

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, линеаментов 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. Moraleov, Yu. G. Safonov,
V. G. Trifonov, P. V. Florensky

Responsible editors:

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

Общие положения¹

Важнейшей областью применения космических снимков в орогенических областях является изучение структур фундамента, скрытых мезозойско-кайнозойскими толщами осадочного чехла. В зависимости от конкретной геологической обстановки и стиля дислокаций складок покрова, геофизической изученности территории прогнозирование глубинного строения на основе космических снимков может проводиться с разной достоверностью. Так, в Таджикской депрессии по геологическим данным предполагался значительный срыв по юрским соленосным толщам осадочного мезозойско-кайнозойского чехла с эпипалеозойского фундамента [Захаров, 1970]. Дискордантность структурных планов чехла и основания подтверждается магнитометрическими и гравиметрическими данными [Белеловский, 1964] и проявляется в рельефе подошвы земной коры [Кулагина и др., 1974]. Разномасштабные космические снимки отразили дискордантность разноглубинных структурных планов Таджикской депрессии, но в то же время показали связь складок основания и складок покрова и зависимость распределения последних от структуры основания [Макаров и др., 1974; Макаров, Соловьева, 1976; Геологическое..., 1978].

Комплексирование геологической и геофизической информации с дешифрированием разномасштабных космических снимков позволило более однозначно установить тектоническое соотношение Памира и Тянь-Шаня. Северная граница зоны их сочленения, по геологическим представлениям совпадающая с долиной р. Сурхоб-Кызылсу, образована двумя глубинными или краевыми разломами — Южно-Тяньшаньским и Вахшским. Первый из них проводится по правому борту долины Сурхоб-Кызылсу и трактуется обычно как глубинный, почти вертикальный, несколько наклоненный под Тянь-Шань дизъюнктив (взброс или сброс). На поверхности с этим разломом связывают границу комплекса в основном метаморфических палеозойских пород Тянь-Шаня и перекрывающих их по подножию Гиссарского хребта мезозойских отложений [Атлас..., 1968], а также почти километровый тектонический уступ, выраженный в рельефе [Чедия, 1972].

Вахшский надвиг [Губин, 1960; Суворов, Самыгин, 1965; Атлас..., 1968] проводится по левому борту долины р. Сурхоб-Кызылсу вдоль подножия хребта Петра Первого и отделяет так называемые внешнепамирские фации мезозойских отложений от гиссарских.

На мелкомасштабном космическом изображении долине р. Сурхоб-Кызылсу соответствует один линеамент. На крупномасштабных изображениях этого района, переданных со спутника «Ландсэт-1», структура читается очень отчетливо. Зона интенсивных дислокаций, выраженных малыми линеаментами, приурочены к северному склону хребта Петра Первого, где эти линеаменты практически совпадают с границами отдельных надвиговых (складчато-надвиговых) чешуй и приуроченных к ним оползневых структур [Скобелев, 1977; Скобелев, Флоренский, 1975]. В центральной части хребта, между Гармом и Таджикабадом (Хаит), линеаментная зона смещается к югу, к водоразделу хребта. Трапецевидная (в плане) форма зоны небольших по протяженности линеаментов наводит на мысль о наличии под этой частью хребта Петра Первого блока палеозойских пород Южного Тянь-Шаня. Это не противоречит и геофизическим данным [Кулагина и др., 1974; Кулагин и др., 1976]. На карте плотности сейсмического фона [Нерсесов и др., 1974] этому участку соответствует максимальная плотность очагов мелких слабых землетрясений. Это также подкрепляет наши предположения о существовании в этом районе резкой тектонической границы на небольшой глубине и гипотезу И. Е. Губина [1960]. Анализ скоростных разрезов и схем глубинного строения земной коры [Кулагина и др., 1974] и геологической природы выделенных по геофизическим данным структур показал, что горные породы Тянь-Шаня (скорость продольных волн $V_p = 5,3$ км/с) смещены в сторону Памира и находятся на глубине около 5—10 км. Ниже их расположены горные породы, скорость сейсмических волн в которых близка к скорости их в комплексе палеозойских пород Памира ($V_p = 6,1$ км/с). Эти образования выдвинуты к северу примерно до подножия Южного Тянь-Шаня (до Южно-Тяньшаньского разлома).

Таким образом, на основании рассмотренных данных фактически существующим в верхних горизонтах земной коры оказывается только Вахшский надвиг, который в поверхностной геологической структуре представляет собой сложную зону чешуй, а на

¹ Раздел написан С. Ф. Скобелевым.

глубине — некоторую границу раздела между осадочными толщами мезозойских пород хребта Петра Первого и палеозоидами Южного Тянь-Шаня, под которые подвинут «Памирский» блок пород.

