткосрочного предсказания основывается либо на скрытой или явной периодичности самого процесса, либо на исследовании временного хода некоторого легко наблюдаемого параметра, с которым интересующее нас явление связано корреляционной зависимостью. Изучению скрытой периодичности оползневых процессов в связи с солнечной активностью посвящены работы А. И. Шеко, В. В. Кюнтцеля. Однако поскольку само прогнозирование солнечной активности осуществляется с малой надежностью, то и краткосрочный прогноз, основанный на связи оползневой и солнечной активностей, пока что не может считаться достаточно надежным. Нам представляется, что прогресс среднемасштабного краткосрочного оползневой прогнозирования связан с разработкой и применением специальной аппаратуры дистанционного зондирования, позволяющей следить за изменением, например, влажности горных масс. Оперативное слежение за влажностью горных масс возможно в случае организации системы ИК- и СВЧ-съемки и измерений в режиме патрулирования. Можно полагать, что выявление регионов, находящихся в состоянии предоползневой активности, целесообразно осуществлять на основании спутниковой информации с низкой разрешающей способностью. Более детальные исследования будут проводиться только в оползнеопасных районах в конкретный интервал времени.

НЕОТЕКТОНИКА И МОРФОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПРИОКЕАНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ

МОРФОТЕКТОНИКА И КАЙНОЗОЙСКАЯ ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МАТЕРИКОВЫХ ПОБЕРЕЖИЙ ОХОТСКОГО И ЯПОНСКОГО МОРЕЙ

Материковое побережье вместе с шельфом и подводным континентальным склоном образует переходную зону от материковой суши к впадинам краевых морей. Геолого-геоморфологическое строение и история формирования этой своеобразной мегаморфоструктуры, тесно связанной в своем развитии как с континентом, так и с океаном, во многом еще неясны и до настоящего времени являются предметом оживленных дискуссий. В последние годы на Дальнем Востоке проведены комплексные морфоструктурные исследования, которые привели к существенно новым выводам о строении и основных особенностях становления современного морфоструктурного плана окраины континента.

Без преувеличения можно сказать, что решающую роль в этих работах сыграли космические снимки территории. Благодаря им не только выявлены новые, неизвестные ранее особенности региональной морфоструктуры (например, установлено широкое развитие разнопорядковых морфоструктур центрального типа и трансрегиональных разломных зон), но и создана основа для морфоструктурного районирования и картирования с новых позиций, учитывающих иерархическую соподчиненность всей системы разнопорядковых и генетически разнородных морфоструктур Дальнего Востока. Для морфоструктурного дешифрирования были использованы космические снимки разных масштабов и различного качества — от сверхмелко- и мелкомасштабных сканерных изображений со спутников «Метеор» до мелко- и среднемасштабных черно-белых, цветных и мультиспектральных фотоснимков более высокого разрешения.

Новое направление в развитии представлений о морфоструктуре Дальнего Востока связано с выделением [Золотов, 1976, Соловьев, 1978] гигантских морфоструктур центрального типа, наиболее крупные из которых достигают 1500—2000 км и больше в диаметре. Для них характерно радиально-концентрическое расположение основных геолого-тектонических элементов: дуговых и линейных глубинных разломов, магматических, складчатых и рудных поясов и зон и т. д. Дальнейшие исследования [Кулаков, 1978, 1979, 1980] позволили установить, что в пределах восточной окраины материка располагается серия таких морфоструктур (рис. 62). Они хорошо выделяются на мелкомасштабных космических снимках со спутников системы «Метеор» (рис. 63—66), на мелкомасштабных топографических и геологических картах и подтверждаются имеющимися геолого-геофизическими материалами. В региональном плане их можно рассматривать, очевидно, как морфоструктуры первого порядка (мегаморфоструктуры), так как они организуют и контролируют сложную систему морфоструктур низшего порядка и играют определяющую роль в формировании морфоструктурного плана крупных районов материкового побережья. В то же время по отношению к планетарной морфоструктуре Тихого океана они являются морфоструктурами второго-третьего порядка.

Морфологический облик и геологическое строение каждой из упомянутых мегаморфоструктур достаточно специфичны. Вместе с тем выявлены некоторые общие для них особенности строения и развития, свидетельствующие о значительном сходстве мегаморфоструктур. Прежде всего при унаследованности от весьма древних, нередко докембрийских образований, выразившейся в неоднократной тектоно-магматической активизации одних и тех же линий и зон [Геология СССР, 1970, Золотов, 1976, Шило, Умитбаев, 1977, Соловьев, 1978, и др.], морфоструктуры уверенно дешифрируются на космических снимках по рельефу и геологии. К дешифрируемым образованиям относятся протяженные системы дуговых (концентрических) разломов, определяющие не только границы мегаморфоструктур, но и пространственное положение большинства низкорядковых морфоструктур в их пределах, рисунок гидросети, рельеф и другие элементы инфраструктуры. Крупным морфоструктурам, судя по имеющимся геолого-геофизическим материалам [Геология СССР, 1966, 1969, 1970, Глубинное, 1976, Золотов, 1976, Строение, 1976, Белый, 1977, 1978, Шило, Умитбаев, 1977, Ичетовкин, 1978, и др.], отвечают характерные особенности современного строения в нижних горизонтах земной коры и в верхней мантии.

Плоскости разломов наклонены, как правило, к центру мегаморфоструктур, и, следовательно, последние имеют форму конуса, которая весьма характерна для геологических тел в условиях Земли [Шафрановский, 1968].

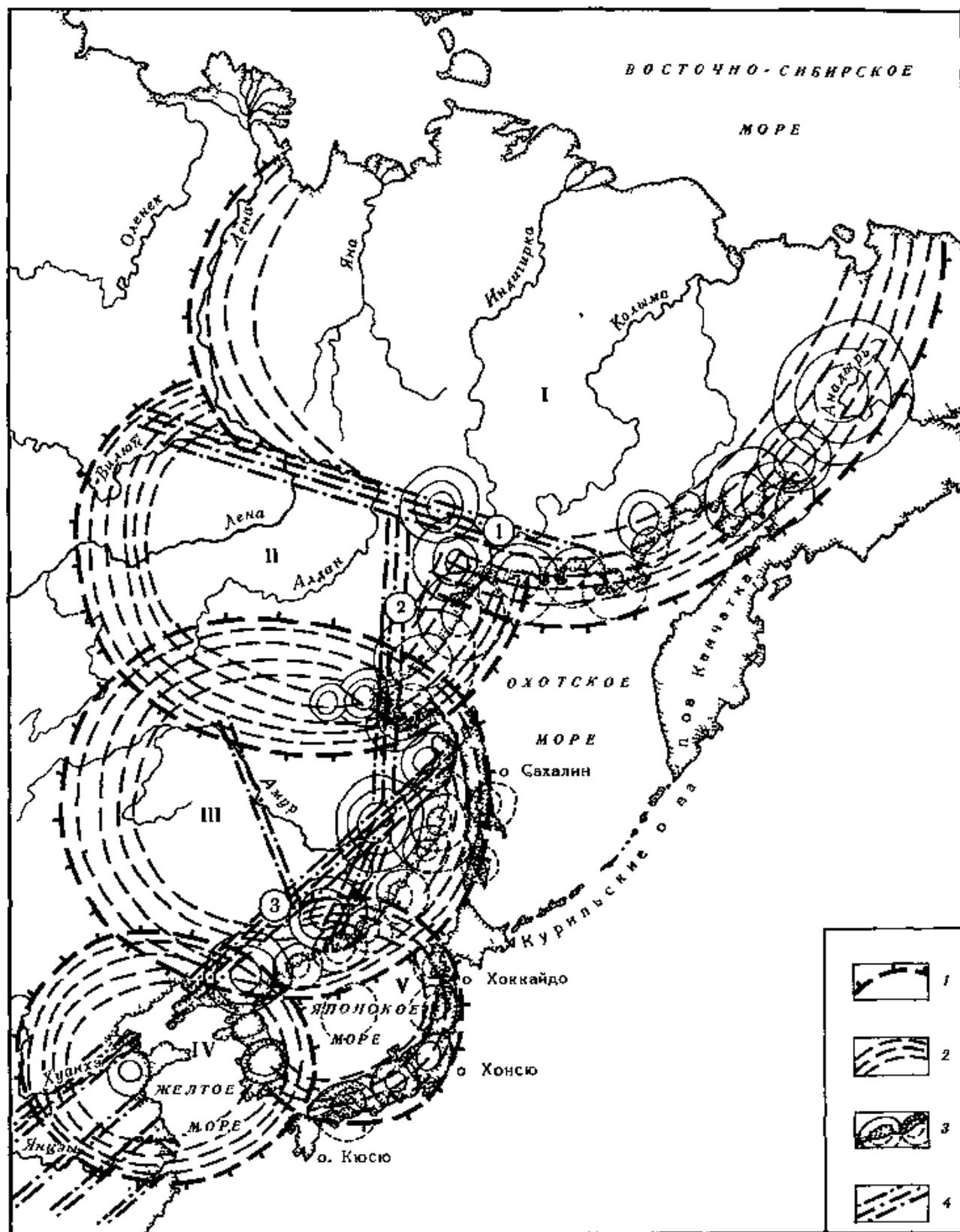


Рис 62 Схема основных морфоструктур материкового побережья Дальнего Востока

1 — граница окраинно материковых мегаструктур (морфоструктур центрального типа I по рядка), 2 — дуговые глубинные разломы окраин мегаструктур, 3 — морфоструктуры центрального типа (II—III порядка) на побережье и их предполагаемое продолжение на морском дне, 4 — трансрегиональные зоны разломов. Окраинно материковые мегаструктуры I — Яно Колымская, II — Алданская, III — Амурская, IV — Корейская, V — Япономорская. Основные зоны разломов (цифры в кружках) 1 — Алдано Охотская, 2 — Сетте Дабанская, Приамурская, 3 — Амуро Сунгарийская.

Дуговые глубинные разломы мегаморфоструктур определяют также «генеральный» контур современной береговой линии материка. Так, очертания северного берега Охотского моря (от Пенжинской губы до г. Охотска) контролируются дуговыми разломами южной окраины Яно Колымской мегаморфоструктуры, а северо-западного берега (от г. Охотска до Удской губы) — разломами юго-восточного сегмента Алданской мегаморфоструктуры. Далее к югу, вплоть до зал. Петра Великого в Японском море, дугообразный контур берега определяется разломами Амурской мегаморфоструктуры. По дуговым разломам Корейской мегаморфоструктуры выработаны западный и восточный берега п ова Корея. Круговые очертания впадины Японского моря, особенно островной ее окраины, совпадают с дуговыми разломами Япономорской мегаморфоструктуры.

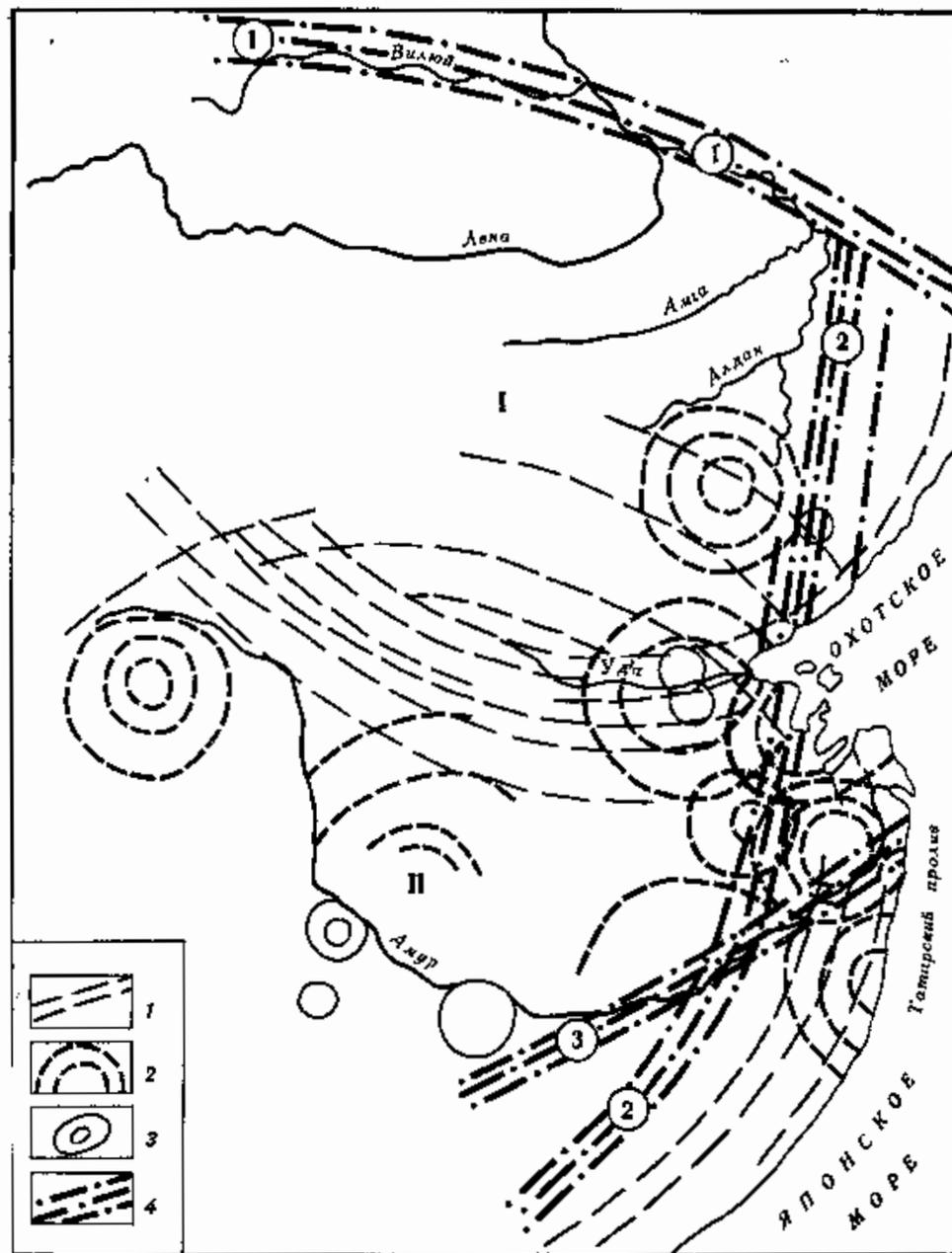
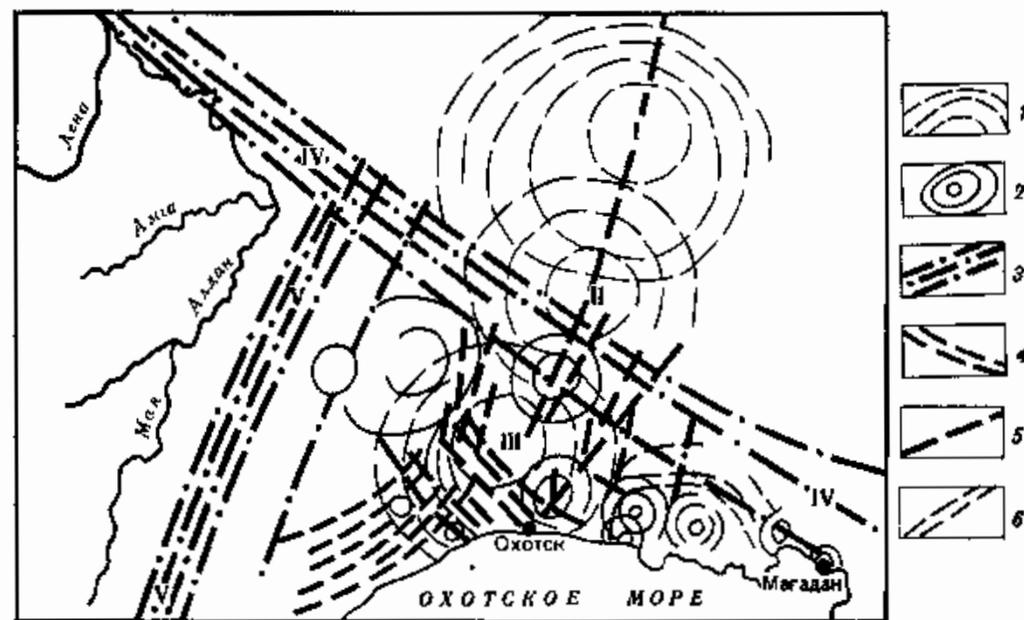


Рис. 63. Схема дешифрирования космического снимка юга Дальнего Востока, полученного со спутника «Метеор-25»

1 — дуговые глубинные разломы, охватывающие мегаструктуры; 2 — морфоструктуры центрального типа II порядка; 3 — то же, III порядка; 4 — линейные зоны трансрегиональных глубинных разломов (цифры в кружках): 1 — Алдаио-Охотская, 2 — Сетте-Дабанская—Приамурская, 3 — Амуро-Сунгарийская. Мегаструктуры: I — Алданская, II — Амурская

Рис. 64. Схема дешифрирования космических изображений Северного Приохотья, полученных со спутника «Метеор-25»

1, 2 — морфоструктуры центрального типа: 1 — II порядка, 2 — III—V порядков; 3 — трансрегиональные разломные зоны; 4 — дуговые глубинные разломы, охватывающие Яно-Колымскую и Алдакскую мегаструктуры; 5 — крупные линейные разломы; 6 — прочие дуговые и линейные разломы. Морфоструктуры II порядка: I — Нерская; II — Куйдусунская, III — Кухтуйская. Трансрегиональные зоны глубинных разломов: IV — Алдаио-Охотская, V — Сетте-Дабанская



