

Рельеф Земли и поиски рудных месторождений

И. К. Волчанская
Кандидат географических наук



Инга Константиновна Волчанская, научный сотрудник Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР (Москва). Изучает связь рельефа с коренными рудными месторождениями; работала на Кавказе, Камчатке, в Приморье. Автор многих научных статей и четырех монографий по вулканизму, тектонике и геоморфологии.

Рельеф Земли: горы, расчлененные многочисленными долинами, или высокогорные плато с идеально ровной поверхностью. Удивительное разнообразие и вместе с тем кажущееся однообразие форм: речные долины — и на Камчатке и в Альпах, ледниковые цирки — и в Гималаях и на Таймыре... Непросвещенный читатель может задать вопрос: неужели рельеф еще недостаточно изучен? И что нового может дать учение о рельефе Земли? Оказывается, именно сейчас, когда взгляды геологов устремлены в глубь Земли, в ее мантию и протекающие там скрытые процессы превращения вещества; когда применение современных экспериментальных методов в геофизических исследованиях приближает нас к пониманию строения Земли, геоморфология — наука о рельефе — получает возможность истолковать такие его особенности, которые раньше были необъяснимы. Сопоставление данных различных отраслей наук о Земле позволяет находить связи между поверхностным и глубинным строением нашей планеты. Кроме того, совершенно новые представления о рельефе и структурах мы получаем благодаря возможности взглянуть на них сверху, из космоса.

Геоморфологи, исследуя рельеф, ищут такие его особенности, которые предопределены глубинным строением, так как источники рудного вещества, по современным представлениям, находятся на больших глубинах, в мантии Земли. Рудное вещество, поступая оттуда по разрывным нарушениям, концентрируется в верхних горизонтах земной коры, обра-

зуя месторождения. Геоморфология помогает обнаружить пути проникновения рудных растворов и структурные ловушки месторождений. При этом применение комплекса методов, основанных на использовании топографических карт и аэрофотоснимков, намного удешевляет производство поисковых работ. Не будет преувеличением сказать, что геоморфология включилась в решение одной из актуальнейших проблем наук о Земле — проблемы металлогенических прогнозов.

Как возникает рельеф?

Рельеф в том виде, как мы его наблюдаем сегодня, создавался в течение длительного времени и под действием разных, часто противоположных по своему знаку сил. Та или иная крупная форма рельефа, например горный хребет, возникает как результат проявления внутренних, эндогенных процессов, протекающих в недрах нашей планеты. Но одновременно во взаимодействии с этими создающими силами вступают другие — внешние силы, стремящиеся разрушить первичный рельеф: речные долины глубоко расчленяют горные массивы, а выносимые ими отложения постепенно заполняют впадины. Именно эти внешние процессы и созданные ими формы рельефа в течение длительного времени были в центре внимания геоморфологии. При этом подразумевалось, что когда-то возникшая в результате проявления внутренних сил форма релье-