Южно-Тяньшаньский разлом в такой трактовке представляет собой поверхностную флексурную зону — крыло складки основания, осложненную на поверхности разрывами, сбросами в зоне горизонтального растяжения, которая отражает выступ мантийных пород под всей зоной сочленения Памира и Тянь-шаня. Это предположение удовлетворительно согласуется с результатами дешифрирования мелкомасштабных изображений, а также с тем, что породы Памира более метаморфизованы, чем породы Тянь-Шаня, что неоднократно отмечали многие исследователи, начиная с И. В. Мушкетова [1915].

Таким образом, изображения Земли из космоса в комплексе с геологической, геохимической и геофизической информацией позволяют проводить пространственную корреляцию структур во всем объеме земной коры. При этом космические изображения служат основой для изучения взаимоотношений структур в плане, тогда как информация, полученная наземными методами (в основном геофизические данные), характеризует глубины распространения деформаций [Геологическое..., 1978].

Для областей новейшей орогении в связи с особенностями геологического строения и практическими задачами целесообразно применение комплекса разномасштабных изображений Земли из космоса, с тем чтобы закономерности, познанные на отдельных тестовых участках, на которых возможно проведение комплексных геофизических исследований (например, в межгорных и предгорных впадинах), перенести в районы с более сложной геологической ситуацией, учитывая их специфику.

С помощью аэрокосмических снимков можно изучать парагенезисы складчато-разрывных структур и слагающие их формации горных пород. Геологические структуры на изображениях из космоса дешифрируются в большинстве случаев по комплексу признаков, которые не являются прямыми или косвенными в принятом при дешифрировании аэрофотоснимков понимании этих терминов, но в принципе непосредственно характеризуют геологическое строение отснятой территории. Существенной особенностью дешифрирования даже крупномасштабных космических снимков, имеющих высокое разрешение (20—100 м), является то, что такие признаки, как цвет породы, особенности ее макроструктуры и характер выходов на поверхность, т. е. признаки, обычно считающиеся прямыми при дешифрировании аэрофотоснимков, на космическом изображении проявляются достаточно редко. Значительно чаще дешифровочными признаками оказываются те свойства толщ, которые при полевых исследованиях относятся к косвенным характеристикам. Это характер делювия или элювия, микрорельеф, характер почвенно-растительного покрова, особенности мезорельефа и выраженность в нем тех или иных толщ, усредненные характеристики пород, входящих в состав этих толщ. Иными словами, это те признаки, из которых складывается облик значительных по мощности (обычно на порядок выше, чем предельное разрешение снимка) и состоящих из разных пород пачек, свит, серий и других литолого-стратиграфических подразделений [Трифонов и др., 1973; Геологическое..., 1978].

Для дешифрирования геологической структуры важным оказывается характер четвертичного и современного осадконакопления, поскольку благодаря последнему можно отличать синформные и антиформные структуры, впадины и поднятия. Зоны флексурно-разрывных деформаций, нарушающие эти структуры, проявляются на космических изображениях любого масштаба в виде линеаментов и линеаментных зон, иначе говоря, в виде линейной упорядоченности структурных элементов земной коры. Но линейная упорядоченность структурных элементов не обязательно связана с разрывными деформациями, в большей степени она может служить выражением пластических деформаций — структур течения. На космических изображениях структурные рисунки такого типа наблюдаются в зоне сочленения Памира и Тянь-Шаня, Загроса, Сулейман-Кирхтарских цепей и в ряде других мест. Напротив, гомогенные древние кристаллические массивы щитов в районах с достаточно хорошей обнаженностью имеют на космических изображениях крупного масштаба полигональные рисунки, которые перемежаются с каплевидными и шевронными.

Подобные структурные рисунки пластических деформаций, но меньших размеров, характерны для метаморфических толщ высоких степеней метаморфизма. При этом полигональные рисунки отражают высокую степень гомогенности среды, тогда как шевронные — наличие тонкослоистых механических разнородных сред и обязательное присутствие прослоев повышенной механической жесткости. Кроме того, если первые характерны для заключительного этапа пластического течения горных пород в резуль-

тате многократно повторяющихся тектонических нагрузжений, давления и температуры в течение длительного времени, т. е. связаны в основном уже с физико-химическими превращениями вещества, то вторые свидетельствуют о начальных стадиях пластического течения вещества, при которых возникновение множества сколовых поверхностей (так называемого кливажа скола или кливажа течения) на следующей ступени увеличивает механическую пластичность толщ в зонах динамометаморфизма [Паталаха, 1970].