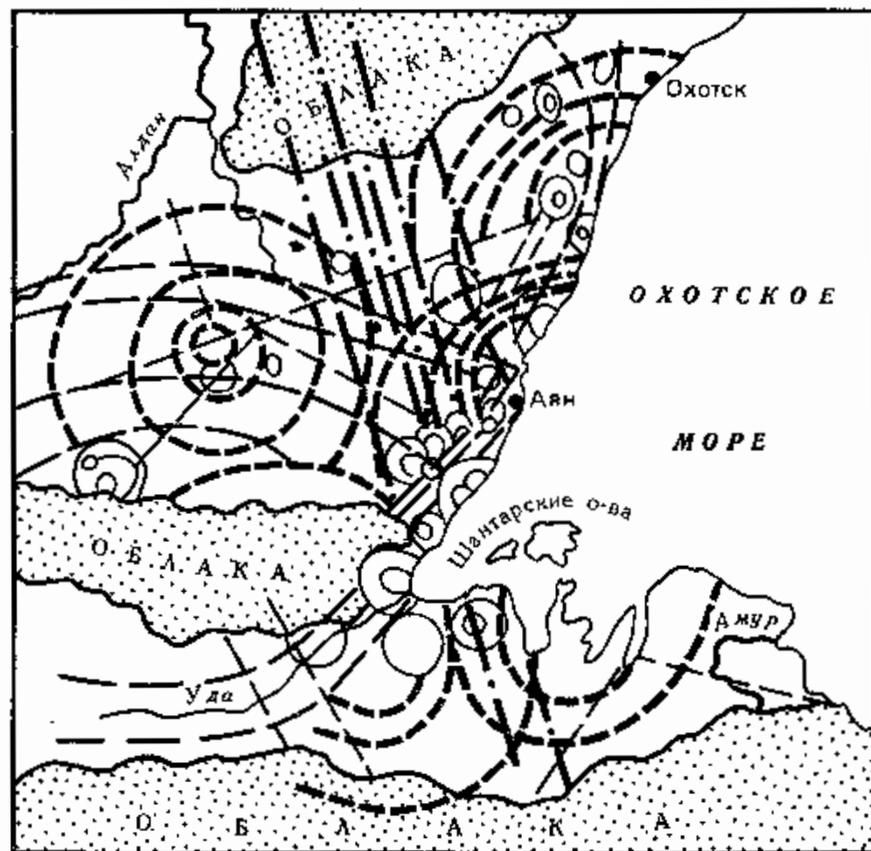


Рис. 65. Схема дешифрирования космического изображения Северо-Западного Прихохотья, полученного со спутника «Метеор-25»

1 — трансрегиональные дуговые глубинные разломы, околтуривающие Алданскую и Амурскую мегаструктуры; 2 — морфоструктуры центрального типа II порядка; 3 — то же, III—V порядков; 4 — Сетте-Дабанская—Приамурская зона глубинных разломов субмеридионального простирания; 5 — прочие разломы

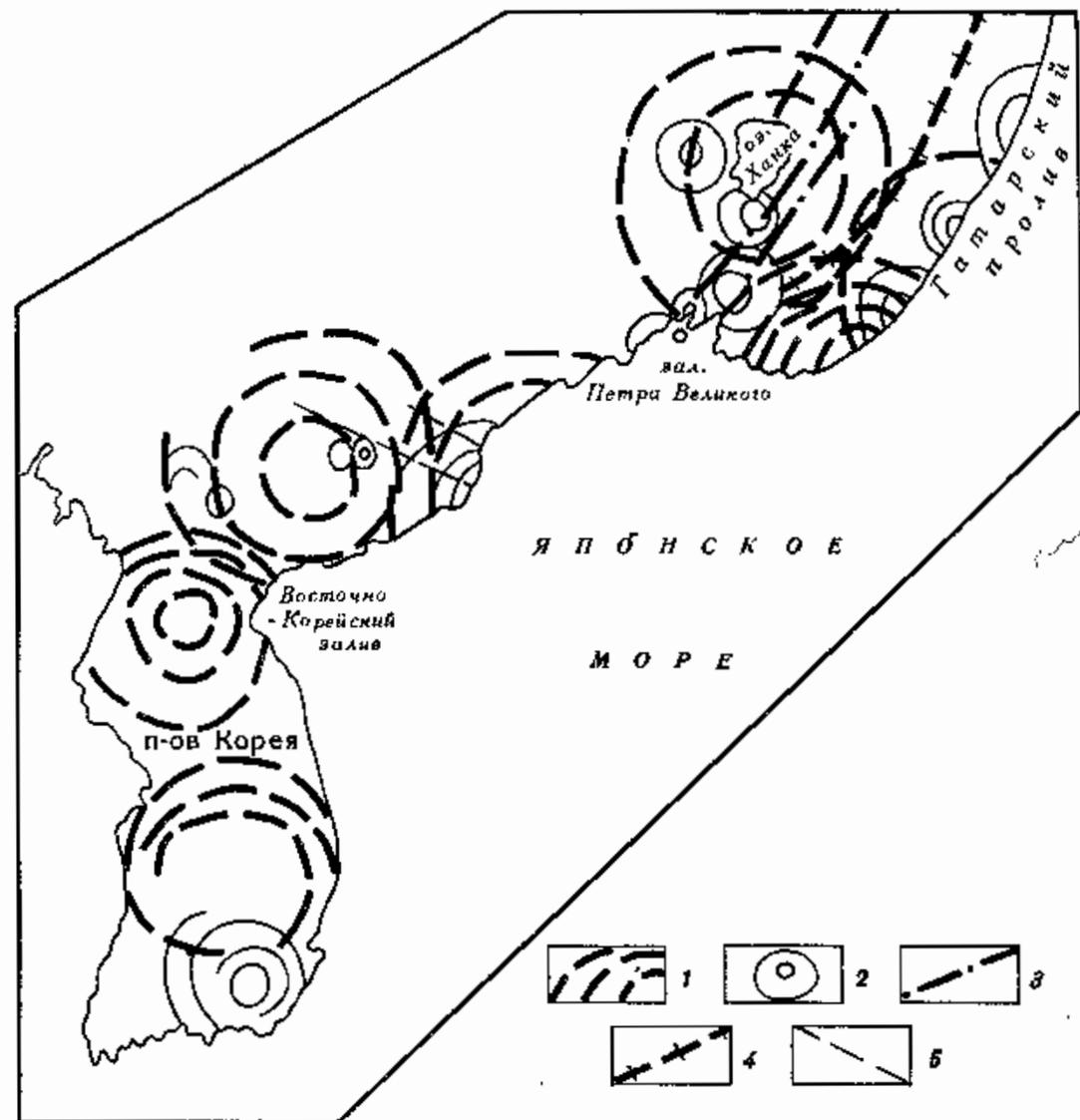


Рис. 66. Схема дешифрирования космических изображений материкового побережья Японского моря, полученных со спутника «Метеор-25»

1, 2 — морфоструктуры центрального типа: 1—II порядка, 2 — III—V порядков, 3 — Сетте-Дабанская—Приамурская зона разломов, 4 — дуговые глубинные разломы Амурской мегаструктуры, 5 — прочие разломы

Некоторые из них, например Южно-Приморский разлом, установлены морскими геолого-геофизическими работами у подножия континента.

В целом для всех мегаморфоструктур Дальнего Востока характерна приуроченность максимальных высот рельефа к периферии, а минимальных отметок — к центральной части. «Кольцевой» облик мегаморфоструктур является, по-видимому, следствием глубинных геологических процессов, происходящих в земной коре и в мантии. Вероятно, можно говорить о значительно большей интенсивности восходящих тектонических движений и о повышенной тектоно-магматической активности концентрических окраин мегаморфоструктур по сравнению с центральными их районами. Последние, судя по геологическим данным, испытывали преимущественно нисходящие движения в мезозое и кайнозое и являлись главным образом областями осадконакопления.

Концентрическое строение мегаморфоструктур, обусловленное существованием «каркасной» системы дуговых глубинных разломов, сохраняется вплоть до настоящего времени. Вместе с тем часто наблюдаются довольно существенные нарушения «первичного» рисунка, связанные, очевидно, с процессами тектоно-магматической активизации. Значительную роль здесь сыграли горизонтальные движения, характерные для всей восточной окраины Евразии [Уткин, 1980]. Так, Яно-Колымская мегаморфоструктура «надвинута» на северную окраину Алданской мегаморфоструктуры, отмечены [Кириллова, Турбин, 1979; Геология СССР, 1966, 1969; и др.] крупные смещения по разломам Монголо-Охотской зоны, в Сихотэ-Алине и других районах. Существенное преобразование в кайнозойское время претерпели окраины мегаморфоструктур, обращенные к впадинам Охотского и Японского морей.

Помимо мегаморфоструктур центрального типа, на мелкомасштабных космических снимках со спутников серии «Метеор» хорошо выделяются трансрегиональные разломные зоны протяженностью до 2000—3000 км (см. рис. 63—66). Таков, например, Алдано-Охотский линеймент субширотного простирания, шириной около 80—100 км [Ян-Жин-Шин и др., 1978], выходящий к северному берегу Охотского моря в районе полуостровов Кони—Пьягина. Амуро-Сунгарийская разломная зона прослеживается от нижнего течения р. Хуанхэ через Северо-Восточный Китай, вдоль долины Амура к Амурскому лиману и Татарскому проливу и далее к о-ву Сахалин. Космические снимки позволили также высказать предположение о том, что Сетте-Дабанская зона меридиональных глубинных разломов, известная в Северо-Западном Приохотье, продолжается далее на юг, в пределы Приамурья, образуя крупнейший на Дальнем Востоке Сетте-Дабанский — Приамурский линеймент, выходящий к берегу Японского моря в районе Владивостока и, очевидно, протягивающийся в том же направлении по окраине морской впадины. Эти и ряд других менее крупных разломных зон выявлены на Дальнем Востоке впервые. На материковом побережье с ними обычно связаны линейно-мозаичные системы разнопорядковых блоков (горстов и грабенов), а также глубоко изрезанные берега рiasового типа (например, к югу от Шантарских островов в Охотском море и северо-западные берега зал. Петра Великого в Японском).

Дешифрирование космических фотоснимков более крупного масштаба позволило составить более полное представление о морфоструктуре различных районов материкового побережья. Схемы дешифрирования космических снимков и морфоструктурные схемы (рис. 67) показывают, что наиболее важными элементами прибрежной морфоструктуры являются зоны дуговых глубинных разломов мегаморфоструктур и поперечные к ним системы разломов, а также разнопорядковые морфоструктуры центрального типа. Среди последних впервые были выявлены своеобразные морфоструктуры диаметром в несколько сот километров, как бы разрезанные пополам современной береговой линией и уходящие под уровень моря [Кулаков, 1978, 1979, 1980].

Эти так называемые полукольцевые морфоструктуры являются обязательным элементом морфоструктурного плана материкового побережья. Они пространственно и генетически связаны с окраинно-материковыми вулканическими поясами — Охотско-Чукотским, Удским, Восточно-Сихотэ-Алинским — и поэтому наиболее четко выражены на северном и северо-западном побережьях Охотского моря и по восточному побережью Сихотэ-Алиня. На космических снимках они выделяются прежде всего по системам дуговых разломов, которые хорошо дешифрируются по рисунку речной сети и линейно-дугобразному строению рельефа в таких зонах, а в некоторых случаях — по более светлому фототону, обусловленному, по-видимому, широким развитием измененных пород.

«Полукольцевые» морфоструктуры обычно имеют весьма сложное строение, так как охватывают территорию, выходящую далеко за пределы вулканических поясов. Чаще всего это настоящие кольцевые структуры с вулкано-тектонической депрессией в центре

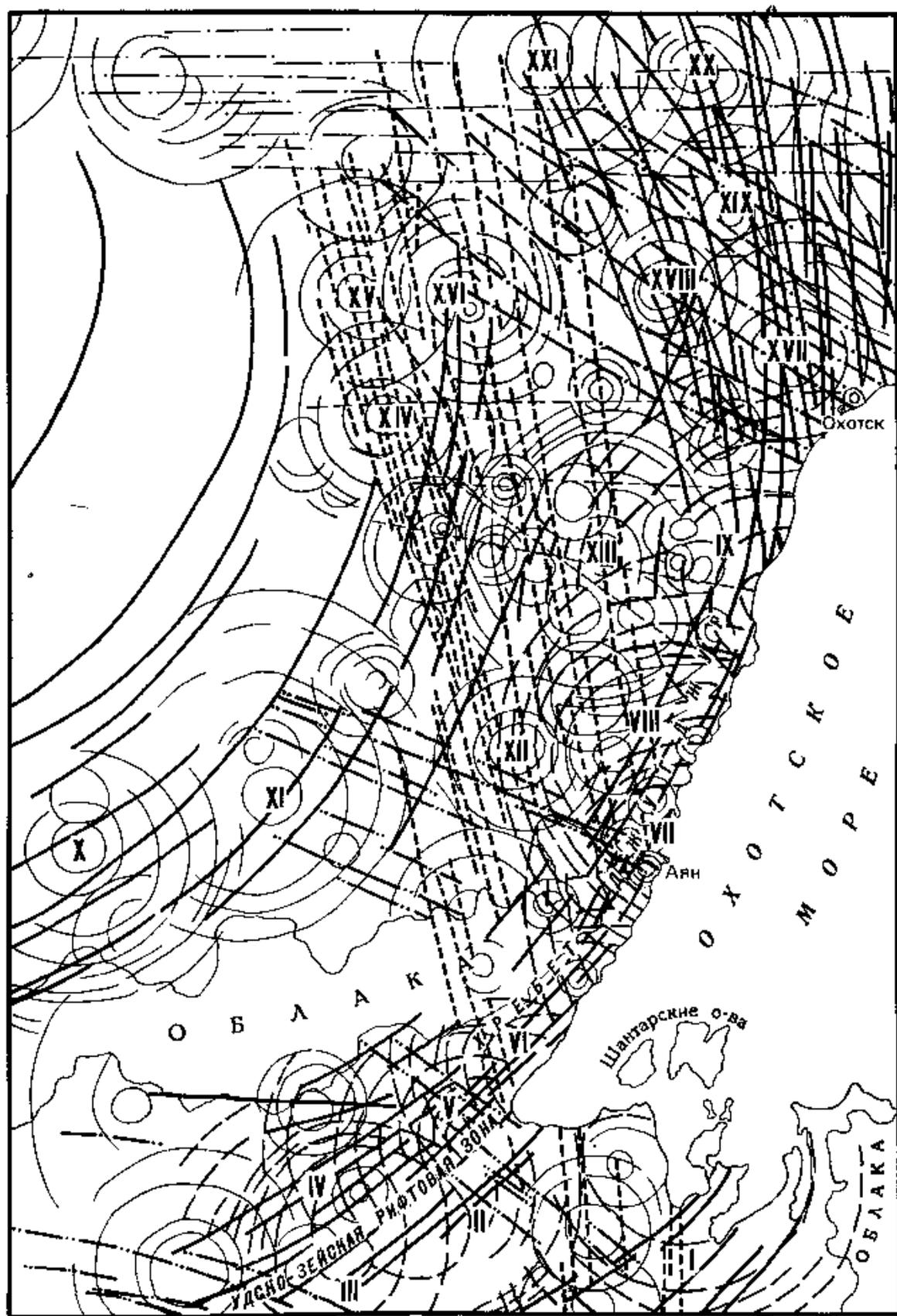


Рис. 67. Схема дешифрирования космического изображения Северо-Западного Приохотья, полученного со спутника «Метеор-29»

1—3 — дуговые глубинные разломы материковых мегаморфоструктур центрального типа: 1 — Алдано-Колымской, 2 — Яно-Колымской, 3 — Амурской, 4 — «полукольцевые» морфоструктуры материкового побережья: I — Шантарская, II — Тайкинская, III — Нимийская, IV — Чогарская, V — Чумиканская, VI — Желонская, VII — Аянская, VIII — Этанджинская, IX — Ульинская, 5 — морфоструктуры центрального типа II—V порядков: X — Усурская, XI — Омнинская, XII — Нельканская, XIII — Верхнеамурская, XIV — Иныкчанская, XV — Хандинская, XVI — Аллах-Юньская, XVII — Кухтуйская, XVIII — Верхнеохотская, XIX — Ульбейская, XX — Куйдусунская, XXI — Агаяканская, 6 — глубинные разломы Сетге-Дабанского линеймента; 7 — глубинные разломы Алдано-Охотской разломной зоны, 8 — прочие разломы

(которая иногда может быть перекompенсированно выполнена довольно мощными толщами вулканогенных образований), окруженной концентрической системой разломно-глыбовых хребтов и впадин. Таковы, например, многие морфоструктуры северного побережья Сихотэ-Алиня. Меньше распространены морфоструктуры с центральным куполом, формирование которого связано с крупными интрузиями гранитов.

Приуроченность «полукольцевых» морфоструктур к окраинно-материковым вулканическим поясам не случайна. Последние заложены, как известно [Золотов, 1976; Белый,

1977, 1978; Шило, Умитбаев, 1977; Соловьев, 1978; и др.], по системам дуговых глубинных разломов, оконтуривающих материковые мегаморфоструктуры, и являются зонами повышенной тектоно-магматической активности и высокой проницаемости земной коры. Поэтому очевидна пространственно-генетическая связь «полукольцевых» морфоструктур и вулканических поясов. Это подтверждается также едиными для тех и других образований конформными геологическими комплексами.

В то же время главные черты геологического и геоморфологического строения побережий определяются более высокопорядковыми элементами региональной морфоструктуры — системами трансрегиональных глубинных разломов материковых мегаморфоструктур. «Полукольцевые» морфоструктуры являются здесь наложенными и явно более молодыми образованиями, которые, конечно, несколько изменили более древний морфоструктурный план побережья, но все же не смогли преобразовать его существенно.

Открытие на материковом побережье «полукольцевых» морфоструктур свидетельствует о более значительном, чем предполагалось ранее, воздействии вулканических поясов на морфоструктуру и, очевидно, металлогению окраины континента. «Полукольцевые» морфоструктуры продолжают под уровнем моря в области шельфа, подводного континентального склона, а в некоторых случаях (например, в Японском море) захватывают, возможно, подножие материка и частично глубоководную впадину. Учитывая концентрическое строение морфоструктур, можно более уверенно проводить геолого-геофизические и поисковые работы в пределах подводной окраины континента.

Помимо «полукольцевых» морфоструктур, на космических снимках материкового побережья выявлена серия разнопорядковых морфоструктур центрального типа диаметром от первых километров до нескольких десятков и сотен километров. Можно выделить не менее 10-15 различных генетических типов таких морфоструктур. Для большинства из них установлена приуроченность к зонам пересечения региональных и трансрегиональных разломов, причем наблюдается достаточно четкое соответствие размерности разломных и концентрических морфоструктур. Возраст последних колеблется в довольно широких пределах — от архея-протерозоя до позднего мезозоя-раннего кайнозоя. Это подтверждается соответствующими конформными комплексами пород.

Наибольший интерес как в морфоструктурном, так и в металлогеническом отношении представляют, по-видимому, концентрические морфоструктуры зон сочленения материковых мегаморфоструктур. Эти зоны, где пересекаются дуговые глубинные разломы различных направлений, отличаются повышенной раздробленностью и проницаемостью земной коры, древностью заложения и неоднократной тектоно-магматической активизацией. Поэтому выявленные здесь концентрические морфоструктуры являются, вероятно, весьма перспективными объектами для постановки детальных геологопоисковых работ. Такова, например, зона сочленения Яно-Колымской и Алданской мегаморфоструктур, хорошо выделяющаяся на космических снимках. Примечательно, что в ее пределах Охотско-Чукотский вулканический пояс своеобразным «заливом» вдается в глубь материка, подчеркивая тем самым высокую раздробленность и проницаемость земной коры этого района (см. рис. 67).