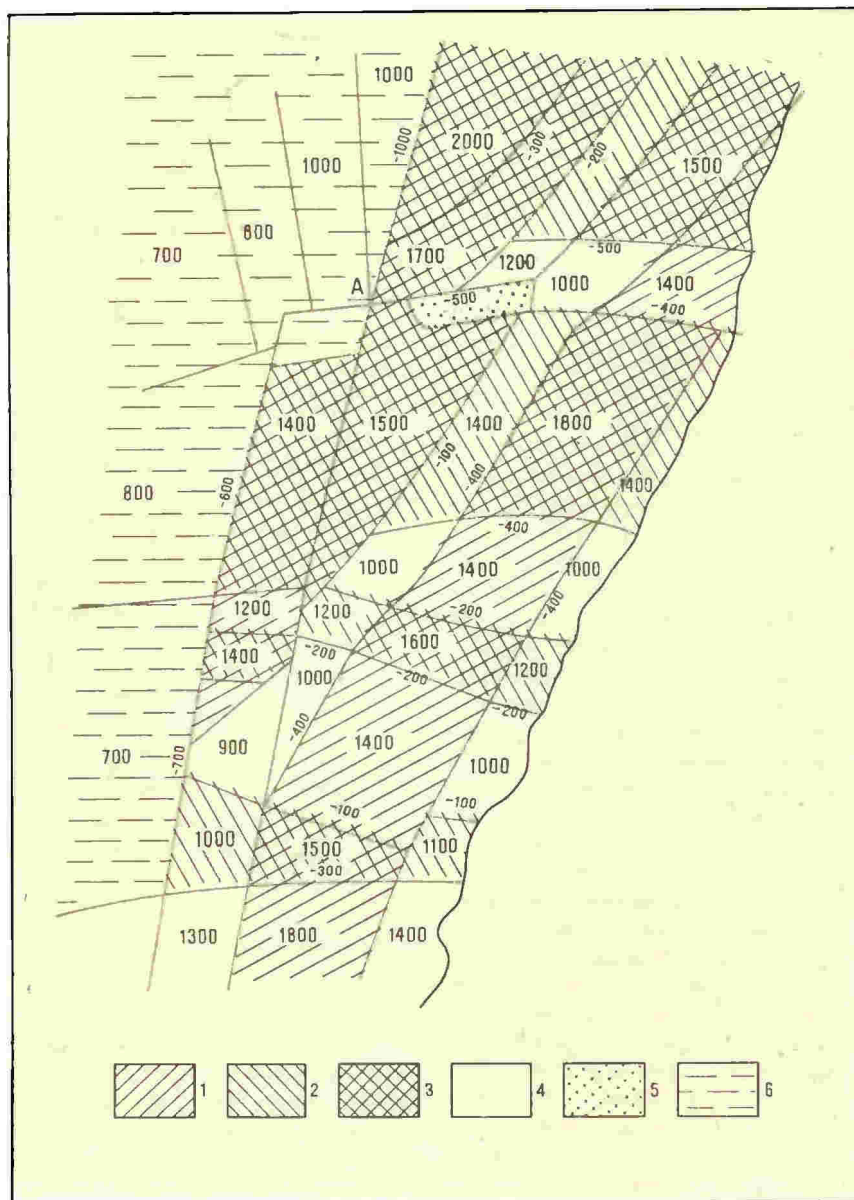


Схема блоков в рельефе тр. Ситота-Алинь. Каждый блок, ограниченный разломами (показаны зеленым цветом), индексирован максимальной высотой водораздела, расположенный в его пределах. Западная часть района характеризуется слабоконтрастным низкогорным рельефом (6). В восточной части среднегорный сильно расчлененный рельеф характеризуется системой блоков продольного (1) и поперечного (2) воздымания. Совмещение их дает наиболее высокоприподнятые в рельефе блоки (3). Между ними располагаются относительно менее приподнятые блоки (4). Системы блоков ограничены разломами с выдержанной амплитудой (см. цифры со знаком минус). Крупная шовная зона (А) трассируется наложенными впадинами (5).

ефа в дальнейшем уже подвергается действию только внешних агентов.

На этой аксиоме возникла в XIX в. стройная концепция американского ученого У. Дэвиса об эрозионных циклах. Согласно этому учению, рельеф проходит три стадии развития — юности, зрелости и дряхлости. Горный, глубоко расчлененный рельеф постепенно превращается в слабохолмистую равнину. Другими словами, внутренним силам отводилась роль как бы однократно действующего фактора на фоне постепенного изменения поверхности под влиянием постоянных процессов разрушения.