Структуры основания проявляются на поверхности Земли и соответственно на космических изображениях различным распределением новейших отложений, областей эрозии и аккумуляции и различным, но упорядоченным расположением структур покрова и других образований. Согласно принципу генерализации геологической структуры на разномасштабных изображениях отчетливо выявляются основные, определяющие современную геологическую структуру региона тектонические элементы земной коры, а также наложенные на них второстепенные структурные единицы. Последние нередко бывают выражены в структуре поверхности — мезоструктуре — более резко, чем ее главнейшие элементы, подобно тому как волны различной частоты, налагаясь друг на друга, или увеличивают свою амплитуду, или же уменьшают ее. При проведении геологических и геофизических исследований второстепенные, доступные непосредственному наблюдению наложенные структуры обращают на себя внимание четкостью выражения в деформациях поверхности и верхних слоев земной коры, в то время как более крупные элементы тектонического строения выявляются лишь в результате региональных обобщений, которые, как правило, сводятся к анализу пространственных взаимоотношений разновозрастных тектонических структур. В этой связи на современном уровне проведения региональных геологических исследований необходимо комплексирование данных наземных наблюдений с данными разномасштабных космических съемок. Последние позволяют непосредственно изучать тектонические взаимоотношения структур в пространстве по рисункам их пространственно-генетических ассоциаций, поскольку на космическом изображении земной поверхности независимо от исследователя уже зафиксирован результат взаимодействия множества элементов геологической структуры как развивающейся целостной системы. Однако решение задачи пространственной корреляции структуры с помощью космических изображений возможно только на основе системного подхода, который предполагает выделение главных и второстепенных целей исследования и в соответствии с этим анализ структуры системы, выделение ее главных и второстепенных элементов, их связей и взаимодействий.

Анализ систем предполагает также логический подход к исследованию, когда система берется в своей наиболее развитой фазе и из нее выделяются наиболее простые, всеобщие элементы. На космических изображениях такими элементами являются фотообразы основных форм рельефа, зон современной (и четвертичной) эрозии и аккумуляции.

Аэрокосмическое изображение отражает современную структуру поверхности Земли и земной коры. Это же состояние развития геологической системы отражают и структурные карты, построенные по геофизическим данным и данным бурения, а также собственно геологические и геоморфологические карты. Комплексирование данных о современной структуре позволяет получить наиболее полное представление о геологическом строении земной коры региона и построить наиболее точную его модель, которая служит основой при различных палеогеографических и палеотектонических реконструкциях. Сопоставление результатов изучения современной структуры с историко-геологическими данными приводит к представлению процесса в его развитии и, следовательно, к более надежному прогнозированию определенных геологических ситуаций в зависимости от целей исследования.

Рассмотрим некоторые аспекты применения космических снимков при структурно-геологических исследованиях в горно-складчатых областях на примерах северного горного обрамления Ферганской впадины и Северо-Востока СССР.

Разломы и офиолиты северного обрамления Ферганской впадины¹

Регион характеризуется сложным геологическим строением, различным в западной и восточной частях, и наличием многочисленных разновозрастных разрывных нарушений. Западная часть региона (Чаткальский сектор) имеет блоковое строение, в то время как для восточной (Баубашинский сектор) характерно наличие покровов и чешуй. В связи

¹ Раздел написан И. И. Войтовичем.

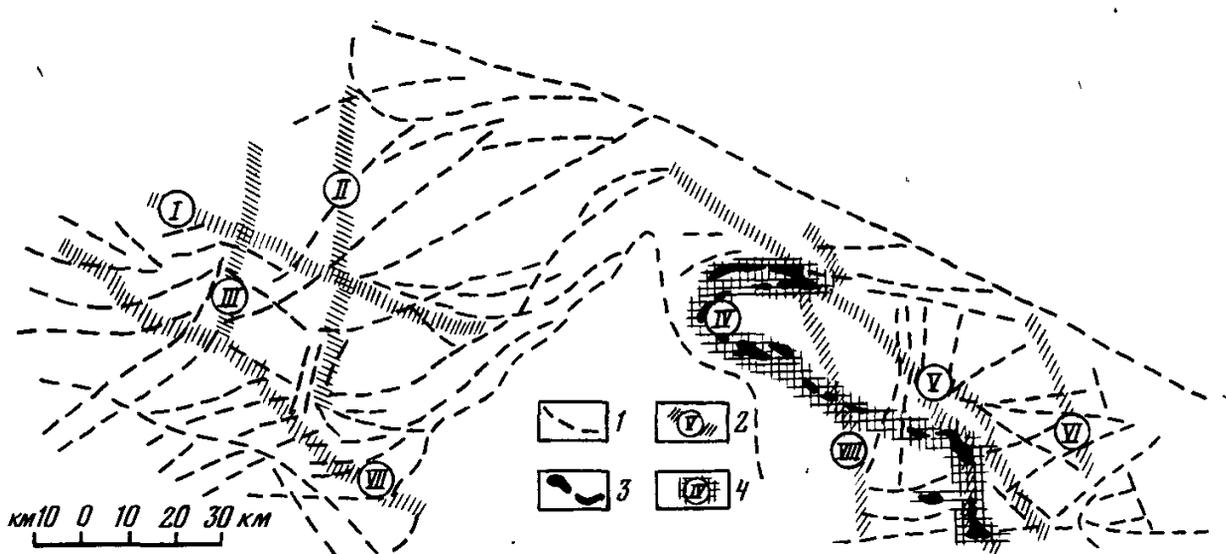


Рис. 20. Схема разрывной тектоники северного обрамления Ферганы по результатам дешифрирования космических снимков