Концентрические морфоструктуры района сочленения Алданской и Амурской мегаморфоструктур, опирающиеся на Удско-Зейскую рифтовую зону, отличаются тем, что они как бы разрезаны этой зоной, и выделяющиеся по право- и левобережью р. Уды «полукольца» не совмещаются (см. рис. 67). Такое явление обусловлено, вероятно, значительными сдвигами, установленными [Кириллова, Турбин, 1979; и др.] для Удско-Зейских глубинных разломов.

В зоне сочленения Амурской и Корейской мегаморфоструктур располагается Амноканская концентрическая морфоструктура диаметром 500 км (см. рис. 66), формирование которой произошло, вероятно, в мезозойское время (скорее всего, в юре — мелу), а неоднократная тектоно-магматическая активизация продолжалась вплоть до антропогена. В настоящее время это крупное сводово-глыбовое поднятие, восточная окраина которого уходит под воды Японского моря.

Анализ разномасштабных космических снимков, составленных на их основе морфоструктурных карт и схем и имеющихся геолого-геоморфологических материалов о строении надводной и подводной окраины континента приводит к выводу о том, что в позднем мезозое — кайнозое произошли существенные изменения в морфоструктурном облике региона, обусловленные главным образом тектоническим погружением и расширением сопредельных с материком морских впадин. Дуговые глубинные разломы материковых мегаморфоструктур и «полукольцевые» морфоструктуры побережий продолжают под

уровень моря, что подтверждается морскими геофизическими работами последних лет [Васильковский, Ковылиц, 1973; Карп и др., 1974; Глубинное..., 1976; Строев..., 1976; Гнибиденко, 1977; и др.], проведенными на акваториях Охотского и Японского морей.

«Полукольцевые» морфоструктуры, которые в период своего формирования характеризовались, в соответствии с принципом геолого-геоморфологической конформности [Худяков, 1977], примерно однородным рельефом на всей своей территории, в настоящее время сохранили его только в пределах наземной части. В районах, погруженных под уровень моря, первичный рельеф или уничтожен, или существенно преобразован. На побережье материка широко развиты сформированные в кайнозойе прибрежные зоны растяжения, для которых характерны преимущественно континентальные рыхлые отложения мощностью до нескольких сот метров и более. Эти зоны, а также некоторые морфоструктуры, например Килчжу-Менчхонский грабен на северо-востоке п-ова Корея, мощность кайнозойских образований в котором превышает 2000 м [Геология Кореи, 1964], свидетельствуют об унаследованном тектоническом погружении окраины континента под уровень морских вод. Данные морских геолого-геофизических и геоморфологических исследований хорошо согласуются с материалами наземных работ.

Руководствуясь рисунком дуговых глубинных разломов, ограничивающих материковые мегаморфоструктуры и «полукольцевые» морфоструктуры побережья, и используя имеющиеся геолого-геоморфологические данные, можно наметить «первичные» контуры материковых мегаморфоструктур. Границы их проходят, по-видимому, не менее чем в 200–250 км восточнее современной береговой линии, так что Амурская мегаморфоструктура включает о-в Сахалин и значительную часть глубоководной котловины Японского моря. Становление современного морфоструктурного плана материкового побережья происходило в позднемезозойское-кайнозойское время и было обусловлено, по-видимому, двумя противоположными по направленности процессами — прогибанием и расширением морских впадин и общим тектоническим воздыманием континента с интеграцией морфоструктур и тектонических движений в его пределах [Худяков, 1972, 1977].

Современный геоморфологический облик материкового побережья и морских берегов континента — результат длительного и сложного геологического их развития, начавшегося значительно раньше не только антропогена, но и кайнозоя.

В антропогене выработка современных очертаний береговой линии материка происходила на фоне продолжавшегося регионального тектонического погружения окраины континента, небольших дифференцированных движений разнопорядковых морфоструктур и гляциоэвстатических колебаний уровня океана. Последние действовали особенно интенсивно и осуществляли абразионно-аккумулятивное выравнивание погружавшейся суши. Поэтому очертания береговой линии материка в начале антропогена значительно отличались от современных. Особенно это характерно для охотоморского побережья. На побережье Японского моря, где шельф преимущественно узкий и крутой, берег моря в начале антропогена находился в целом довольно близко к современному и существенных изменений в его очертаниях (за исключением зал. Петра Великого и некоторых других участков) не произошло.

Сравнительно невысокая интенсивность тектонических движений разнопорядковых прибрежных морфоструктур в антропогене позволяет сделать вывод об относительной тектонической стабильности современной морской окраины континента. Вместе с тем в последние годы на северных и северо-западных берегах Охотского моря и на побережье Сихотэ-Алиня были обнаружены [Онухов, Уфимцев, 1974; Кулаков, 1978, 1979, 1980] палеосейсмогенные структуры (сбросо-обвалы, тектонические рвы, зоны ультрамилолитов и т. п.), которые свидетельствуют, как известно [Живая..., 1966; Сейсмотектоника..., 1968; и др.], о высокой сейсмической активности территории и о возможности проявления здесь сильных землетрясений (интенсивностью от 8 баллов и выше).

Палеосейсмодислокации на берегах материка приурочены прежде всего к зонам дуговых глубинных разломов мегаморфоструктур. Так, район Станового хребта и система хребтов Янкан—Тукурингра, известные высокой сейсмической активностью [Николаев и др., 1978; и др.], располагаются в зоне стыка дуговых разломов окраин Амурской и Алданской мегаморфоструктур. Далее на восток эта же система дуговых разломов контролирует очертания берегов Охотского моря и Татарского пролива, где установлено широкое развитие сейсмодислокаций. Поэтому потенциально сейсмичными являются, вероятно, все зоны трансрегиональных окраинно-материковых дуговых разломов, а максимальные проявления сейсмичности будут, по-видимому, приурочены к наиболее благоприятным для этого участкам, прежде всего к зонам сочленения высокопорядковых

морфоструктур с контрастными движениями и высокой тектоно-магматической активностью в кайнозое. Космические снимки и построенные на их основе морфоструктурные карты и схемы могут помочь в довольно короткий срок выявить наиболее опасные в сейсмическом отношении регионы и тем самым способствовать решению этой важной в народнохозяйственном отношении проблемы.

Изложенные в этом разделе материалы затрагивают лишь часть из множества вопросов и проблем теоретического и прикладного значения, которые возникли при исследовании окраинно-материковой морфоструктуры.

МОРФОСТРУКТУРЫ МОЛОДЫХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ КАМЧАТКИ

Своеобразие морфотектонического строения Камчатки определяется ее геотектонической позицией в месте торцового сочленения Курильской и Алеутской островодужных систем при более активном влиянии первой. Вулканогенные и тектоногенные морфоструктуры, сформированные на полуострове, продолжают в северо-восточном направлении структуры Курильской гряды. Однако в отличие от унаследованного, по крайней мере с начала олигоцена, пространственно закрепленного вулканизма в Большой Курильской вулканической цепи на Камчатке произошло расщепление, пространственное разделение оли-

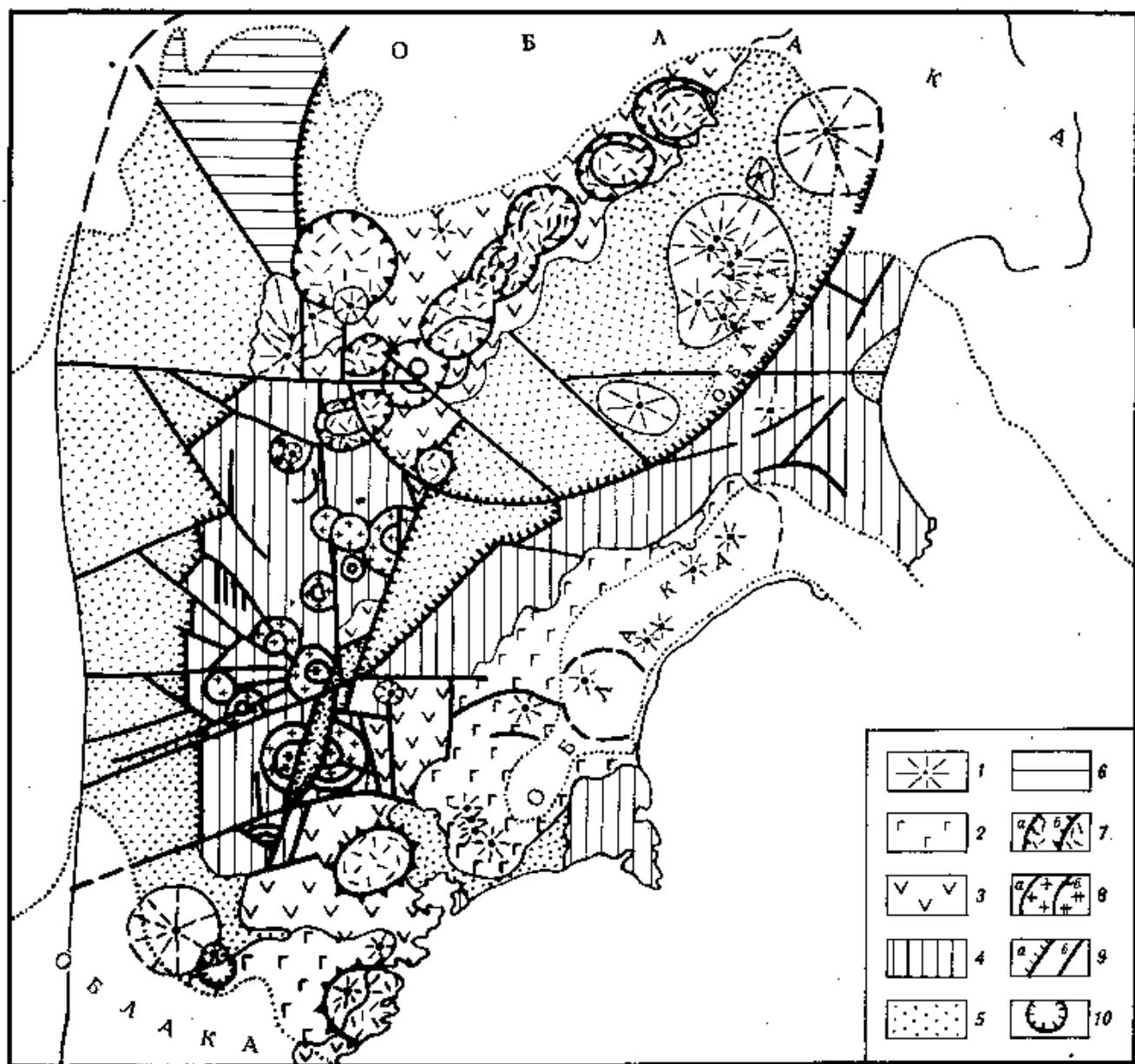


Рис. 68. Схема дешифрирования космического изображения, полученного со спутника «Метеор-29»

1 — четвертичные щитовые вулканы и стратовулканы; 2 — вулканы Восточно-Камчатского пояса; 3 — вулканы Центрально-Камчатского пояса; 4 — докайнозойские и мел-палеогеновые комплексы в основании вулканических поясов; 5 — рыхлые и слабо консолидированные отложения в депрессиях; 6 — район разобщенных выходов пород основания в Западно-Камчатской депрессии; 7 — вулканотектонические кольцевые структуры депрессионного (а) и купольного (б) типов; 8 — магмо-тектонические кольцевые структуры; а — ядра метаморфических куполов, б — корневые части вулканотектонических структур; 9 — разрывы, ограничивающие районы блоковых поднятий (а) и прочие (б); 10 — кальдера вулкана Опала

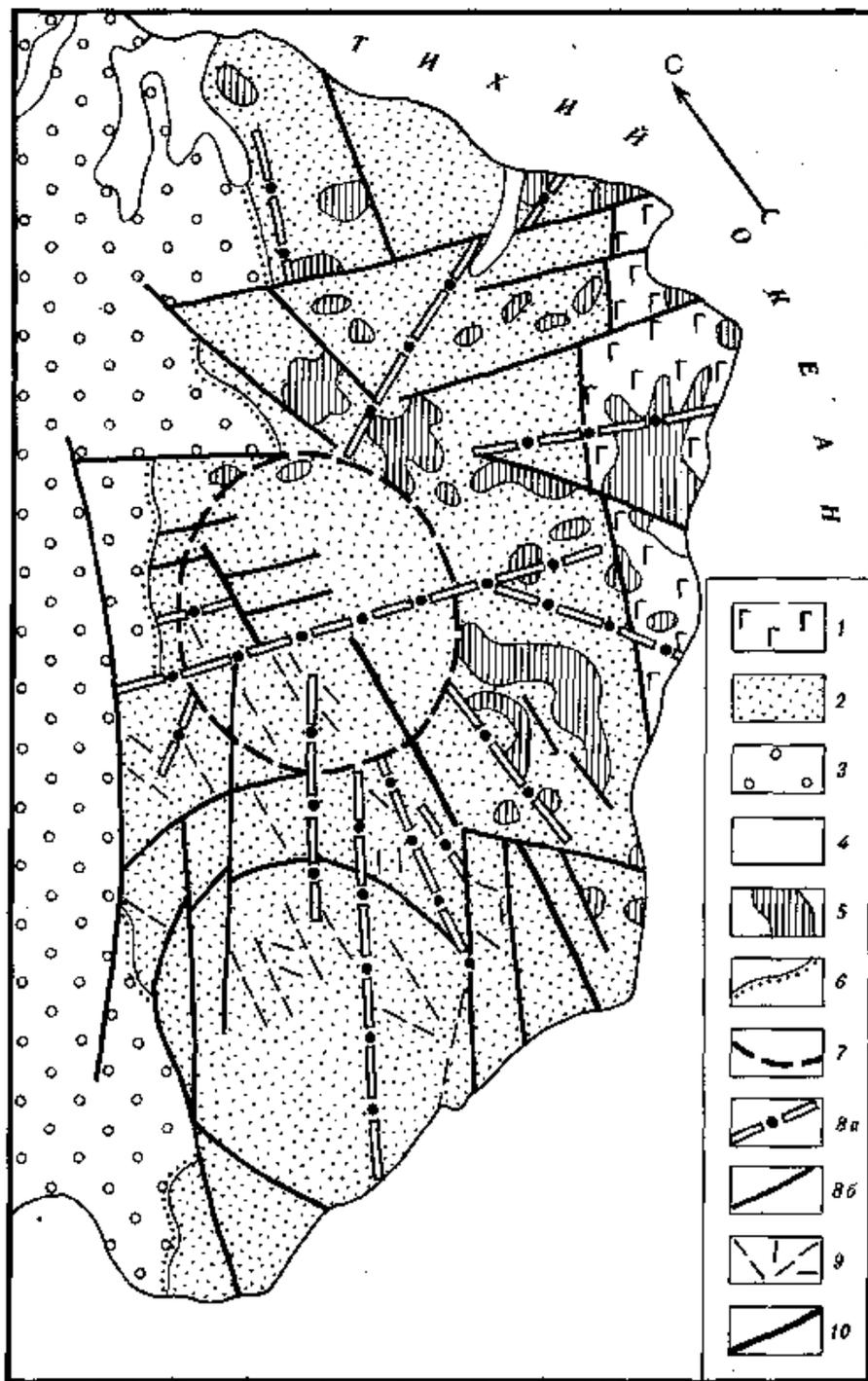


Рис. 69. Элементы блоково-купольного строения Кроноцкого полуострова по дешифрированию крупномасштабного космического снимка

1--5 — формации: 1 — меловая спилито-диабазо-сланцевая, 2 — позднемеловая — палеоценовая спилито-граувакковая, 3 — эоцен-олигоценовая флишондно-граувакковая, 4 — рыхлые четвертичные отложения, 5 — массивы базитов и ультрабазитов; 6 — граница несогласного залегания; 7 — контур кольцевой морфоструктуры по дешифрированию космического изображения со спутника «Метеор»; 8 — радиальные (а) и прочие (б) разрывы; 9 — интенсивно трещиноватые породы; 10 — граница поднятого (восточного) и опущенного (западного) блоков

гоцен-четвертичных и палеоцен-четвертичных вулканитов, слагающих соответственно Центрально- и Восточно-Камчатский пояса. Влияние Алеутской островодужной системы выразилось в широком развитии разрывов поперечного северо-западного направления. Узлы их пересечений определяют размещение кольцевых вулканотектонических структур диаметром до 60 км, являющихся основными структурными элементами разновозрастных вулканических поясов Камчатки [Апрелков, Ежов, 1978].

Кольцевые образования в пределах вулканических поясов хорошо дешифрируются на космических снимках среднего и мелкого масштабов в виде округлых аномалий рисунка и тона фотоизображения, отвечающих геоморфологическим аномалиям над вулканотектоническими структурами. Так, на снимке со спутника «Метеор-29» отчетливо выявляется цепь кольцевых морфоструктур в средней части Центрально-Камчатского вулканического пояса (рис. 68). Эти же морфоструктуры дешифрируются практически на всех мелкомасштабных космических снимках.

Кольцевые морфоструктуры вулканотектонического происхождения были выделены до поступления в наше распоряжение космических материалов, и их использование в последующем помогло уточнить расположение и контуры морфоструктур.

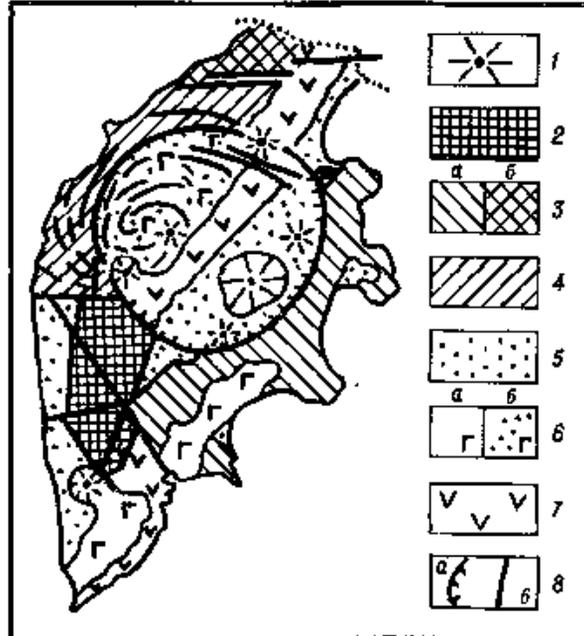


Рис. 70. Кольцевая депрессия Центральной Камчатки по космическим изображениям со спутников серии «Метеор»

1 — крупнейшие четвертичные вулканические постройки; 2 — выступы метаморфических пород; 3 — мезозойские и мел-палеогеновые комплексы Восточной Камчатки (а), меловые и палеогеновые образования Западной Камчатки (б); 4 — район близповерхностного залегания и разобщенных выходов меловых и палеогеновых пород; 5 — рыхлые отложения в депрессиях; б — Восточно-Камчатский вулканический пояс (а), плиоценовые и четвертичные вулканогенные и вулканогенно-осадочные отложения (б); 7 — Центрально-Камчатский вулканический пояс; 8 — разрывы, ограничивающие кольцевую Центрально-Камчатскую депрессию (а) и прочие (б)

Новая информация, полученная при дешифрировании космических снимков, благодаря интегрированному отображению на них элементов морфоструктуры касается главным образом выявления морфоструктур центрального типа неизвестных ранее размеров и, судя по слагающим комплексам пород, новых генетических типов. К таким морфоструктурам относятся следующие: 1) кольцевые образования диаметром 12—30 км (наиболее распространенные — диаметрами около 16 км) на площади выходов наиболее древних метаморфических пород на юге Срединного хребта; 2) крупные купольные морфоструктуры на восточных полуостровах Камчатки и крупнейший на Камчатке купол диаметром около 100 км, объединяющий линейно-блоковые морфоструктуры на юге Срединного хребта, в Ганальском и Валагинском хребтах, в строении которых значительное участие принимают мезозойские и более древние породы; 3) крупнейшая на Камчатке кольцевая депрессия (размеры 260 × 320 км) в центральной части полуострова; 4) вихревая система линейных элементов в западной части упомянутой депрессии.