1 — линияменты, отождествленные с разломами; 2 — линияментные зоны; 3 — ультрабазиты; 4 — габбро-серпентиновый меланж. Объяснение римских цифр — в тексте

с этим была возможность сравнить дешифрируемость разломов на двух соседствующих площадях разного геологического строения.

Дешифрировались космические снимки масштаба 1:1 000 000. Составлена схема отдешифрированных разломов (рис. 20), которая сравнивалась со схемой разломов по данным наземных съемок. Литолого-стратиграфические и интрузивные комплексы на снимках такого масштаба картируются с трудом. Опознаются лишь крупные массивы карбонатных пород, иногда позднепалеозойские молассы. Разломы выделяются лучше. В Чаткальском секторе наиболее легко опознаются разломы северо-восточного, близкого к широтному простирания (Центрально-Чаткальские). Они отличаются светлым фототонном за счет развития зон осветленных брекчированных пород и известково-железистых брекчий. По смене светлых полос, отвечающих известнякам, более темными, соответствующими эффузивам и песчаникам, хорошо различаются Атойнакский разлом и его западные продолжения (Мискенский, Сокурбельский и др.), а также расположенная несколько южнее Падшаатинская группа разломов. В некоторых местах расширения выходов карбонатных пород видны флексурные изгибы и «притыкание» тонкой штриховки светлых пород к темным.

В юго-западном направлении система Кассанских разломов образует «конский хвост», а затем по выходе на Ангренское плато (на северо-восточных краях Кураминской структурно-фациальной зоны) она терняется. Сходными с указанными дешифровочными признаками обладают разломы верховьев р. Чаткал, ограничивающие с севера Афлатунский синклинорий. Кроме того, в бассейне р. Чаткал по снимкам зафиксированы два крупных разлома, не выявленные геологической съемкой. Один из них проходит почти параллельно современному руслу Чаткала, несколько южнее его, а другой прослеживается в карбонатных толщах вдоль левого борта долины реки. В районе устья р. Чанач-северный оба разлома сочленяются. Из системы северо-западных разломов наиболее четко опознаются Кушартский, Коксарекский, Северо- и Южно-Чаначский.

Восточнее Чаначских разломов выделены два новых субпараллельных разрыва северо-западного направления, причлняющихся на юго-востоке к Атойнакскому разлому. Крупный разрыв длиной около 80 км выявлен в юго-западной части региона на границе Кураминской и Чаткальской зон. Геологическими съемками здесь обнаружено несколько коротких дугообразных сбросов и взбросов, ограничивающих с северо-востока выходы эффузивов минбулакской свиты среднего карбона.

Субмеридиональные разломы, представленные главным образом крутыми сбросами, не образующими мощных зон измененных пород, на космических снимках распознаются плохо. Из этой системы более или менее достоверно фиксируются Акташские сбросы, образующие одноименный грабен на северном склоне Чаткальского хребта. Кумбельский, Ачикташ-Даванский и Раватский сбросы в виде единых линий на космических снимках не просматриваются. Ачикташ-Даванский разлом совпадает с линияментом II, прослеживающимся с севера на юг от Таласского хребта, через Сандалашский хребет и через долину р. Чаткал до водораздела Чаткальского хребта. Кумбельский разлом является северной, а Раватский — южной составляющей сумеридионального линиямента

III, прослеженного почти параллельно линеamentу IV. Последние устанавливаются по комплексу признаков: смене фототона, фрагментам разрывов, субпараллельным пересекающимся системам трещин-полосок и др.

Кроме субмеридиональных, в Чаткальском секторе по космическим снимкам выделяются два линеamenta северо-запад — юго-восточного направления (см. рис. 20). Линеament I прослежен от р. Чанач-южный вдоль северо-восточного края Каратерекского поднятия до устья р. Сандалаш и далее к северо-западу, до верховьев р. Каракорум-Кёксу в Пскемском хребте. На северо-западном окончании этого линеamenta среди терригенно-карбонатных толщ среднего палеозоя закартирован выход метаморфических сланцев докембрия. Расположенный к юго-западу от него линеament VII обрывает линеamentы субмеридионального простирания (II и III) и прослеживается с юго-востока на северо-запад на расстояние до 100 км.