О существовании структур центрального типа на площади метаморфических и метаморфизованных пород в Срединном хребте Камчатки было известно ранее. Выделены центры позднемелового вулканизма в южной части хребта [Байков, 1970], описана Хангарская кольцевая вулканотектоническая структура [Кутыев и др., 1976] с одноименным вулканом в апикальной части. Однако эти образования, выделенные по структурно-вещественным признакам, рассматривались скорее как исключение в общей складчато-глыбовой структуре метаморфид. Дешифрирование космических снимков со спутников «Метеор» позволило выявить здесь чрезвычайно широкое развитие кольцевых морфоструктур различных генетических типов и их значительную роль в строении выступов пород основания вулканических поясов.

Наиболее мелкие из подобных морфоструктур сконцентрированы в пределах Срединного выступа метаморфид. Вероятно, большинство из них являются магмотектоническими ядрами метаморфических куполов. Кольцевые морфоструктуры тех же размеров и более крупные (до 30 км в поперечнике), развитые на площади метаморфизованных мезозойских отложений, обрамляющих выступ метаморфид, представляют собой магмотектонические купола. В контурах некоторых из них локализованы отдельные выходы сохранившихся от размыва кайнозойских вулканитов, поэтому такие морфоструктуры можно считать корневыми частями глубоко эродированных вулканотектонических структур (см. рис. 68).

На изображениях более мелкого масштаба по концентрическому расположению удлиненных положительных и отрицательных блоковых морфоструктур и по радиально-концентрической системе разрывов выделена купольная морфоструктура диаметром около 100 км. Такие крупные блоковые морфоструктуры, как Ганальский горст, южное окончание Срединного выступа метаморфизованных пород, Быстринский грабен и юго-западное окончание депрессии р. Камчатки, образуют секторы этого куполовидного поднятия.

Кольцевые купольные морфоструктуры меньших диаметров (до 50 км) дешифрируются на восточных полуостровах Шипунском и Кроноцком. Их образование, возможно, связано с внедрением базитов и гипербазитов. Однако взаимное расположение фрагментов кольцевой морфоструктуры на Кроноцком полуострове и базит-гипербазитовых мас-

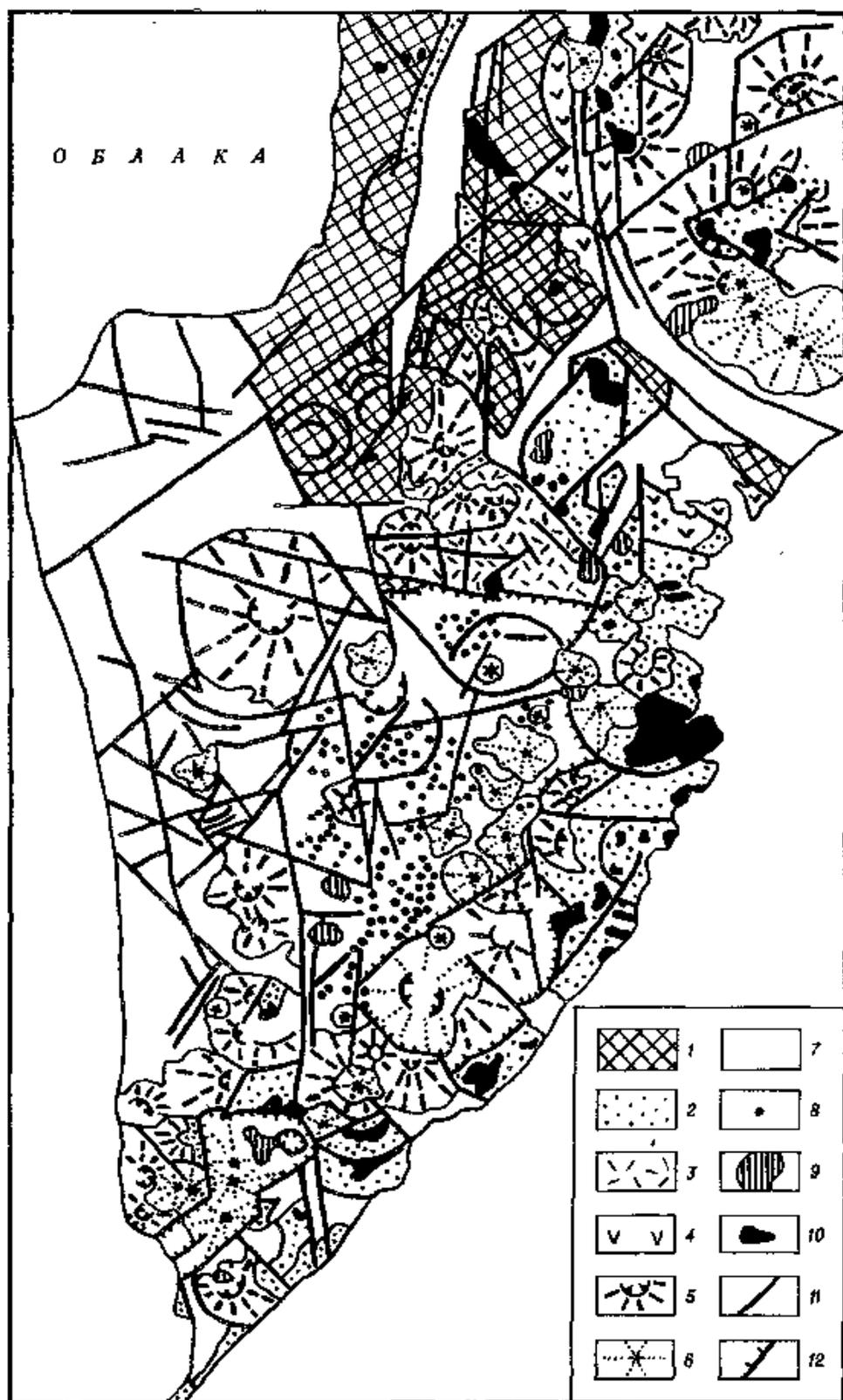


Рис. 71. Схема вулкано-тектонических структур Южной Камчатки

1 — мезозойские отложения; 2 — олигоценые вулканиты и вулканогенно-осадочные отложения; 3 — миоценовые вулканиты; 4 — позднемиоцен-плиоценовые вулканиты; 5 — эродированные кальдеры и склоны плиоцен-раннечетвертичных вулканов; 6 — четвертичные стратовулканы; 7 — рыхлые четвертичные отложения; 8 — проявления ареального вулканизма; 9 — субвулканические тела; 10 — миоценовые интрузии гранитоидов; 11 — разрывные нарушения; 12 — границы четвертичных вулкано-тектонических депрессий

сиров (рис. 69) указывает на более молодой возраст радиально-концентрических разрывов. Скорее всего, они являются элементами крипоморфоструктуры с не достигшими поверхности интрузивными телами кайнозойского возраста.

При дешифрировании космических снимков «Метеор» выделена крупнейшая кольцевая депрессия Камчатки (рис. 70; см. рис. 68). Восточное и юго-восточное обрамления депрессии сложены меловыми и мел-палеогеновыми породами Восточно-Камчатского хребта, юго-западный и северо-западный борта представлены образованиями Срединного и Хавывенского метаморфических выступов, а западная периферия — меловыми и мелпалеогеновыми комплексами Западной Камчатки. Депрессия выполнена олигоцен-четвертичными вулканитами, вулканогенно-осадочными и осадочными отложениями. Вулканиты сконцентрированы главным образом в полосе северо-восточного простирания, проходящей через центр кольцевой структуры, а отдельные группы четвертичных вулка-

нов и плиоцен-четвертичные осадочные отложения распространены по обе стороны от «вулканической оси» депрессии.

В северо-западной половине рассматриваемой структуры на мелкомасштабных снимках хорошо просматривается спиральная (вихревая) система линейментов. Их форма наиболее соответствует эвольвенте окружности или логарифмической спирали. Центр вихревой морфоструктуры (начало раскручивания спиралей) находится в районе вулканов Чинейкей и Уксичан, раскручивание идет по часовой стрелке. В этом же направлении вдоль спиралей наблюдается омоложение нижней возрастной границы вулканогенных образований — от олигоцен-миоценовой в узловом районе вихря до раннечетвертичной на окончании спиралей вблизи вулкана Шивелуч. Отдельные спирали, начиная раскручиваться внутри контура кольцевой депрессии, выходят за ее пределы. Тем не менее генетическая связь между вихревой и кольцевой морфоструктурами кажется весьма вероятной.

Достаточно детальными и вместе с тем достаточно обзорными, генерализирующими материалами представляются космические снимки среднего масштаба. Их дешифрирование позволило на площади Южной Камчатки выявить значительное количество линейных и кольцевых разрывных нарушений, уточнить блоковое строение территории, оконтурировать палеовулканические сооружения (рис. 71). Взаимоотношения разновозрастных вулканов, реликтов вулканических построек с остатками древних вулcano-тектонических структур указывают на значительную переработку кольцевых олигоцен-миоценовых образований в плиоцен-четвертичное время. Четвертичные стратовулканы, широко распространенные шлаковые конусы в пределах полей ареального голоценового вулканизма выполняют линейные и кольцевые наложенные депрессии.

В целом использование космических снимков позволило наряду с уточнением и детализацией системы линейных морфоструктур выявить весьма широкое распространение образований центрального типа. Вероятно, роль центральных морфоструктур в геологическом строении региона не меньшая, чем складчатых и линейно-блоковых. Весьма интересно выявление нового для Камчатки типа морфоструктур — вихревой морфоструктуры с четко выраженными элементами внутреннего строения и определенной пространственной связью с кольцевой вулcano-тектонической депрессией. Предположение о существовании генетических связей между ними кажется перспективным для установления закономерностей формирования глубинных элементов кольцевых морфоструктур.

НОВЕЙШИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ШЕЛЬФЕ

Космическую информацию о новейших и современных геологических процессах в пределах шельфа получают путем визуальных наблюдений с пилотируемых космических кораблей или же в результате анализа изображений морского дна и поверхности воды на материалах различных космических съемок.

Визуальные наблюдения с космических кораблей представляет несомненную ценность, особенно если они будут осуществляться специалистами — геологами, геоморфологами или ландшафтоведами. Из космического пространства, как и при аэровизуальном осмотре поверхности Земли, видны объекты поверхности в их естественных цветах, при этом всегда могут быть учтены природные условия, при которых выполнялись наблюдения. Эти условия значительно влияют на облик объектов, в то же время они слабо учитываются при дешифрировании изображения на различных материалах космических съемок.

ДЕШИФРИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ МОРСКОГО ДНА

Опыт аэрофотосъемки морского дна свидетельствует о том, что современные технические средства при оптимальных природных условиях позволяют получать изображения морского дна при глубинах моря, превышающих на 20—25% прозрачность воды, измеренную стандартным белым диском Коцебу—Секки. Это значит, что при наибольшей известной прозрачности воды в океане в 66 м (Саргассово море) подводные объекты могут отобра-

зяться при глубинах моря до 80—85 м. Обычно же в зависимости от прозрачности воды, резко изменяющейся в различных видах, аэрофотоизображение морского дна получается при глубинах моря от нескольких метров до 20—25 м и реже больших.

При съемке из космического пространства, по-видимому, можно получить изображение морского дна при глубинах моря несколько больших, чем при аэрофотосъемках. Это объясняется следующими обстоятельствами:

1) отраженные от дна лучи света, строящие изображение на большей части космического снимка, проходят по толще воды меньший путь, чем лучи, формирующие аэрофотоизображение той же площади; 2) космическая съемка выполняется вне атмосферы, которая поэтому играет роль природного светофильтра; 3) при съемке из космоса отсутствует вибрация, мешающая съемкам с самолета; 4) движение по космической орбите может быть рассчитано таким образом, чтобы экспозиция при съемках акваторий выполнялась при наибольшей освещенности моря.

Тем не менее трудно ожидать, что максимальная глубина моря, при которой можно получить изображение дна из космоса, будет значительно превышать соответствующий предел для аэросъемки. По-видимому, даже при оптимальной прозрачности воды это будет глубина 100—120 м. Имеющиеся в литературе указания, согласно которым на космических снимках отображается морское дно на глубинах во многие сотни или даже тысячи метров, сомнительны. Вероятно, в этих случаях изображения объектов поверхности моря принимаются за изображения дна. Более или менее достоверные изображения дна на космических снимках получены при глубинах моря 70—90 м.

Несмотря на ограниченные глубины моря, при которых можно получать изображения дна, материалы космических съемок имеют значительное научное и практическое значение при геологическом изучении шельфа. На материалах съемок из космоса, как и на материалах аэросъемок, отображается дно прибрежного мелководья (внутреннего шельфа), которое из-за недоступности для судов, выполняющих геологические исследования, считается «мертвой зоной» при изучении шельфов. В то же время без знания геологического строения этой зоны не представляется возможным достоверно увязать данные, получаемые при геологических работах на внешнем шельфе, со строением суши.

Кроме того, на космических снимках отображается дно мелководных банок и поверхность островов. Данные камерального и полевого геологического дешифрирования их изображений могут быть экстраполированы на остальные части шельфа или же могут помочь целесообразно спланировать полевые геологические работы.

Имеющийся опыт геологического дешифрирования космических снимков свидетельствует о значительных возможностях их использования при изучении геологических процессов и особенностей геологического строения морских шельфов.

Дешифрирование изображений объектов морского дна на космических снимках в принципе не отличается от дешифрирования изображения на аэроснимках. Своеобразие заключается только в том, что на космических снимках одновременно отражаются обширные площади акватории и вследствие мелких масштабов происходит генерализация изображений, в результате которой отражаются только наиболее крупные геологические и геоморфологические объекты. Тем не менее на космических снимках крупного и среднего масштабов хорошо отражаются формы рельефа дна. Анализ изображений последних позволяет выделить аккумулятивные и абразионно-скульптурные образования и тем самым установить участки дна, сложенные древними сцементированными породами или молодыми рыхлыми отложениями. В некоторых случаях, как и при дешифрировании изображений на аэроснимках, удается установить признаки дешифрирования, позволяющие судить о вещественном составе древних пород и их относительном геологическом возрасте. Это дает возможность использовать космические снимки для изучения рельефа дна и его генезиса, а также геологического и геоморфологического строения отдельных площадей шельфа.

Особое значение геологическое дешифрирование изображений дна на космических снимках может иметь для изучения новейших и современных дифференцированных тектонических движений. Гидродинамические процессы (волны, течения) по-разному воздействуют на участки дна, приуроченные к растущим антиклинальным и синклиналим структурам. В пределах растущих антиклинальных структур морское дно испытывает энергичное воздействие гидродинамических процессов, вызывающее интенсивную абразию и снос рыхлого материала за пределы структур. На таких участках дна нередко наблюдаются положительные формы рельефа, обнажения и подводные гряды, сложенные древними сцементированными породами, трудно поддающимися абразии, а также затопленные в процессе послеледниковой трансгрессии, ныне погребенные или полупогребен-

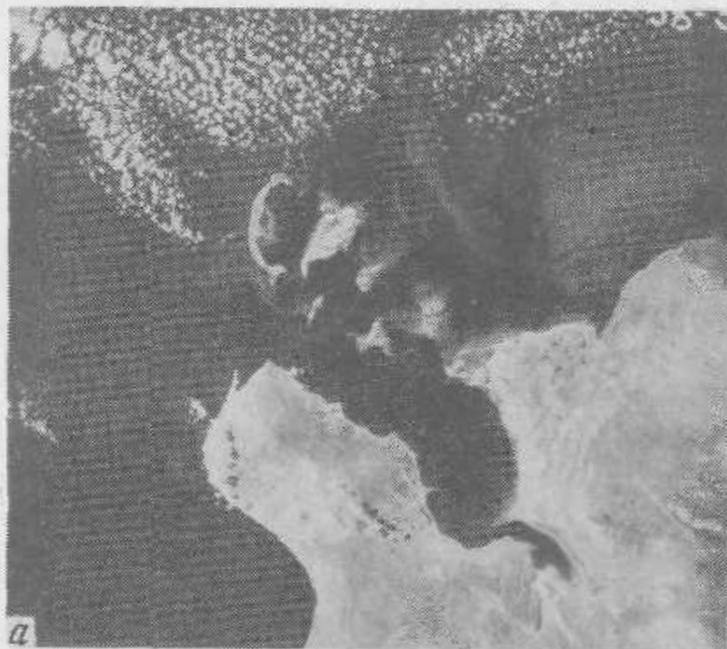
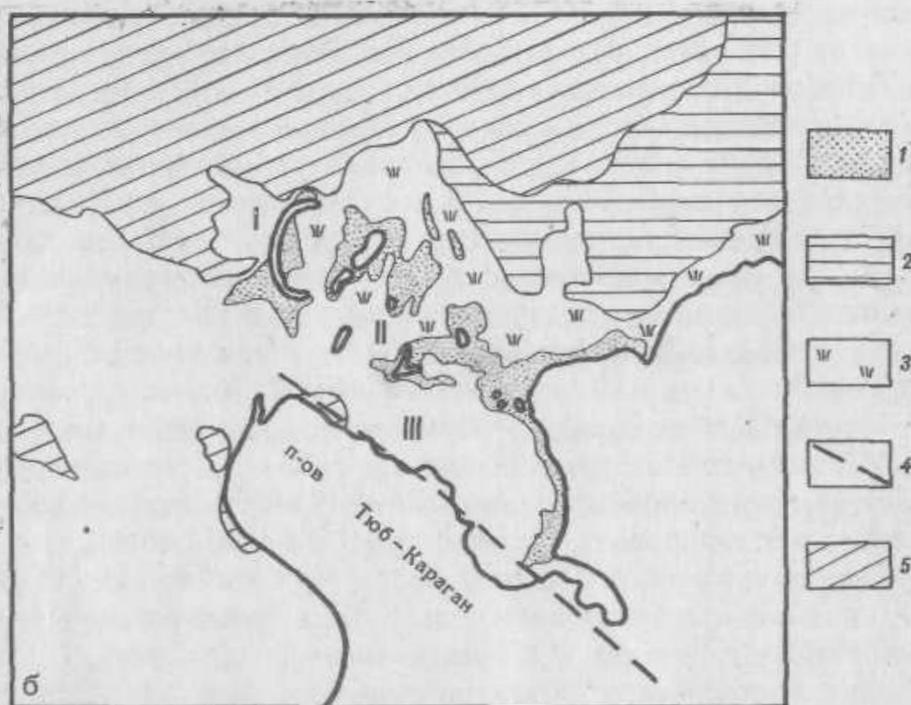


Рис. 72. Космический снимок северо-восточной прибрежной акватории Каспийского моря, полученный с космического корабля «Союз-12» (а), и схема дешифрирования этого снимка (б)

1 — песчаные мели; 2 — мутная вода на мелководье; 3 — заросли морской травы; 4 — линеамент; 5 — облачный покров

I — о-в Кудалы; II — мелкие острова Тюленьего архипелага; III — Маңгышлакская бороздина



ные бывшие речные долины. На площадях синклинальных структур, испытывающих погружение, наблюдается преобладание аккумуляции и выравнивание рельефа дна.

Особенности строения дна на участках антиклинальных и синклинальных складок могут быть установлены при анализе изображений на космических снимках. Таким образом, дешифрирование космических изображений допускает возможность предварительного выявления антиклинальных складок, являющихся одним из критериев возможного наличия морских нефтегазоносных залежей.

Растущие антиклинальные структуры, приуроченные к акваториям, характеризующимся развитием на дне мощных рыхлых отложений, в соответствии с существующими в настоящее время представлениями индицируются наличием подводных и надводных баров [Никифоров, 1977]. Особое значение имеют полукольцевые бары, которые, по видимому, следует считать прямыми индикаторами растущих антиклиналей.

В качестве примера можно привести известный космический снимок северо-восточной акватории Каспийского моря с изображением архипелага Тюленьих островов и схему его дешифрирования (рис. 72). На этом снимке обращает на себя внимание о-в Кулалы, имеющий полукольцевую форму, который можно рассматривать как признак растущей антиклинали. Обнаруженные на космических снимках подобные подводные и надводные аккумулятивные формы (бары) могут служить одним из критериев для предварительной оценки целесообразности постановки здесь поисковых и поисково-разведочных работ на нефтегазоносные залежи.

На снимке юго-восточной части Каспийского моря, полученном с космического корабля «Союз-4», в пределах Туркменского залива и примыкающих к нему акваторий были отдешифрированы контуры структур, напоминающих брахиантиклинали. Сравнение этих

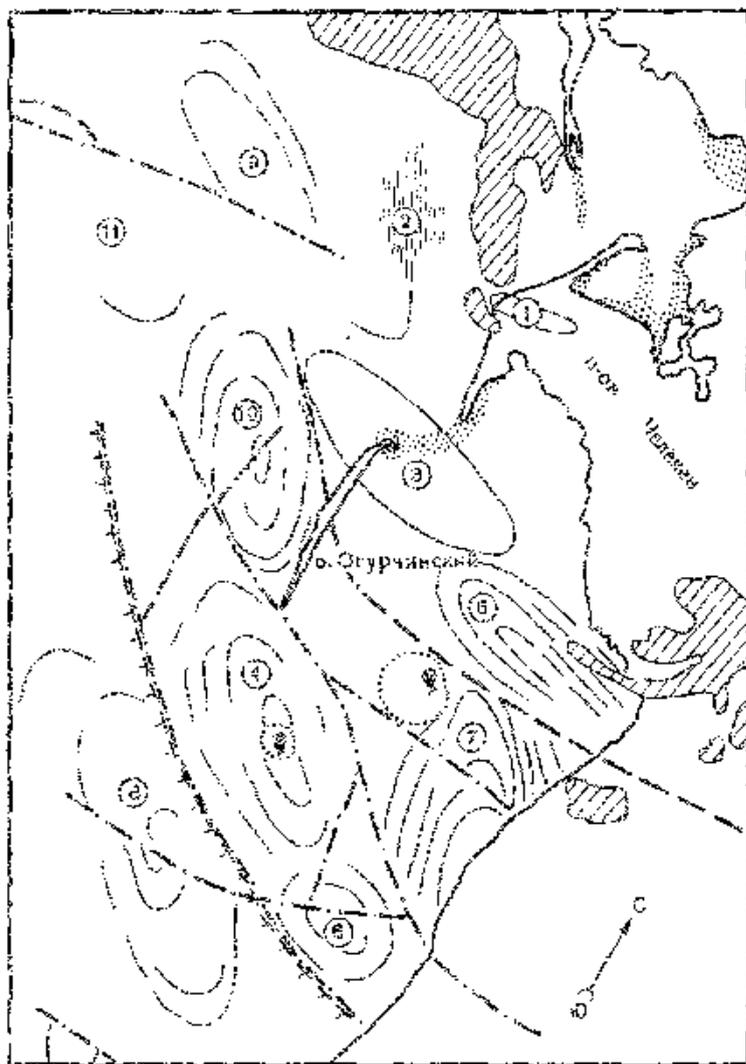


Рис. 73. Схема дешифрирования космического снимка юго-восточной прибрежной акватории Каспийского моря, полученного с орбитальной станции «Салют-4»

1 — мутная вода; 2 — илчанье мели; 3 — облака; 4 — грязевые вулканы; 5 — границы между межководным участком и глубоководной частью шельфа; 6 — предполагаемые разрывные нарушения; 7 — антиклинальные структуры (цифры в кружках): 1 — Челекенская, 2 — банки Джанова, 3 — Огурчинская, 4 — Южно-Огурчинская, 5 — Западно-Эрдехлинская, 6 — Новая (Западно-Карадильская), 7 — Прибрежная (Восточно-Эрдехлинская), 8 — банки Ульского, 9 — антиклиналь БАЭМ, 10 — Северо-Огурчинская (впервые выделена), 11 — антиклиналь Обручева

контуров со схемами расположения антиклинальных структур, выявленных сейсморазведочными работами, показало совпадение большинства отдешифрированных контуров с уже известными структурами. Это подтверждает возможность достоверного выявления антиклиналей морского дна по космическим снимкам. Дешифрирование космических снимков позволило более точно определить положение, ориентировку и размеры уже известных антиклинальных структур. Кроме того, в процессе дешифрирования этого космического снимка отмечены контуры неизвестной ранее по данным сейсморазведки крупной антиклинальной структуры, а также намечен ряд дизъюнктивных нарушений и предположительно подводных грязевых вулканов (рис. 73).

Кроме использования космических снимков для выявления антиклинальных складок, анализ изображений дает и другую информацию. В результате дешифрирования многозональных космических снимков северо-восточной части Каспийского моря, полученных космонавтами В. Г. Лазаровым и О. Н. Макаровым с космического корабля «Союз-12», В. И. Кранцова и С. Ю. Антонова [1974] составили ландшафтную схему морского дна. На этой схеме выделены подводные природно-территориальные комплексы, в пределах которых показаны различные типы рельефа, современные морские отложения, обнажения коренных пород, подводная растительность и т. д.

Существенную информацию о строении дна можно снять с космических снимков Багамской банки, полученных в 1969 г. с корабля «Аполлон-9». На этих снимках четко отражены острова, подводное Багамское плато с насаженными аккумулятивными формами, подводная растительность, а также глубоководный Старый Багамский канал, отделяющий северный шельф о-ва Куба от Багамского плато и осложняющий плато «Язык Океева». Дешифрирование космического снимка, охватывающего южную часть Багамской банки, Старый Багамский канал и северную часть шельфа о-ва Куба, выполненное А. Г. Рябуханым [1974], позволило выявить не только отмеченные выше объекты.

но и широкую сеть линейментов, часть которых совпала с разломами, выделенными на основе сейсморазведочных работ. Глубоководный Старый Багамский канал и «Язык Океана», четко отобразившиеся на космических снимках, являются крупными грабенами, границы которых можно сравнительно точно провести по их изображениям.

Приведенные примеры показывают, что в случае хорошего изображения морского дна из космических снимков представляется возможным получить обширную географическую и геологическую информацию, необходимую для изучения новейших и современных геологических процессов и выявления особенностей геолого-структурного строения дна. К сожалению, изображение морского дна на снимках можно получить только для прибрежных частей континентов и островов, а также для отдельных банок. Для основной же части морей и океанов на снимке получается изображение только поверхности воды. Однако в некоторых случаях объекты приповерхностной толщи воды и поверхности моря бывают связаны с геолого-геоморфологическим строением морского дна и процессами, протекающими в его недрах, поэтому некоторая геологическая информация о дне шельфа может быть получена по косвенным признакам дешифрирования.

ДЕШИФРИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ТОЛЩИ ВОДЫ И ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ

Ряд фактов несомненно указывает на зависимость некоторых объектов и явлений на поверхности и в приповерхностном слое воды морей и океанов от рельефа дна и процессов, протекающих в его недрах. Следует, однако, отметить, что специально выполненные исследования по изучению этих зависимостей отсутствуют. Первые наброски в этом плане сделаны в статьях В. В. Шаркова и З. И. Гурьевой [1976; Шарков, 1979].

К числу объектов, отображающихся непосредственно на космических фотографиях, телевизионных и сканерных снимках или оказывающих влияние на оптические свойства водной толщи, а следовательно, и на плотность изображения, можно отнести те, которые предопределяются процессами, протекающими в недрах морского дна, индицируя его геоморфологическое строение.

Космические изображения объектов и явлений, индицирующих процессы в недрах дна. Космические изображения могут регистрировать на поверхности моря или в толще воды следы проявлений вулканических извержений, извержений грязевых вулканов, наличия мощных разгрузок на дне подземных пресных, ювенильных и термальных вод, выделения из недр дна нефти и газа, а также возможного влияния крупных разломов на лед.

Индикаторы подводных вулканических извержений многочисленны. Извержения могут проявиться в виде: изменения оптических свойств воды за счет выбросов пеплового материала; наличия локальных участков бурлящей воды или сильного и неправильного волнения среди спокойной поверхности моря; выбросов пепла, дыма и выделения паров над поверхностью воды; скопления плавающих обломков пемзы, а иногда и образования временных или постоянных вулканических островов.

Индикаторы подводных грязевулканических извержений несколько иные: небольшие фонтаны, грифоны, выделения газов, вспенивающих воду, помутнение воды за счет выброса пелитового материала, а иногда и горящие факелы углеводородных газов. Нередко образуются также временные или постоянно существующие острова.

Индикаторы разгрузки подземных пресных, термальных и ювенильных вод при спокойной поверхности моря — это участки бурлящей воды, а при волнении — участки относительно гладкой воды. Иногда образуются участки более прозрачной воды.

Индикаторы возможных залежей нефти и газа — это пятна нефти, постоянно появляющиеся в одних и тех же пунктах поверхности моря, и извержения газа, обычно вспенивающие воду.

Индикаторы зон дизъюнктивной тектонической активности изучены пока плохо. Одним из таких индикаторов, по-видимому, могут являться зоны дробления льда, что отмечалось, например, на оз. Байкал [Кренделев, 1978]. На Байкале эти зоны наблюдаются в одних и тех же местах; они вытянуты в определенных направлениях и характеризуются наличием нерпичьих лунок пропаривания. Сопоставление зон с размещением термальных источников, эпицентрами землетрясений и изменением газового состава пузырьков воздуха во льду позволило предполагать возможную зависимость испарывания ледяного покрова оз. Байкал от микросейсмических явлений и подъема газовых потоков вдоль вытянутых областей дизъюнктивной тектонической активности. Такие зоны дробления льдов могут наблюдаться и в других бассейнах, особенно в пределах припайных льдов; предположительно их можно связывать с тектонической нарушенностью дна.

Космические изображения объектов и явлений, индицирующих рельеф дна. Волны чутко реагируют на положительные формы рельефа дна, находящиеся на глубинах, меньших $1/2$ длины волны. В этом случае волны испытывают деформацию, а именно уменьшение длины с увеличением высоты и скорости. Такая деформация волн может отразиться на аэрофотоснимках, и тогда по изменению характера фотоизображения взволнованной поверхности моря можно устанавливать положительные формы рельефа дна. Например, Ю. М. Шокальский [1959, с. 277] отмечает, что «даже на таких больших глубинах, какие имеются на подводном пороге Уайвилла—Томсона, между Фарерскими островами и Шотландией, т. е. при глубинах 400—500 м, замечалось укорачивание волн».

В прибрежных частях моря по изменению характера взволнованной поверхности можно выявить подводные долины, в пределах которых во время шторма волны испытывают меньшую деформацию по сравнению с мелководными участками, разделяющими подводные долины.

Разрушение волн наблюдается при уменьшении глубины моря примерно до $3/4$ высоты волны. При разрушении волн возникают буруны и образуется аэрированная (пенистая) зона, хорошо отражающаяся на аэроснимках. Особенно энергичное разрушение волн происходит над препятствиями. Именно по фотоснимкам бурунов можно устанавливать наличие и количество подводных валов, подводных гряд, камней и скал, мелей и т. д. Так, буруны наблюдались у берегов Сирии над подводными скалами при глубинах моря до 84 м [Применение..., 1963].

Рефракция волн хорошо отображается на аэрофотоснимках. По снимкам можно выявлять углы подхода волн к берегу, измерять длину волн, а при известных условиях устанавливать крутизну их склонов и даже скорость распространения. Последняя определяется как отношение смещения характерных точек волн на смежных снимках (смещения, определяемого относительно неподвижных ориентиров на берегу или в море) к промежуткам времени между смежными экспозициями.

Зная длину λ и скорость V волн в определенной точке, можно определить и глубину H моря в данной точке. Для этого используется формула Стокса

$$V^2 = \frac{g\lambda}{2\pi} \operatorname{th} \frac{2\pi H}{\lambda},$$

где g — ускорение силы тяжести. Кроме того, по изгибам рефракционных волн выявляются элементы рельефа подводного берегового склона — ложбины, повышения и т. д.

Апвеллинги, т. е. подъем глубинных вод к поверхности моря, в открытых частях морей и океанов нередко проявляются над банками, подводными горами и хребтами¹. Как отмечалось выше, поднимающиеся со дна воды предопределяют пышное развитие планктона и изменение оптических свойств воды. Внимательный анализ аэрофотографических и космических снимков позволяет выявить локальные изменения тона изображений, по которым можно судить о рельефе дна.

Мутные воды возникают после штормового волнения на мелководье и хорошо отражаются на аэрофотоснимках. Систематическое возобновление мутной воды, наблюдающееся иногда далеко от берега в виде изолированных площадей, может свидетельствовать о наличии подводных песчаных банок. Таким образом, взмученная вода маркирует мелководную зону у песчаных и илистых берегов, а также песчано-илистые банки, значительно удаленные от берега.

Выносы мутной воды реками иногда происходят вдоль подводных долин и тем самым фиксируют продолжение последних в море.

Существуют объекты и явления, отражающиеся на космических снимках, но не связанные со строением морского дна и с процессами, протекающими в недрах. К ним относятся поверхностные течения, определяющие разную окраску воды, внутренние волны, а также явления, связанные с циркуляциями Ленгмюра, различными океаническими «фронтами», конвекционными структурами и т. д. В будущем необходимо научиться отличать изображения этих явлений от изображений «полезных» поверхностных объектов.

¹ Апвеллинги могут быть вызваны и ветровым стоном вод от берега, и расходящимися течениями, возникающими у подветренных сторон островов и т. д. Однако в открытом море, если нет дивергирующих течений, они, как правило, связаны с формами рельефа дна.

КОСМИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ, НОВЕЙШИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ И РЕЛЬЕФ

Материалы дешифрирования космических снимков дают обширную и разнообразную информацию о новейших и современных тектонических движениях, во многих случаях позволяют объективно судить об их направленности и интенсивности, их роли в формировании современного рельефа, об амплитудах смещения системами молодых разрывов гидрографической сети, складчатых структур, горных хребтов и блоков континентальной коры. Они убедительно показывают высокую мобильность литосферы и одновременно системность и взаимосвязанность большинства новейших и современных разрывных и пластических деформаций земной поверхности, показывают сходство геодинамической картины Земли. На космических снимках с удивительной отчетливостью прослеживаются рифтовые зоны раскола и разрывов континентальной коры, зоны крупных сдвигов, зоны сжатия и подвигтов, маркируемые системами горных хребтов, системы линейamentos, акцентрические структуры различных размеров. Для понимания общих закономерностей размещения этих структур целесообразно начинать их изучение с глобальных космических снимков Земли (рис. 74), постепенно переходя ко все более крупномасштабным космическим снимкам.

Уже первое знакомство с глобальными и региональными космическими снимками показывает, что структуры горных хребтов, таких как Гималаи, Кордильеры, Анды, Альпы, Кавказ, Пиренеи, структуры плоскогорий, плато, островных дуг и складчатых поясов близки по форме к структурам облачного покрова, фиксируемым на снимках. В структурах облачного покрова можно найти достаточно полные аналоги почти всех хребтов и плоскогорий земных континентов; при этом структуры облачного покрова, как правило, имеют несколько более крупные размеры, чем системы аналогичных по форме хребтов континентов (чаще в 2—2,5 раза). Иногда аналогии можно найти даже на одном и том же космическом снимке. Так, на глобальном космическом снимке Земли, полученном с метеорологического спутника «Метeosat» 15 мая 1979 г. (см. рис. 74), можно наблюдать большое сходство структуры облачного покрова над Северной Атлантикой с расположенной правее и в несколько раз более мелкого размера структурой Альп, Диньярид и Северных Апеннин. Морфологическое сходство атмосферных и литосферных структур, вероятно, не случайно. Оно может отражать сходную динамику движущей массы в процессе их формирования. Свидетельствует, что для понимания динамики процессов формирования горных сооружений важны обмен информацией между тектонистами и метеорологами и организация совместных работ по сравнительному анализу морфологических типов наблюдаемых структур, их систематизация и геодинамической интерпретации. Полезно также выделение и сравнительное изучение подобных друг другу форм разномасштабных структур на космо- и аэрофотоснимках разных уровней генерализации (от глобальных и региональных до детальных) и в натуре: в альпийских выходах, обнажениях, образцах горных пород, на микрофотографиях выيفов, при изучении динамических моделей — искусственных и естественных.