В Баубашатинском секторе наиболее интересной структурной линией, фиксирующейся по космическим снимкам, является зона габбро-серпентинитового меланжа (IV), развитого во фронте Каракорумского надвига (см. рис. 20). На снимках серпентиниты выделяются серым фототонем, несколько более темным, чем на сересуйском флише, но светлее близлежащих амфиболитов майлисуйской серии. Возможно, здесь еще помогает своеобразный ландшафт: мочажины, озерки, многочисленные родники, оползни, блестящая поверхность обломков серпентинитового элювия. С северо-запада на юго-восток габбро-серпентинитовый меланж пересекается линеamentом VIII, прослеженным от верховьев р. Карасу-западная на стыке Атойнакского и Чаткальского хребтов до правобережья р. Майлису. Как и предыдущие линеamentы, он улавливается на снимках по комплексу признаков. В южной части поверхностным отражением его являются смена флишоидной толщи молассой (смена фототона), изгибы пачек и слоев, в средней части он совпадает с Акбельской зоной разломов, отделяющих разрезы Майлисуйской и Сересуйской структурно-формационных зон, а на северо-востоке он проходит через массив ультрабазитов. Восточной ветвью этого линеamenta является линеament V, который ограничивает крайние с востока выходы ультраосновных и метаморфических пород и является, по существу, границей Майлисуйской и Сересуйской аллохтонных зон с баубашатинским автохтоном.

Незначительный по протяженности линеament северо-запад — юго-восточного простирания (VI) прослежен в крайней восточной части территории (см. рис. 20). К северу от Отузартской впадины он отделяет имеющиеся здесь фрагменты разрезов Срединного Тянь-Шаня от южнотяньшаньских, а к югу он гасится тектоническим покровом. Разрывные структуры — сбросы и сбросо-сдвиги, которые, как указывалось выше, смещают надвиги, на космических снимках распознаются плохо. Из них более или менее достоверно выделяются некоторые разломы Баубашатинской группы, имеющие северо-восточное, близкое к широтному простирание. К северу от них выделено несколько проблематичных субмеридиональных разломов, которые не фиксировались геологической съемкой. Не удалось также распознать очень контрастную группу Оялминско-Балыкуртских покровов на правобережье р. Нарын, в северной части Баубашатинского сектора, сложенных кремнисто-вулканогенно-сланцевыми толщами, перекрывающими светлые массивно-слоистые известняки.

В результате дешифрирования космических снимков получен ряд существенно новых данных по разломной тектонике региона. Установлена более высокая степень дешифрируемости территории блокового строения по сравнению с территорией чешуйчато-покровного строения. Подтверждено наличие основных систем разломов, выявленных наземными наблюдениями, а также выделены новые разломы, не устанавливаемые геологической съемкой. При этом замечено, что лучше других на космических снимках распознаются разломы типа взбросов, образующие на местности зоны дробления и гидротермального изменения пород.

По комплексу признаков выделена зона габбро-серпентинитового меланжа и уточнено ее положение в общей структуре региона. Установлено восемь линеamentов секущего направления по отношению к основным системам разломов. Видимо, это глубинные структуры, природу и характер которых можно будет установить только с привлечением данных геофизики, геохимии и др. Бесспорно, что более широкое использование материалов космических съемок позволит получить намного больше новых данных о разломах и вообще о геологическом строении этой территории.

Горно-складчатые области Северо-Востока СССР¹

Исследованный район охватывает юго-восточную часть Яно-Колымской складчатой системы мезозой, Хасынскую дугу Охотско-Чукотского вулканогенного пояса и западную ветвь Тауйско-Тайгоносской позднемезозойской складчатой зоны [Геология..., 1970]. В строении региона доминируют мощные и сложно дислоцированные песчано-глинистые толщи пермской, триасовой и юрской систем (верхоянский комплекс), пронизанные крупными батолитоподобными интрузиями гранитоидов позднеюрско-раннемелового возраста (колымский комплекс), мел-палеогеновые вулканиты кислого, среднего и основного состава и интрузии ранне- и позднемеловых гранитов, гранодиоритов, диоритов и габбро (охотский комплекс). Орогенные впадины выполнены континентальными осадками позднеюрско-раннемелового и неоген-четвертичного возраста. Крупные глубинные разломы северо-западного, северо-восточного и широтного простираний, которые ограничивают важнейшие структурно-формационные зоны мезозой и Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, имеют длительную историю развития и, как правило, в той или иной мере активизированы в новейшую и современную эпохи.