Указанный путь исследования рельефа и ландшафтов земной поверхности, дешифрируемых на космических снимках, во многих случаях приводит к выявлению удивительного геодинамического единства структур поверхности значительных участков современных материков, единства движений, формирующих рельеф; позволяет установить прямую связь этих движений с закономерными перемещениями систем литосферных плит и блоков, из которых они состоят, с поворотами, наклонами, сжатием этих блоков, подтягиванием их друг под друга или же, наоборот, с растяжением и разрывом. Космическая информация, обрабатываемая совместно с гелиогеографическими данными и с учетом сейсмологических материалов и результатов триангуметрических съемок, позволяет переходить от тектоники литосферных плит к глобальному динамоморфологическому анализу рельефа, детально изучать внутрислитную тектонику. Большую роль в разработке методики изучения геодинамики новейших и современных тектонических движений сыграли работы Э. Хоббса [Hobbs, 1964, 1961], Дж. Мууди и С. Хилла [Moody, Hill, 1956], Г. Лаубшера [Laubscher, 1958], М. Павоне [Pavoni, 1961, 1962, 1979], Т. Кимура [Kimura, 1961, 1968], А. В. Пейве [Пейве и др., 1964; Пейве, 1967], В. С. Пуртмана [1964], П. Молаара и М. Танконье [Molnar, Tapponier, 1975, 1977, 1978], В. Г. Трифонова [1976b, 1980; Геологическое..., 1976], Н. И. Макарова [1977], В. П. Уткина [1980] и др.

Значительная часть геодинамической информации может быть выявлена на космических снимках в процессе дешифрирования раздвиговых, сдвиговых и поддвиго-надвиговых зон, а также в процессе изучения новейших и современных систем вулканов и вулкано-плутонических поясов, систем линеаментов, расколов и концентрических структур (рис. 75). При изучении систем разрывов и линеаментов целесообразно использовать такие введенные В. Хоббсом понятия, как «шаг разрывов» и «амплитуда шага разрывов» (среднее повторяющееся расстояние между равноценными по геологической значимости и по отчетливости выражения на космических снимках разрывами одинаковой ориентировки), «веер разрывов» (закономерно расходящиеся системы разрывов с приблизительно равными углами расхождения между соседними разрывами), «сетки разрывов» (пересечения двух или нескольких систем закономерно ориентированных разрывов). К местам пересечения разрывов, к узлам сеток, часто оказываются приуроченными рудные узлы и зоны оруденения. При изучении систем и сеток разрывов обязательно изучение характера вергентности разрывов и их геодинамической характеристики — раздвиговой, сдвиговой, поддвиговой или надвиговой природы разрывов. Материалы космических съемок во многих случаях позволяют отчетливо различать при дешифрировании систем разрывов зоны растяжения, сдвига, сжатия, образующие для Евразии единую геодинамическую общность [Шульц, 1975, 1976; Трифионов, 1976б, 1980; Molnar, Garçonier, 1975, 1977, 1978] и контролирующее размещение молодого неоген-четвертичного оруденения как в Альпийско-Гималайском складчатом поясе, так и в прилегающих к нему областях.

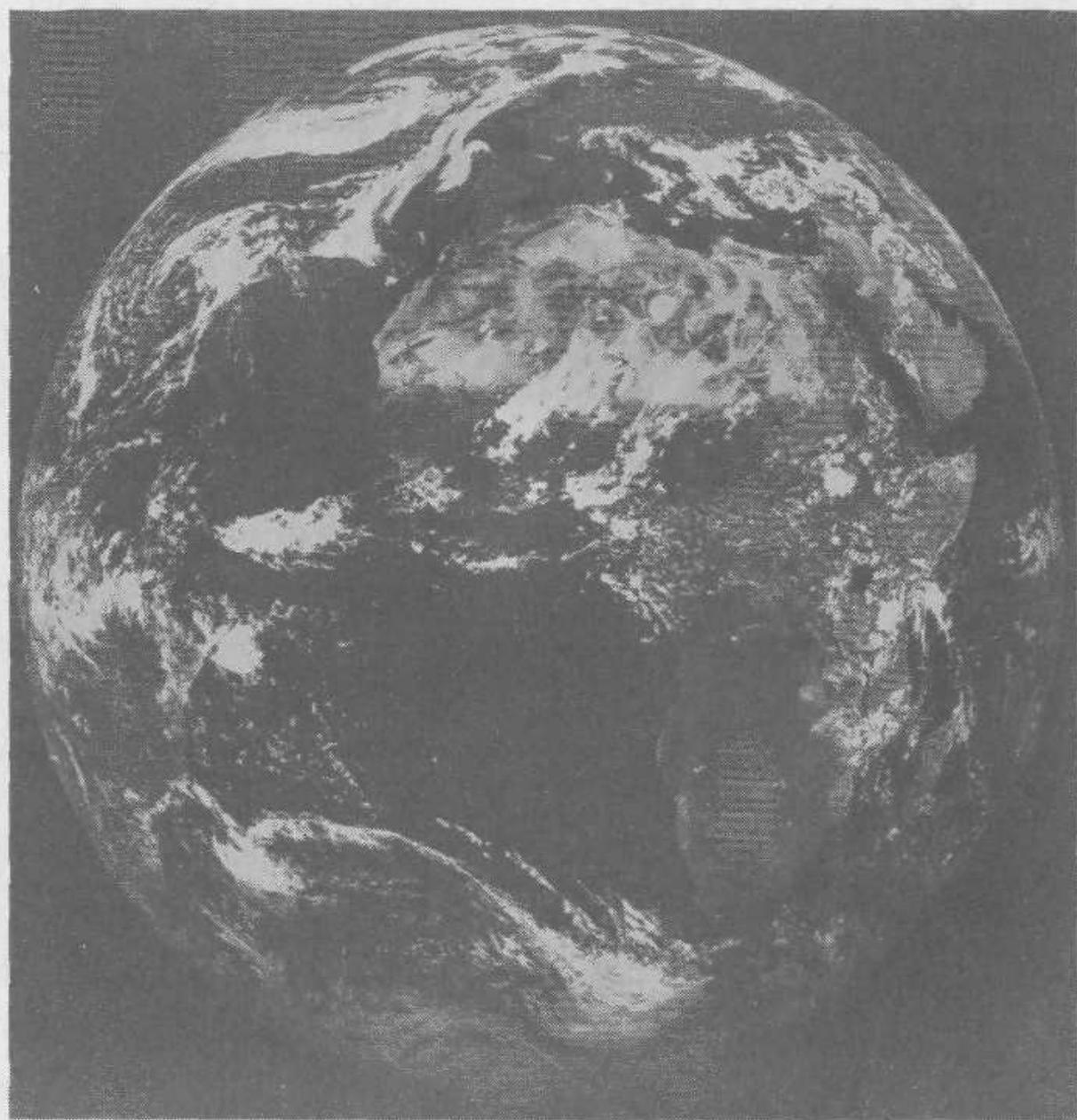


Рис. 74. Глобальный космический снимок Земли, полученный со спутника «Метеосат» 15 мая 1979 г.

На снимке отчетливо прослеживаются наметившийся раскол Африки по системе Великих Африканских рифтов, система разрывных структур, сходящихся в Южной Африке в районе бассейна Окаванго, системы линеаментов Северной Африки с местами пересечений в районах плато Тадемайт, Тассили-Аджер и нагорья Тибести, системы поддвиговых структур Эр-Рифа, Телль-Атласа и Высокого Атласа в Северо-Западной Африке, раздвиговые структуры Красного моря и Аденского залива и треугольник Афар — участок раздвиговой зоны, заполненный плиоцен-четвертичными излияниями базальтовых лав

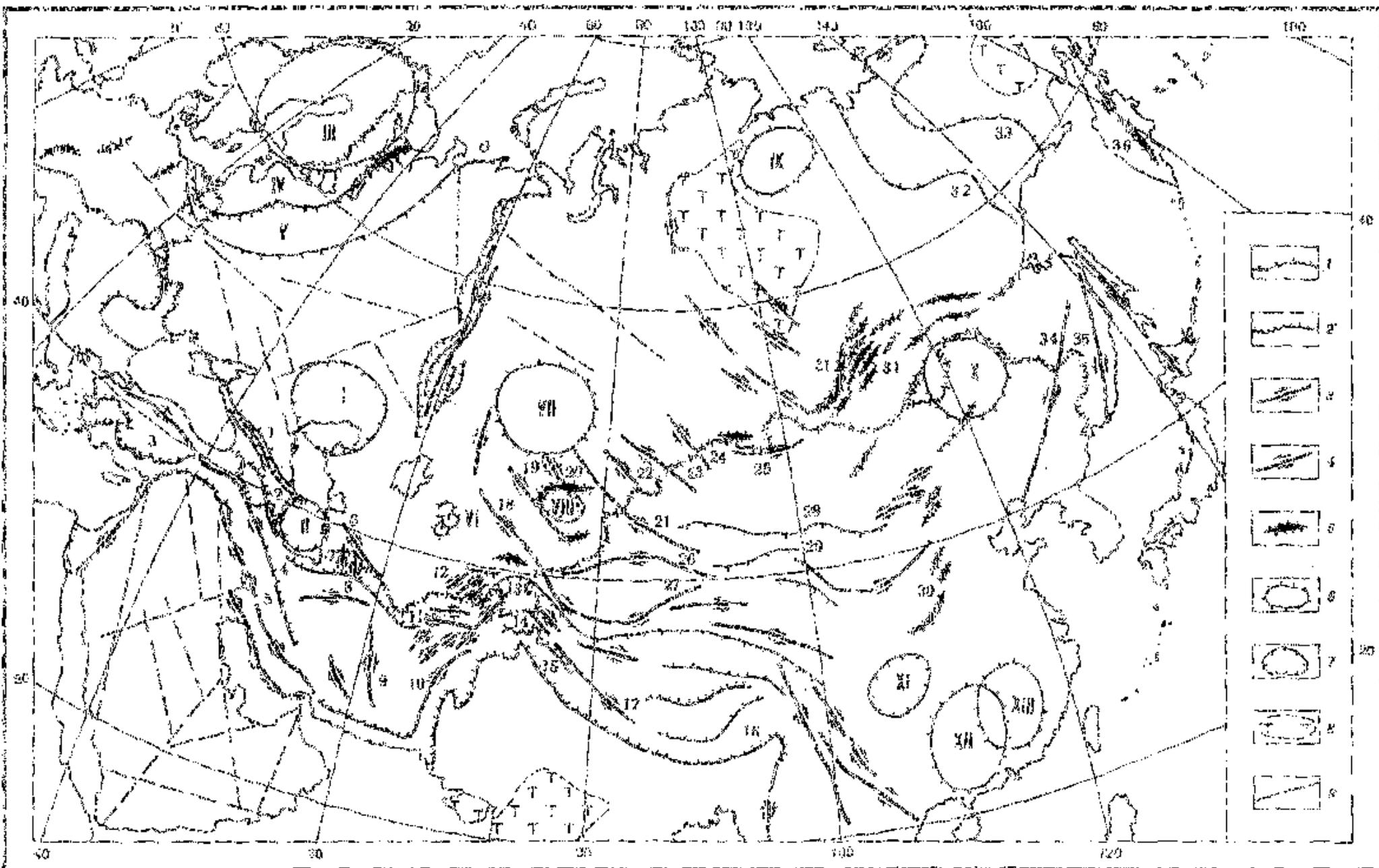


Рис. 75. Схема новейшей тектоники и геодинамики Северной Евразии. Составлена по данным дешифрирования глобальных и региональных космических снимков с использованием материалов В. И. Макарова, П. Молнара, А. А. Никонова, Н. Павони, П. Таппонье, В. Г. Трифонова и др.

1 — шарьяжи; 2 — пологие поддвиги; 3 — правые сдвиги; 4 — левые сдвиги; 5 — главнейшие раздвиговые зоны; 6 — концентрические сводовые поднятия; 7 — концентрические депрессии; 8 — области трапповых полей; 9 — линеаменты

Цифрами на схеме обозначены: 1 — главный надвиг (подвиг) Большого Кавказского хребта; 2 — главный надвиг (подвиг) Малого Кавказа; 3 — шарьяжи Центрального и Восточного Тавра; 4 — Центрально-Иранский взбросо-сдвиг; 5 — Главный надвиг (подвиг) Загроса; 6 — Копетдагский сдвиг; 7 — надвиг Эльбурса; 8 — Кабирский сдвиг; 9 — Лутский сдвиг; 10 — Макран-Кветта-Хаманская система сдвигов; 11 — Гератская система сдвигов; 12 — Южно-Таджикская система взбросо-сдвигов; 13 — система надвигов Заалайского хребта и Северного Памира; 14 — офиолитовый шов Инда; 15, 16 — Главный надвиг Гималаев; 17—26 — сдвиги; 17 — Каракорумский, 18 — Таласо-Ферганский, 19 — Джалаиро-Найманский, 20 — Актасский, 21 — Чингизский, 22 — Иртышский, 23 — Западно-Алтайский, 24 — Горно-Алтайский, 25 — Верхнеселенгинский, 26 — Восточно-Таримский; 27 — Алтынтагская система сдвигов; 28 — Центрально-Монгольская система надвигов; 29 — Южно-Монгольская система надвигов; 30 — система грабен Шанси; 31 — система грабен и рифтов Байкала и Забайкалья; 32 — Верхоянская система надвигов; 33 — Яно-Индибирская система надвигов; 34 — Сунгари-Амурский сдвиг; 35 — Приморский сдвиг; 36 — Центральный грабен Камчатки. I—XIII — концентрические и овално-концентрические структуры: I, II — депрессии: I — Северо-Каспийская, II — Южно-Каспийская, III—V — послеледниковые поднятия: III — Восточно-Скандинавское, IV — Прибалтийское, V — Северо-Европейское, VI—XIII — сводовые поднятия и депрессионные прогибы: VI — Букан, Тамды и Кульджук Центральных Кызылкумов, VII — Северо-Казахстанское, VIII — Южно-Балхашский прогиб, IX — Анабарское поднятие, X — Приамурское поднятие, XI — Чунцинский прогиб, XII — Лэйянское поднятие, XIII — Цзянсийское поднятие

Зоны развития раздвигов и сдвиго-раздвигов в пределах континентов все более привлекают внимание исследователей. Характерными примерами таких зон являются система Великих Африканских рифтов, сочленяющаяся с треугольником Афар, рифтами Красного моря и Аденского залива (рис. 76, а), о-в Исландия, целиком сформированный трещинными излияниями лав в зоне растяжения (рис. 76, б), Рейнский и Бресский грабены в Европе, системы рифтов Байкала и Забайкалья (рис. 76, в), система грабен



Рис. 76. Зоны раздвигов на космических снимках Земли

а — космический снимок южной части раздвиговой зоны треугольника Афар в районе тройного сочленения системы Великих Африканских рифтов, рифта Красного моря и рифта Аденского залива, полученный с космического корабля «Аполлон-7» в октябре 1968 г. Темные участки — четвертичные лавовые покровы; светлые полосы — раздвиговые зоны, заполненные солончатоводными озерами, и залежи солей на дне высохших озер;

б — мозаика космических снимков Исландии, полученная со спутника «ERTS-1». Тонкая субмеридиональная полосчатость, прослеживающаяся с разной степенью отчетливости на всей площади острова, — следы трещинных излияний лав, характерный пример раздвиговой структуры формирующейся коры;

в — мелкомасштабный сканерный космический снимок района оз. Байкал и Забайкалья, полученный со спутника серии «Метеор» в январе 1973 г. Полосчатая структура Забайкалья, характерная для раздвиговых зон, подчеркнута снежным покровом, заполняющим рифтогенные депрессии. Многие из наблюдаемых полос изогнуты, гофрированы; при этом преобладают S-образные изгибы, типичные для областей развития левых сдвигов

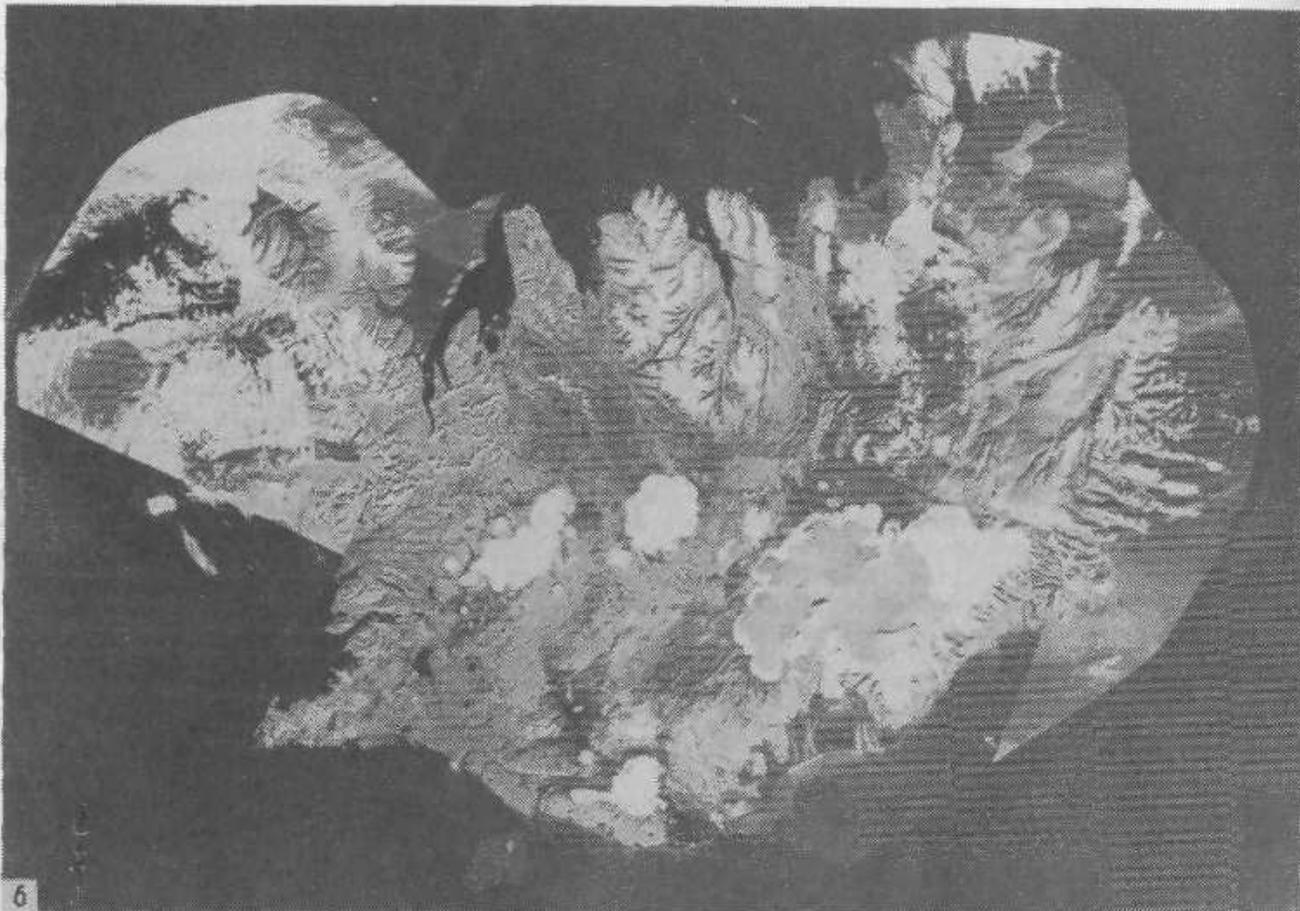


Рис. 76 (окончание)

Шаньси, рифтовые зоны Средиземноморья, рифтовая система Анд, проходящая через озера Поопи и Титикака, и многие другие.