Дешифрировались космические изображения, полученные со спутников «Метеор». Выделенные на снимках линейные и кольцевые элементы (рис. 21) ограничивают блоки с различной высотой вершинной поверхности, контролируют расположение и морфологию долин, образуют геоморфологические уступы и рвы и т. п. Тектоническая природа таких элементов следует из общего анализа структурных зон [Глушкова, Смирнов, 1977]. Тем не менее в поле отыскивались структурные подтверждения выделенных линеаментов, свидетельствующие о наличии разрывных нарушений: зоны дробления, зеркала и борозды скольжения, специфическая минерализация.

Отдешифрированные линейные элементы можно разделить на три группы: линеаменты — единичные разломы большой протяженности, сопровождаемые узкими зонами повышенной трещиноватости; системы линеаментов — кулисообразные группы близких по простиранию разломов, разделенных десятками километров; линеаментные зоны — сравнительно узкие полосы большого числа сближенных разломов и иных линейных нарушений.

Детрино-Бохапчинский линеамент северо-восточного простирания прослеживается от среднего течения р. Челомджа вдоль р. Детрин на правом берегу р. Бохапча. Линеамент маркируется расположенными на одной линии долинами рек и высокими неотектоническими уступами. К нему приурочены локальные купольные структуры. Характерна интенсивная трещиноватость поверхности в полосе 10—15 км. Местами к линеаменту приурочены границы вулканических покровов и нарушения складчатых структур. В северо-восточной части он совпадает со скрытым магмоконтролирующим Бохапчинским глубинным разломом.

Янский линеамент прослеживается вдоль среднего и верхнего течения р. Яны и через верховья рек Хурэн и Кулу в виде узкой полосы неотектонических дислокаций и интенсивной трещиноватости. Высота блоков с разных сторон от этой полосы нередко различается на 200—500 м. Линеамент является северо-восточной границей Инского района пологих дислокаций, контролирует расположение вулканических полей, интрузий гранитоидов и субвулканических тел. Он выражен в рисунке гранитационного поля [Шило и др., 1979].

Умарский линеамент прослеживается в восточной части территории вдоль рек Бохапча и Нявленга. Он выражен линейными долинами, протяженными геоморфологическими уступами и почти на всем протяжении разделяет блоки, различающиеся интенсивностью новейших поднятий (относительное воздымание западного крыла достигает 100 м). Линеамент является неотектоническим проявлением одноименного глубинного разлома [Симаков, 1949].

Кулу-Хурэнская система линеаментов состоит из нескольких сближенных параллельных нарушений протяженностью 20—100 км. Ширина системы достигает 30 км. Ее элементы проявлены уступами, линейными седловинами и прямолинейными отрезками долин рек Кулу, Унга-Хинике-Интриган, Хурэн, Дегдекан. Отмечаются участки интенсивной трещиноватости. На северном краю вулканического пояса система контролирует положение и форму меридионально удлиненных вулканических полей, гранитоидных и диоритовых интрузий, субвулканических тел и даек. Часто встречаются вулкано-плутонические купольные и кольцевые структуры. Система выделяется и по комплексу грави-

¹ Раздел написан В. Н. Смирновым и С. В. Левашовой.

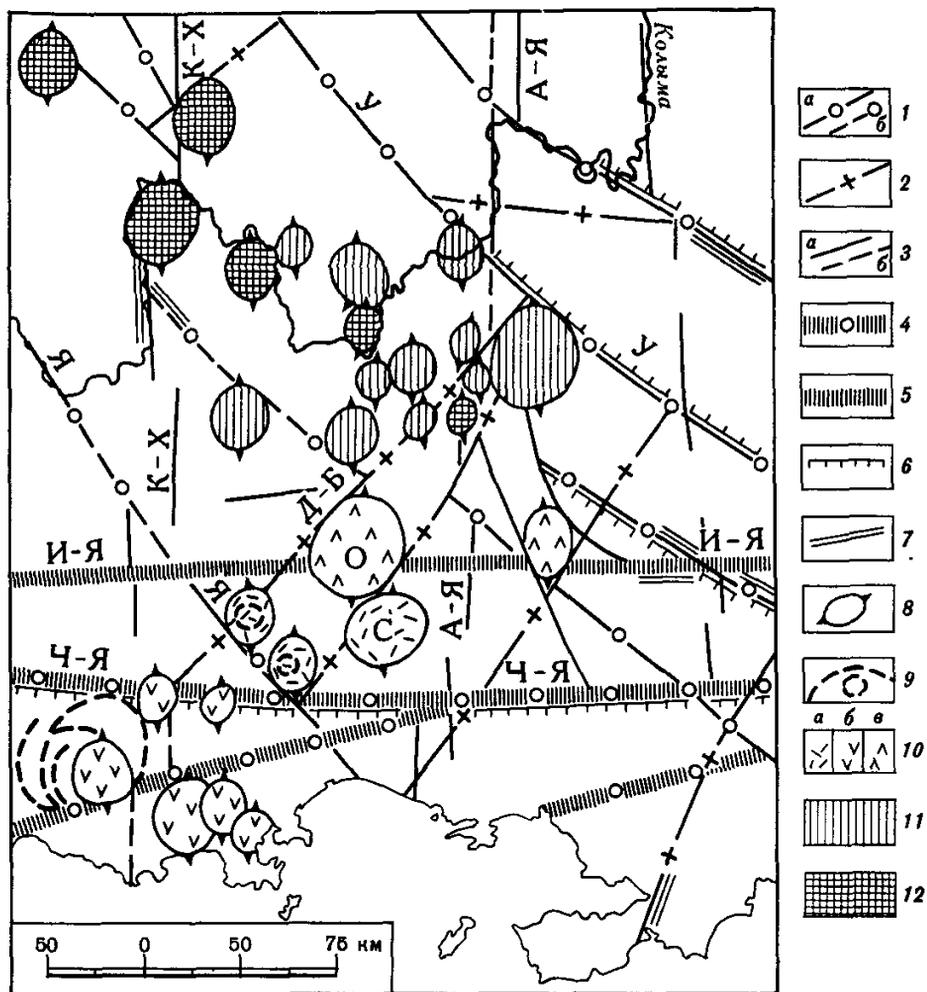


Рис. 21. Линеаменты, кольцевые и круговые структуры Северного Приохотья и бассейна верхнего течения р. Колымы, отдешифрованные на космических снимках со спутников серии «Метеор»

1—3 — линеаменты: 1 — нижнекорового и верхнемантийного заложения, четко (а) и слабо (б) проявленные на изображениях, 2 — верхнекорового заложения, 3 — неопределенного заложения, четко (а) и слабо (б) проявленные на изображениях; 4, 5 — линеаментные зоны: 4 — нижнекорового и верхнемантийного заложения, 5 — неопределенного заложения; 6 — сбросовые уступы и грабены; 7 — зоны повышенной сейсмичности; 8—12 — структуры центрального типа: 8 — куполообразные, 9 — концентрические, 10 — созданные вулканогенными образованиями преимущественно кислого (а), среднего (б) и смешанного (в) состава, 11 — plutonic, образованные интрузиями кислого состава, 12 — неясного происхождения. Линеаменты: Я — Янский, Д-Б — Детрино-Бохапчинский, У — Умарский; системы линеаментов: К-Х — Кулу-Хурэнская, А-Я — Арmano-Ясачная; линеаментные зоны: И-Я — Иня-Ямская, Ч-Я — Челомджа-Ямская; круговые структуры: О — Омчанская, С — Сеймчанская

метрических признаков [Шило и др., 1979]. Участок высокой сейсмической активности с землетрясениями энергетических классов $K \leq 13$ свидетельствует о современных подвижках.

Арmano-Ясачная система состоит из нескольких параллельных линий протяженностью 30—80 км. Система выражена на юге прямолинейными отрезками долин, а на севере чаще неотектоническими уступами высотой до 1000 м. К ней приурочены отдельные древние разрывы, дайки и субвулканические тела.

Челомджа-Ямская линеаментная зона протягивается от истоков р. Челомджи до среднего течения р. Ямы. Она служит северной границей Ямо-Тауйской системы неотектонических впадин и состоит из серии сближенных в полосе шириной 20—30 км линий, длина которых колеблется от 30 до 150 км. Линии следуют поперек главных рек Охотского склона и соответствуют неотектоническим уступам, линейно вытянутым водораздельным седловинам и каньонам малых водотоков. В целом это неотектоническая ступень с опущенным на 800—1200 м южным крылом. Она является поверхностным выражением одноименной зоны глубинных разломов [Вашилов, 1963], разграничивающей структурно-формационные зоны вулканогенного пояса и контролирующей размещение интрузий и вулканических структур.

Иня-Ямская линеаментная зона расположена по южному склону Охотско-Колымского водораздела. Для нее, как и для предыдущей зоны, характерны четкая выраженность в рельефе и участки интенсивной трещиноватости. К Иня-Ямской зоне тяготеют границы вулканических полей (особенно палеогеновых базальтов) и блоков мезозойского фундамента Охотско-Чукотского вулканогенного пояса.

На исследованной территории дешифрируется много концентрических структур диаметром 15—50 км (см. рис. 21). По морфологии вершинной поверхности все они

определяются как купола с центробежным рисунком гидросети. Выделяются купола с центральными интрузиями, с окраинными интрузиями или вовсе без интрузий. Купола есть и в вулканогенных полях Охотско-Чукотского пояса, и в снежных с ними складчатых сооружениях Яно-Колымской зоны, но преобладают в мезозоидах. Здесь широко развиты купольные структуры, по-видимому криптовулканические, выраженные аномалиями магнитного поля. Более сложное строение имеют купольные структуры в зоне сочленения Охотско-Чукотского пояса с мезозоидами — Сеймчанская и Омчанская.