Многие рифтовые системы на космических снимках имеют характерный полосчатый облик, обусловленный чередованием депрессионных грабеновых участков с участками, имеющими тенденцию к поднятию. Яркий пример такой полосчатости — Байкальская рифтовая система (см. рис. 76, в), где расстояния между параллельными друг другу зонами поднятий и депрессий составляют в среднем около 30 км.

Не менее выразительно выглядит полосчатость района треугольника Афар; она более хаотична, меняет свою ориентировку по мере приближения к зоне тройного сочленения Афар—Красное море—Аденский залив. В некоторых случаях характерная полосчатость такого же типа, хотя и менее ярко выраженная, наблюдается и в тех участках

материков, для которых существование раздвиговых или сдвигово-раздвиговых движений ранее не отмечалось, например, в районе Онежского озера. Эти участки представляют особый интерес; в каждом конкретном случае желательно проверять их тектоническую природу и особенности проявлений в их пределах новейших тектонических движений.

Системы сдвиговых дислокаций, захватывающие иногда чрезвычайно обширные территории, на континентах распространены гораздо шире, чем зоны растяжения или сдвиго-раздвигов.

Сдвиговая тектоника, как правило, четко и наглядно прослеживается и дешифрируется на космических снимках. В северном полушарии наиболее крупные системы сдвигов обрамляют по флангам движущиеся в северном направлении литосферные плиты и блоки: Тихоокеанскую плиту, в Азии — Индийский и Аравийский блоки Гондваны, в Средиземноморье — Адриатический и Малоазиатский блоки. На левых, западных флангах этих блоков развиваются системы левых сдвигов, а на правых, восточных — системы правых сдвигов (см. рис. 75). Иногда при этом литосферные блоки испытывают слабое вращательное движение против часовой стрелки и, особенно во фронтальных частях, развернуты в северо-западном направлении. Широко ориентированные сдвиговые системы образуются в процессе «расталкивания» блоков континентальной коры Северной Евразии расклиниваемыми их с юга блоками Гондваны. Движения по этим системам имеют «зеркальный» характер: к западу от внедряющихся блоков это правые сдвиги, к востоку — левые.

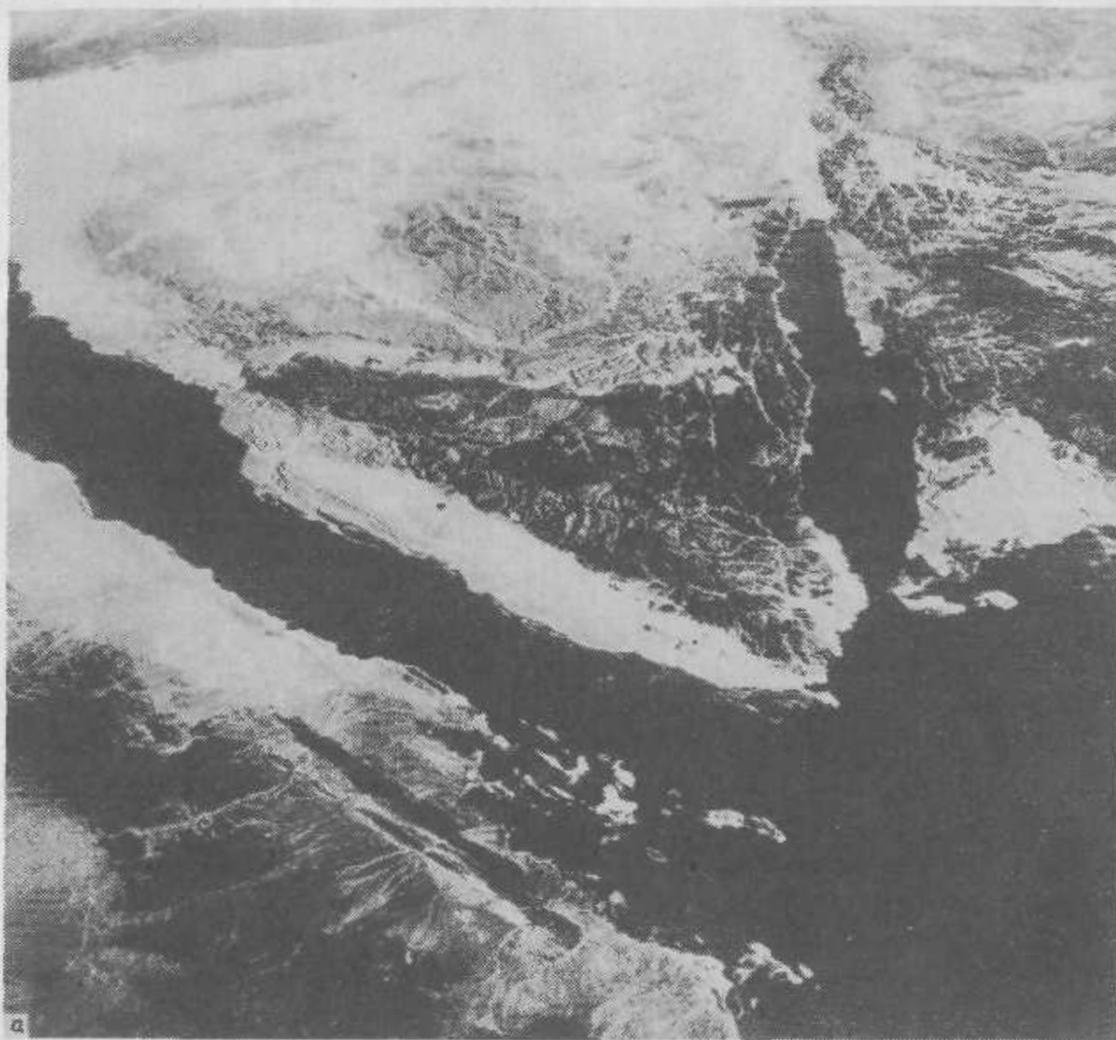


Рис. 77. Левые и правые сдвиги и системы сдвигов на космических снимках Земли

а — перспективный снимок Синайского полуострова и Акаба-Иорданского сдвига, ограничивающего с северо-запада Аравийскую платформу, полученный с космического корабля «Аполлон-7» в октябре 1968 г. Хорошо видны S-образные изгибы структур докембрийского фундамента, разрываемых заливом Акаба. Эти изгибы структур облегчили развитие разрыва и новейшие смещения по нему, амплитуда которых для неоген-четвертичного времени достигает 90 км;

б — снимок Восточного Копетдага и дельт рек Теджен и Мургаб, полученный с орбитальной станции «Салют-4» в мае 1974 г. В нижней части видна система крупных правосдвиговых смещений южнее Ашхабада, протягивающихся от гор Реза до гор Кисмар. Правее, к югу и юго-востоку от дельты р. Теджен, хорошо видны Z-образные правосдвиговые изгибы горных гряд, сложенных меловыми и палеогеновыми известняками и мергелями на северном склоне хребта Муздеран (Карадаг) и в его предгорьях;

в — сканерное изображение района сочленения хребта Кичик-Алай и Ферганского хребта в Средней Азии, полученное со спутника «Ландсэт-1» в спектральном диапазоне 0,8—1,1 мкм, сентябрь 1972 г. Хорошо видна правосдвиговая структура типа «конского хвоста» в районе Таласо-Ферганского правого сдвига в правой верхней части снимка. Такие структуры очень характерны для длительно развивающихся систем сдвиговых дислокаций



Рис. 77 (окончание)

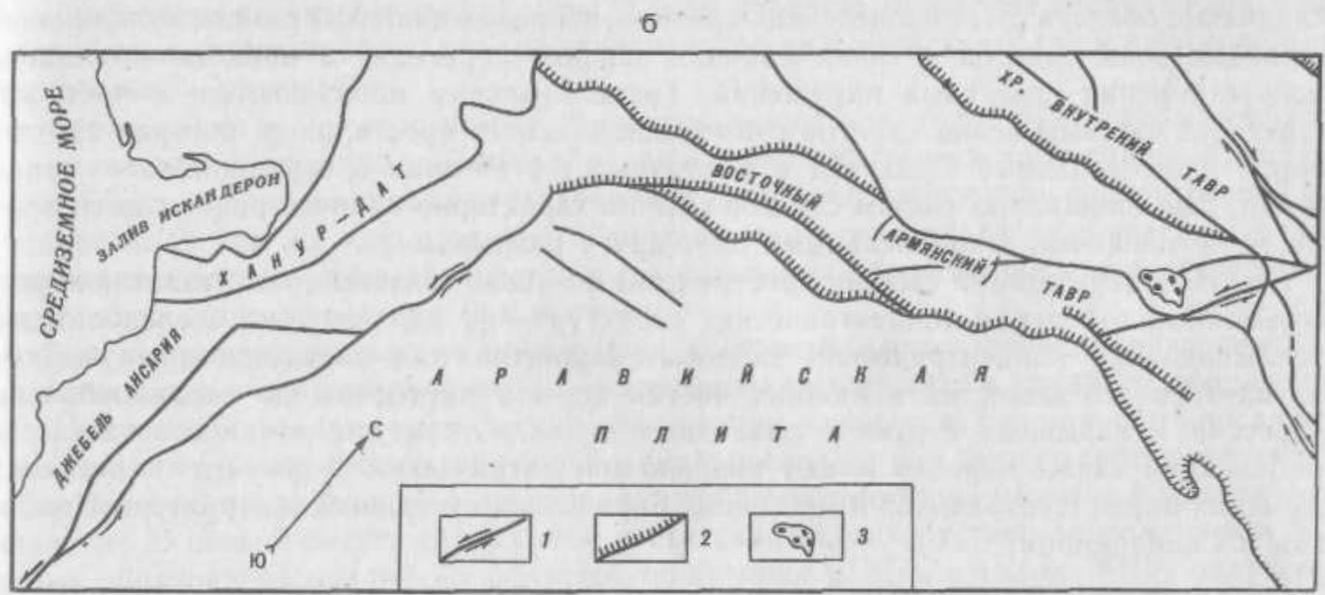


Рис. 78. Зоны орогенеза, сжатия и скупивания вещества на космических снимках Земли

а — мозаика космических снимков территории северного обрамления Аравийской плиты от Восточного Средиземноморья (район зал. Искандерон) на западе до восточной части Грузии и Армении (район г. Еревана, вулкана Арагац и оз. Севан) на востоке, полученных с космического корабля «Союз-12» космонавтами В. Г. Лазаревым и О. Г. Макаровым;

б — схема дешифрирования мозаики космических снимков, полученных с космического корабля «Союз-12». Северный край Аравийской плиты подтягивается под запрокинутые в ее направлении системы складчатых сооружений Восточного и Внутреннего Тавра и Армянского вулканического нагорья. С северо-запада плита ограничивается крупными левыми сдвигами, с северо-востока — системой правых сдвигов и сдвига-надвигов

1 — сдвиги; 2 — надвиги; 3 — вулканическое поле

Левые и правые сдвиги отчетливо распознаются на космических снимках по характерным S- и Z-образным рисункам связанных с ними изгибов линейных элементов рельефа и флексур в зонах сдвигов (рис. 77).

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 двигавшегося более жесткого блока, напоминая складки, возникающие при глажении ткани быстрым движением утюга.

Зоны сжатия и скупивания вещества коры отчетливо дешифрируются на космических снимках. Они захватывают обширные участки континентов. Огромное большинство горных сооружений и мобильных зон континентов представляют собой именно зоны сжатия. Космические снимки дают богатейшую информацию для изучения тектоники этих зон и прилегающих к ним участков материков. В большинстве зон сжатия отчетливо прослеживается блоковое строение земной коры. При этом одни блоки часто надвинуты на другие таким образом, что напользающие края блоков резко приподняты и образуют горные хребты, а погруженные края скрыты под другими блоками. Пододвигание сопровождается интенсивной линейной складчатостью, формированием шарьяжных

перекрытий и вулканоплутонических поясов. Характерный пример такого сгущения — районы Малой Азии, Кавказа, Закавказья и Западного Ирана, обрамляющие пододвигающуюся под эти районы Аравийскую плиту (рис. 78).

В некоторых случаях при сжатии поддвиговые движения сочетаются с вращательными движениями блоков, в результате чего возникает сложное чередование зон сгущения и рифтогенных структур. Это характерно, например, для районов Западного и Восточного Средиземноморья. Явления вторичного рифтогенеза широко развиты и в зонах пододвигания океанической коры под край континента; примерами могут служить рифтогенные зоны Камчатки и Анд.

Как показывает изучение материалов космических съемок, на обширных площадях взаимодействующих блоков литосферы, прилегающих к зонам сжатия, происходит формирование и развитие сложных мозаичных систем сдвигов [Шульц, 1975; Molnar, Tarponier, 1975; и др.]. Такие системы характерны, в частности, для Кавказа, восточной части Средней Азии, Центрального и Восточного Казахстана. 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. Здесь 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 простиранья, 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 друг другу разрывами.

С глубинными зонами сжатия пространственно тесно связаны зоны развития хорошо выраженных в рельефе концентрических структур — от медленно, но последовательно «всплывающих» концентрических сводовых поднятий над застывшими «пузырями» разуплотненного вещества в нижних частях коры и литосферы до воронкообразных депрессий и взрывных структур различных типов. Структуры гляциоизостатической компенсации также нередко имеют овально-концентрическую форму (дуги рисских и вюрмских морен Центральной и Восточной Европы, концентрические структуры Прибалтики и Скандинавии).

Изучение новейшей и современной геодинамики на основе обобщения данных наземных исследований современных тектонических движений, данных дешифрирования материалов космических съемок Земли и геофизических данных (прежде всего сейсмологических) в настоящее время еще только начинается. Но уже сейчас очевидно, что формы рельефа, прослеживающиеся на космических снимках континентов, не могли быть созданы при полной жесткости и стабильности внутренних частей литосферных плит. Материалы космических съемок Земли, гипсометрических съемок и сейсмологии дают для понимания межплитных и внутриплитных тектонических движений обширный фактический материал, особенно ценный при его комплексном использовании.

О Г Л А В Л Е Н И Е

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

Глава 9	Современные и новейшие экзогенные процессы	134
	Экзогенные процессы как индикаторы новейшей структуры равнинных территорий (Л И Соловьева, Г С Бурлакова, Ю А Лион)	134
	Изучение погребенной гидрографической сети на примере Туранской низменности (О М Борисов, В Н Полтавченко)	139
	Изучение и прогноз оползневых процессов (В К Кучай, с дополнениями А И Гущина, М Ю Никитина, В Д Скаряткина)	142
Глава 10	Неотектоника и морфоструктурный анализ приокеанических областей	146
	Морфотектоника и кайнозойская история формирования материковых побережий Охотского и Японского морей (А П Кулаков)	146
	Морфоструктуры молодых вулканических областей Камчатки (Б В Ежов, С Е Апрельков)	154
Глава 11	Новейшие и современные геологические процессы на шельфе (В В Шарков)	158
Глава 12	Космическая информация, новейшие тектонические движения и рельеф (С С Шульцман)	164
Часть третья		
ПРИМЕНЕНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЛИНЕАМЕНТОВ И КОЛЬЦЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ		
Глава 13	Линеаменты и кольцевые образования Восточно-Европейской платформы	173
	Балтийский щит (А В Доливо-Добровольский)	173
	Русская плита (С И Стрельников)	179
	Запад Восточно-Европейской платформы (Р Г Гарецкий, О И Карасев, Э В Левков, А А Святогоров)	185
	Юг Восточно-Европейской платформы и Скифская плита (М А Кикина, С В Порошин)	189
Глава 14	Линейные и кольцевые структуры Крымско-Кавказской области (Н В Лукина, А С Караханян, Б В Сенин, В Д Скарятин, В Г Трифонов)	195
Глава 15	Линейные и кольцевые структуры Урала (С И Стрельников)	207
Глава 16	Линеаменты Туранской плиты (Л В Флоренский, В П Крючков)	217
Глава 17	Линейные и кольцевые структуры Памиро-Тяньшаньской области (О М Борисов, А К Глих, Н Т Кочнева, В И Макаров)	226
Глава 18	Линейные и кольцевые структуры Сибирской платформы и Западно-Сибирской плиты (Б Я Пономарев)	234
Глава 19	Линеаменты Саяно-Тувинской области (В Е Гоникберг)	242
Глава 20	Линеаменты и кольцевые образования территории МНР (Г И Волчкова, В И Макаров)	249
Глава 21	Линеаменты и кольцевые образования юга Восточной Сибири и Дальнего Востока (В В Юшмаков, Г Ф Уфимцев, Ф С Онухов, В Н Ставров, с дополнениями Л В Флоренского, И В Флоренского)	254
Глава 22	Линейные и кольцевые структуры Верхояно-Колымской складчатой области (В С Кравцов)	271
Глава 23	Планетарные линейные объекты и их иерархия по геолого-геоморфологическим, гравиметрическим и космосъемочным данным высоких уровней генерализации (Б В Сенин)	276
Глава 24	Системы трансконтинентальных линеаментов Евразии (В А Буш)	287
Глава 25	Крупнейшие кольцевые структуры континентальной земной коры (А В Доливо-Добровольский)	299
Глава 26	Основные принципы, аспекты и проблемы дешифрирования и интерпретации линеаментов и кольцевых образований (В И Макаров, Б В Сенин)	305

Часть четвертая

ПРИМЕНЕНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В РУДНОЙ ГЕОЛОГИИ 322

Глава 27 **Использование космических снимков при изучении линейных рудоконтролирующих и рудоконцентрирующих структур** 322

Общие принципы анализа линейных структур (М А Фаворская) 322

Морфоструктурные и структурно-геоморфологические методы выявления сквозных рудоконцентрирующих и рудолокализирующих структур (И К Волчанская) 325

Использование космических снимков для выявления металлогенически специализированных секущих систем линейных элементов (В С Кравцов) 335

Глава 28 **Применение космических снимков при изучении мелкомасштабных кольцевых рудоконтролирующих структур** 340

Методические вопросы (Н Т Кочнева, И Н Томсон, В В Середин) 340

Кольцевые структуры в рудных провинциях Средней Азии (Н Т Кочнева, И Н Томсон) 345

Морфоструктурный анализ при структурно-металлогеническом дешифрировании космических снимков континентальной окраины юга Дальнего Востока СССР (В В Середин) 350