Сеймчанская структура находится между верхними течениями рек Сеймчан и Гедан, имеет форму овала и размеры 36×48 км. С северо-запада и юга она ограничена прямолинейными разломами, а в других местах — дуговыми нарушениями. Они выражены в рельефе уступами, долинами и седловинами на водоразделах. Структура находится в пределах Охотско-Чукотского пояса и сложена главным образом вулканогенными породами верхнего мела, а на юго-западе — глинистыми сланцами и песчаниками верхнего триаса, нижней и средней юры. В центре структуры находится Лево-Сеймчанский гранитоидный массив позднемелового возраста, в направлении которого заметно общее повышение рельефа. На северо-западе выходят граниты Омчанского массива. Секущие и радиальные разломы выражены в рельефе и разделяют блоки разной высоты. Вместе с тем радиальные разломы контролируют размещение позднемеловых вулканитов, их проникновение к центру структуры. В ее пределах дешифрируются также локальные купольные и кольцевые образования диаметром до 8 км (редко до 16 км). Они выделяются по дугообразному окаймляющему рисунку гидросети, а купола, кроме того, по радиально-центробежному рисунку гидросети и увеличению высот к центру. К большинству куполов приурочены выходы интрузивных тел, но некоторые подобные образования совпадают с кольцевыми магнитными аномалиями, возможно связанными с интрузиями, скрытыми на небольшой глубине. Концентрические элементы выполняют также роль контактов между вулканогенными и осадочными толщами, интрузиями и вмещающими породами.

Омчанская кольцевая структура диаметром 45 км расположена в междуречье Детрина и Анмангынды. На северо-западе, северо- и юго-востоке ее ограничивают прямолинейные разломы, связанные между собой дуговыми нарушениями, определяющими округлую в целом форму структуры. В отличие от Сеймчанской Омчанская структура сложена преимущественно осадочными породами пермо-триаса, и лишь в западной части они перекрыты меловыми вулканическими образованиями. В южной части структуры залегают граниты Омчанского массива. Внутреннее строение ее определяется сочетанием дуговых и купольных элементов с прямолинейными нарушениями секущего и радиального расположения. Как и внешние ограничения структуры, они проявлены расположением речных долин, седловин на водоразделах, уступов и резких перегибов склонов. Большое значение имеет система субширотных секущих нарушений. Амплитуды новейших вертикальных смещений по ним достигают 300 м. Радиальные разломы делят структуру на шесть сегментов, определяют проникновение продуктов вулканической деятельности к центру структуры, размещение интрузивных и субвулканических тел. Заметную роль в распределении вулканических образований играют также внутренние и внешние дуговые нарушения: к ним приурочены контакты вулканогенных толщ. Локальные купола диаметром до 10 км выделяются на снимках по тем же признакам, что и в Сеймчанской структуре. Большинство куполов совпадает с выходами интрузивных тел.

Итак, сложная блоковая новейшая структура региона определяется сочетанием крупных долгоживущих разломов, дешифрируемых на космических снимках в виде линеаментов и линеаментных зон. Характерно широкое развитие купольных и кольцевых структур разных порядков. С ними связаны распределение и форма интрузивных и вулканических проявлений мелового возраста. По отношению к складчатым структурам мезозоид купольные и кольцевые образования, как правило, дискордантны. Вероятно, они имеют магматогенную природу.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение (А. В. Пейве, В. Г. Трифонов, А. Л. Яншин) 3

Часть первая

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ 7

Глава 1. Методология и методические основы геологического дешифрирования космических снимков (В. И. Макаров) 7

Глава 2. Использование математических методов в дистанционном зондировании для решения геологических задач (В. К. Кучай, Д. Н. Чучадаев) 14

Глава 3. Методика инструментального дешифрирования аэрокосмических изображений (С. Ф. Скобелев, А. С. Петренко) 20

Глава 4. Корреляция космической и геолого-геофизической информации (А. С. Петренко, П. В. Флоренский) 31

Глава 5. Структурно-геологические исследования и геологическое картирование с помощью материалов космических съемок 45

Принципы составления космотектонических и космофотогеологических карт (В. А. Буш) 45

Проблемы улучшения традиционных геологических карт (С. С. Шульц мл.) 50

Применение мнгозональных 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

Глава 6. Методические основы, особенности и перспективы использования специальных видов дистанционной съемки 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

Глава 7. Комплексное применение дистанционных методов при геологических исследованиях (В. Г. Трифонов) 105

Часть вторая

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СОВРЕМЕННЫХ И НОВЕЙШИХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ 108

Глава 8. Современные и новейшие эндогенные процессы 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 (Н. А. Гусев) 122