Морфоструктурное районирование и его значение для металлогенического прогноза в Восточно-Сихотэ-Алиньском поясе (на примере Петрозавеского и Усть-Амурского районов) (С М Тащи, А А Гаврилов) 368

Глава 29 **Применение космических снимков в исследовании структур рудных полей и месторождений** (Ю Г Сафонов, В Д Парфенов) 372

Глава 30 **Новые данные по геологическому строению Кармазарского рудного района** 383

Некоторые общие вопросы геологии и тектоники района (Е В Акимов, В И Завалин) 383

Достоверность и информативность схемы дешифрирования разрывных нарушений по космическим снимкам (Е В Акимов) 387

Глубинное строение Кармазарского рудного района и структурные позиции некоторых рудных полей и месторождений (В И Завалин) 393

Глава 31 **Геологическая позиция рудных полей и месторождений в Джидинском и Балейском рудных районах Забайкалья** (В И Микляев) 403

Часть пятая

ПРИМЕНЕНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ 413

Глава 32 **Дистанционные исследования в комплексе нефтегазопомисковых работ** (П В Флоренский, А Н Дмитриевский, И И Скворцов) 413

Глава 33 **Нефтегазоносные провинции древних платформ** 416

Волго-Уральская нефтегазоносная провинция (Д И Дмитриева, Д М Трофимов) 416

Юг Северо-Каспийской нефтегазоносной провинции (В Г Варламов, А В Гурьянов) 422

Западная часть Восточно-Европейской платформы (Р Г Гарецкий, В Я Кожегов, О И Карасев, Э В Левков, А Л Святогор) 426

Днепровско-Припятская газонефтеносная провинция (В И Гридин) 428

Наземные и дистанционные геотермические исследования нефтяных месторождений (В И Лялько, М М Митник) 438

Отражение структуры фундамента нефтегазоносных провинций Восточно-Европейской платформы на космических снимках (Д В Лопатин) 442

Украинский щит (Я И Беловцев, С С Быстревская) 446

Восточно-Сибирская газонефтеносная провинция (А В Копылов, П В Флоренский, Т В Флоренская) 450

Глава 34. Нефтегазоносные провинции молодых плит	454
Туранская нефтегазоносная провинция (В. П. Крючков, А. Н. Руднев, П. В. Флоренский)	454
Ферганская нефтегазоносная область (В. К. Флоренский)	460
Предкавказская нефтегазоносная провинция (А. А. Логачев, Ю. А. Романов, А. Н. Шардаков)	465
Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция	469
Ландшафтно-индикационные признаки глубинной структуры (Л. И. Соловьева, Г. С. Бурлакова, Н. С. Посошкова, В. А. Козлов)	469
Структуры газонефтеносных районов (В. В. Боровский, А. Л. Клопов, И. Д. Песковский, Л. Л. Подсосова)	479
Сургутский свод (Е. Л. Курбала)	484
Глава 35. Нефтегазоносные провинции альпийских впадин	486
Закавказская нефтегазоносная провинция (М. В. Аллахвердиев, Н. А. Ашумов, В. Н. Ермолаев)	486
Западно-Туркменская нефтегазоносная провинция (Г. И. Амурский, М. С. Бондарева, Л. В. Пименова)	490
Глава 36. Эффективность применения методов дистанционного изучения нефтегазоносных территорий (В. И. Гридин, П. В. Флоренский)	497
Заключение (В. Г. Трифонов, В. И. Макаров, Ю. Г. Сафонов, П. В. Флоренский)	502
Литература	506



Рис. 95. Карта линейментов и дуговых структур Саяно-Тувинского региона и его обрамления

1 — линейменты и дуговые структуры: а — четкие и непрерывные, б — относительно менее четкие и (или) прерывистые, в — распыленные (линейные и дуговые орографические и ландшафтные аномалии); 2 — то же, активно проявившиеся в рельефе и новейшей морфоструктуре (а, б, в соответствуют а, б, в знака 1); 3, 4 — то же, наиболее активно проявившиеся в рельефе (3 — уступы, 4 — борозды)



1 2 3 4 5 6 7 8

Рис. 144. Схема структурно-тектонического районирования Волго-Уральской нефтегазоносной провинции по космическим и геолого-геофизическим данным [Карта..., 1976]

а — схема структурно-тектонического районирования Волго-Уральской провинции; б — розы-диаграммы линеаментов и разломов блоковых структур Волго-Уральского района.

1 — линеаменты; 2 — линеаментные мегазоны; 3 — линеаментные зоны; 4, 5 — разломы: 4 — выявленные по геолого-геофизическим данным, 5 — дешифрируемые на космических снимках; 6 — изометричные структуры; 7 — изогипсы по кровле фундамента (в км); 8 — месторождения нефти и газа. Зоны и мегазоны дислокаций: А — Астраханско-Сулинская; Б — Приуральская; В — Орско-Варшавская; Г — Куршско-Красноуфимская; Д — Скандо-Солнцямская; Е — Тиманская; Ж — Самаро-Токская. Блоки: I — Сыктывкарский, II — Кировско-Пермский, III — Ульяновско-Уфимский, IV — Куйбышевско-Оренбургский. Анкладогенцы: 1 — Вятский, 2 — Серноводско-Абдулинский

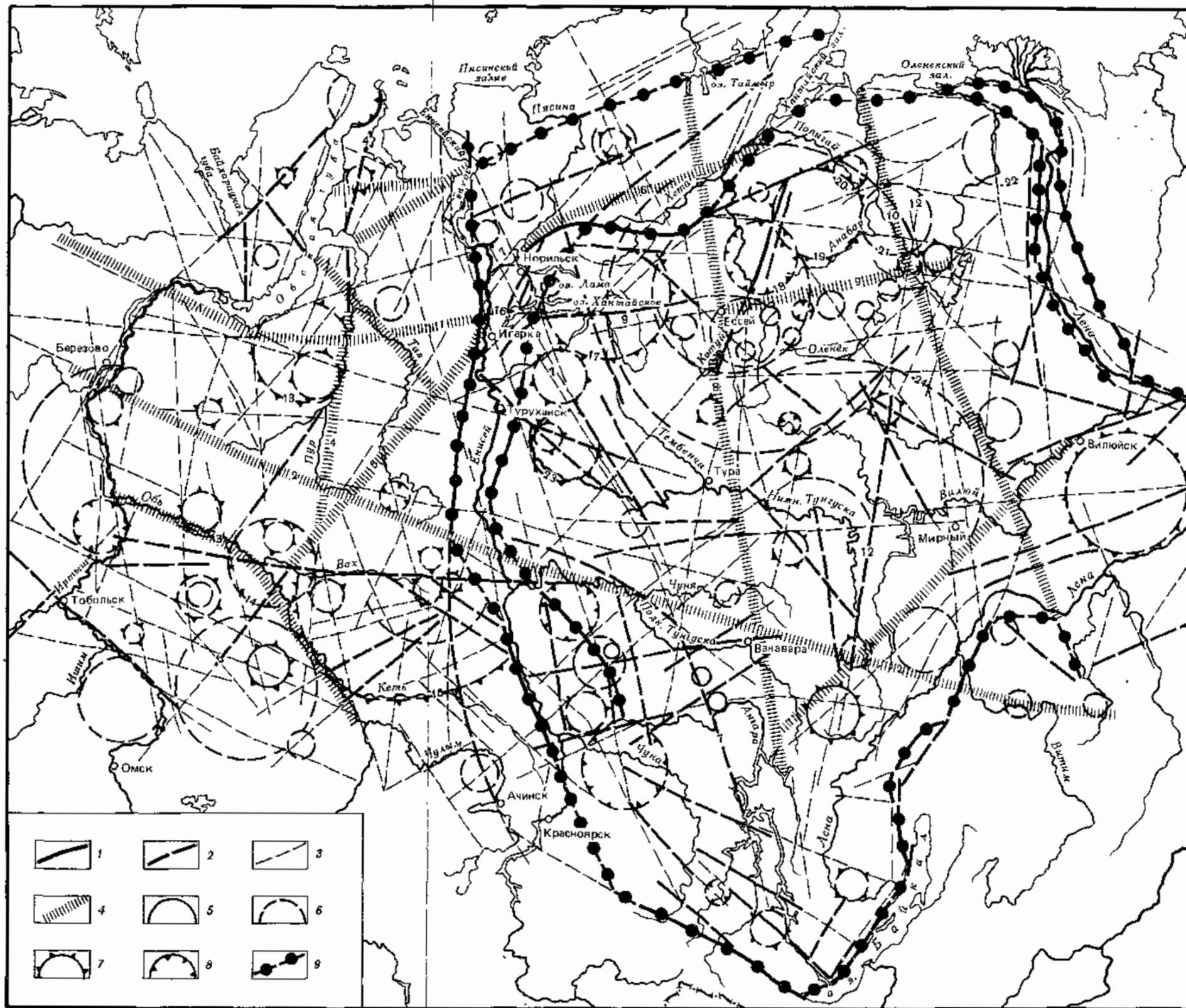


Рис. 94. Карта линеаментов и кольцевых структур платформенных областей Сибири по данным дешифрирования космических снимков

1—3 — линеаменты, выраженные на космических снимках очень четко (1), хорошо (2) и слабо (3); 4 — линеаментные зоны; 5—8 — кольцевые структуры, выраженные на космических снимках хорошо (5), слабо (6), образующие в рельефе поднятия (7) и опускания (8); 9 — линеаменты, интерпретируемые как красные швы, ограничивающие платформы, красные структуры и складчатые системы.

Крупнейшие линеаментные зоны (цифры на схеме): 1 — Салехард-Хантайская, 2 — Березовско-Ванаварская, 3 — Обская, 4 — Пурско-Гыданская, 5 — Омско-Игарская, 6 — Пясинно-Хантайская, 7 — Ангаро-Норильская, 8 — Ангаро-Таймырская, 9 — Хантайско-Кунамская, 10 — Анабаро-Вилуйская, 11 — Ангаро-Вилуйская, 12 — Илимско-Айхальская; кольцевые структуры: 13 — Надымская, 14 — Нижнеартовская, 15 — Обь-Енисейская, 16 — Норильская, 17 — Путорацкая, 18 — Котуйская, 19 — Анабарская, 20 — Пошгайская, 21 — Куонамская, 22 — Оленская, 23 — Нижнетунгуская, 24 — Верхневилуйская

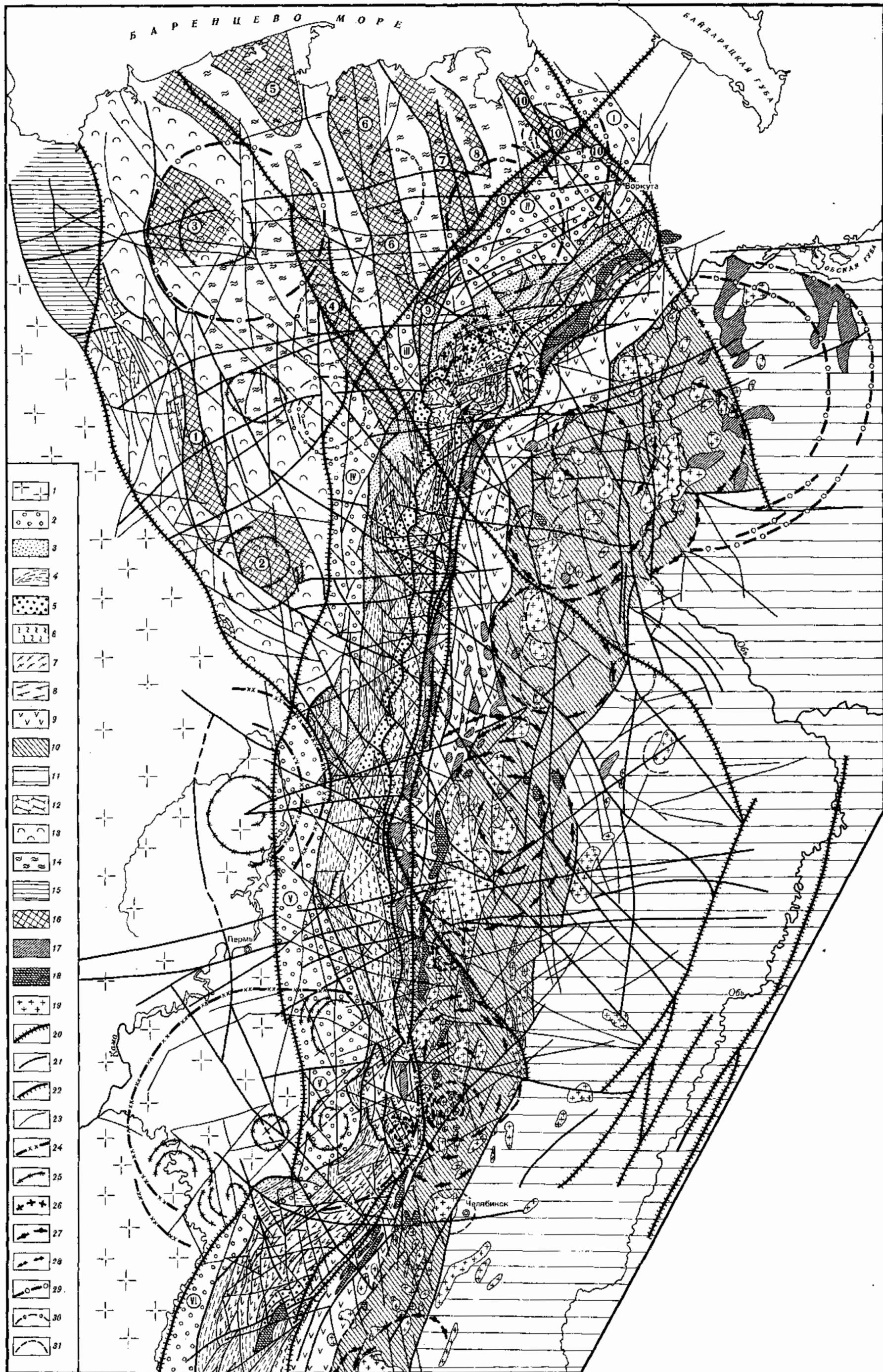


Рис. 86. Тектоническая схема Урала. Составлена с использованием результатов дешифрирования телевизионных космических снимков

1 — кристаллический фундамент Русской плиты; 2 — Предуральский краевой прогиб, расчлененный поперечными поднятиями на ряд изолированных впадин (I — Короталинская, II — Косью-Роговская, III — Большесытинская, IV — Верхнепечорская, V — Юрюзано-Солдкамская, VI — Бельская); 3—5 — структурные комплексы Западно-Уральской многоосевно-инклиной зоны складчатости: 3 — верхний терригенный каменноугольный, 4 — средний терригенно-карбонатный девонско-каменноугольный, 5 — нижний, преимущественно карбонатный, ордовинско-силурийский; 6 — метаморфические комплексы протерозоя-кембрия Центрально-Уральской антиклинальной зоны; 7 — архейско-раннепротерозойские комплексы Хобейского массива Лялинского антиклинория и Уфалейского купола; 8 — позднекембрийские метаморфические комплексы Бишкырского антиклинория; 9 — палеозойские вулканогенно-осадочные толщи Тагильно-Магнитогорского прогиба; 10 — палеозойские вулканогенно-осадочные и докембрийские метаморфические комплексы Восточно-Уральского поднятия; 11 — область развития структурно-формационных комплексов Восточно-Уральского прогиба и Зауральского поднятия; 12 — выход на дневную поверхность байкальской котловинной области; 13 — нижний палеозойский терригенно-карбонатный комплекс Большеземельской котловинной области; 14 — верхний мезозойско-кайнозойский, преимущественно терригенный комплекс Большеземельской котловинной области; 15 — Сафоновский прогиб, соответствующий выступу фундамента (I — Ижемское, 2 — Омра-Сояинское, 3 — Тобышское, 4 — Печоро-Колвинский мегавал, 5 — южное окончание Малоземельского свода, 6 — Колвинский мегавал, 7 — Верхнеколвинский мегавал, 8 — Варандейский вал, 9 — поднятие гряды Чернышова, 10 — поднятие Чернова); 17—19 — массивы магматических пород: 17 — габброиды, 18 — гипербазиты и другие основные и ультраосновные комплексы зоны Главного Уральского разлома и Тагильно-Магнитогорского прогиба, 19 — граниты, плагиограниты, графодиориты; 20—23 — крупнейшие линейные разломы: 20 — I порядка, 21 — II порядка, 22 — Главный Западно-Уральский надвиг, 23 — прочие; 24—31 — крупнейшие кольцевые разломы: 24 — ограничивающие овалы типа гнейсовых овалов в фундаменте Русской плиты, 25 — связанные с выступами фундамента Русской плиты, 26 — ограничивающие Лялинскую структуру — срединный массив, 27 — областей гранитизации Восточно-Уральского поднятия, 28 — ограничивающие гнейсово-магматитовые купола, 29 — неясного генезиса, очевидно, связанные с крупными древними блоками фундамента, 30 — II порядка, неясного генезиса, 31 — связанные с внедрением интрузивных массивов



Рис. 80. Схема основных линейментов и структур центрального типа Русской плиты. Составлена с использованием материалов В. П. Кирыкова и С. Н. Тихомирова

1 — линейменты, отдифференцированные на космических снимках; 2 — кольцевые разломы, ограничивающие структуры центрального типа; 3 — архейские массивы кристаллического фундамента; 4 — архейско-протерозойские складчатые системы кристаллического фундамента; 5 — крупные массивы гранитоидов в фундаменте; 6 — изогипсы поверхности фундамента (в км); 7 — основные разломы на поверхности фундамента; 8 — контуры Русской плиты.

Цифрами на схеме обозначены: структуры центрального типа: 1 — Прибалтийская, 2 — Новгородская, 3 — Тверская, 4 — Белозерская, 5 — Вологодская, 6 — Онежская, 7 — Котлянская, 8 — Вильюсская, 9 — Западно-Белорусская, 10 — Могилевская, 11 — Гомельская, 12 — Припятская, 13 — Волянская, 14 — Подольская, 15 — Ворошиловградская, 16 — Тамбовская, 17 — Медведицкая, 18 — Орлово-Липецкая, 19 — Курская, 20 — Ердиево-Лужская, 21 — Горьковская, 22 — Ковернинская, 23 — Вятско-Сыктывкарская, 24 — Ветлужская, 25 — Уфимская; архейские массивы: 1 — Беломорский, 2 — Вычегодский, 3 — Вятский, 4 — Камский, 5 — Пермский, 6 — Горьковский, 7 — Волго-Уральский, 8 — Новгородский, 9 — Вышневолоцкий, 10 — Даугавпилский, 11 — Западно-Литовский, 12 — Минский, 13 — Бобруйский, 14 — Черкасский, 15 — Приднепровский, 16 — Воронежский, 17 — Приазовский, 18 — Подольский