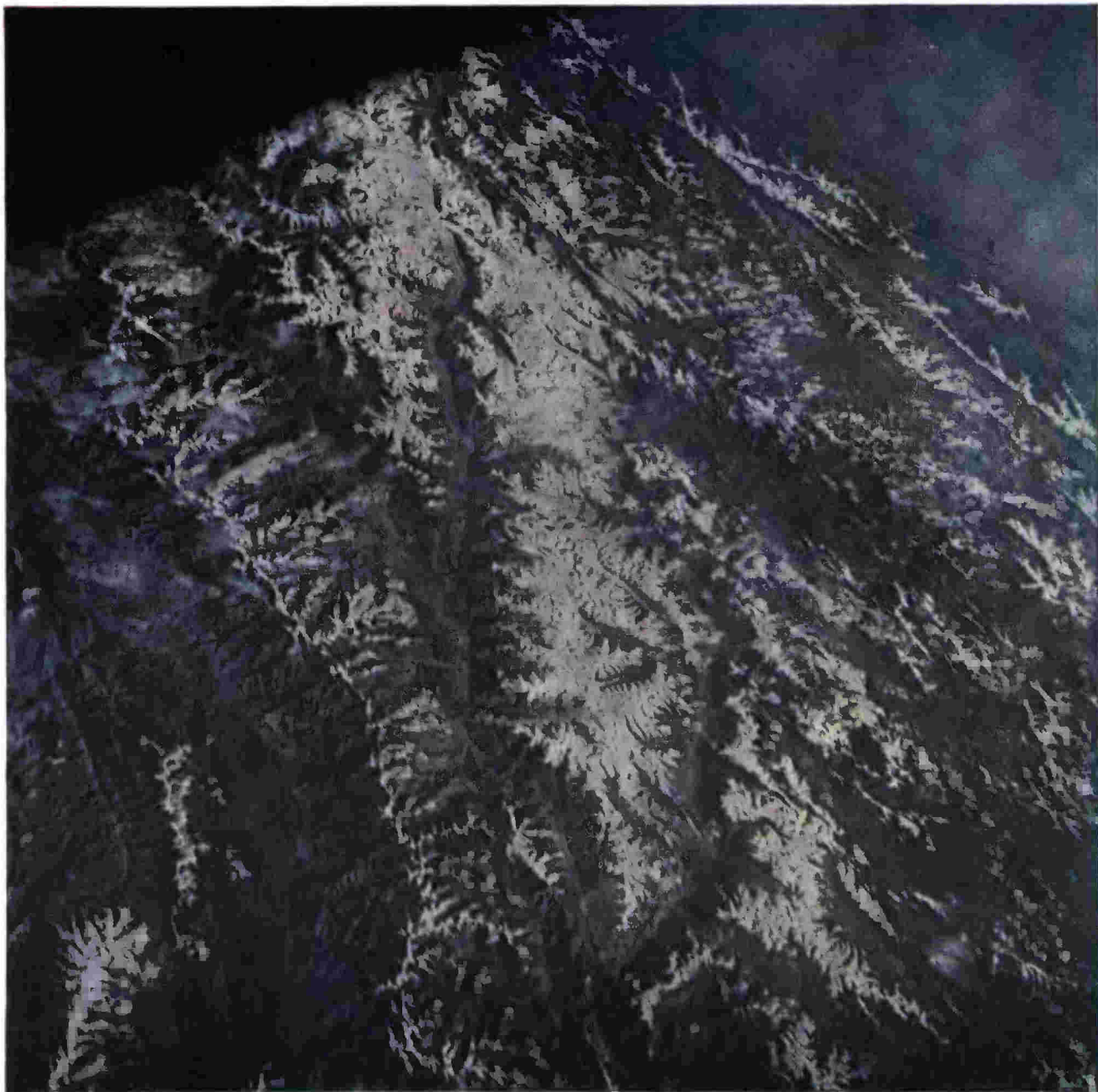
С развитием науки появлялось все больше факторов, объяснение которых требовало отступления от классических представлений Дэвиса. Прежде всего, это были данные о постоянном вмешательстве внутренних сил, нарушающих нормальное течение эрозионных циклов. Пытаясь разрешить возникшее противоречие, известный геоморфолог В. Пенк создает учение о формировании «предгорных лестниц». По мнению Пенка, горные сооружения вырастают не сразу, а в результате нескольких импульсов, или тектонических толчков. После каждого тектонического импульса под действием внешних процессов у подножия гор формируется выравненный рельеф (слабо холмистая равнина). В результате следующей фазы тектонического поднятия эта равнина приподнимается на более высокий гипсометрический уровень, а у подножия гор снова образуется выравненная поверхность. Так, по концепции Пенка, создается предгорная лестница, или несколько гипсометрических уровней вершин хребтов, которые можно наблюдать во всех без исключения горных странах.

Возникновение новых геологических представлений о характере действия эндогенных сил вынуждали ученых пересматривать существующие концепции развития рельефа. Однако еще долгое время геоморфологи находились в плену представлений о решающем влиянии на формирование рельефа именно внешних сил. Необходимые же сведения о тектонике, внутреннем строении земной коры заимствовались из смежных геологических дисциплин. И только сравнительно недавно, благодаря тому что геофизическими исследованиями установлена тесная связь рельефа с глубинным строением, геоморфологи смогли получить сведения о тектонике непосредственно из наблюдений над рельефом¹. Дело в том, что тектонические движения тесно связаны с перемещения-

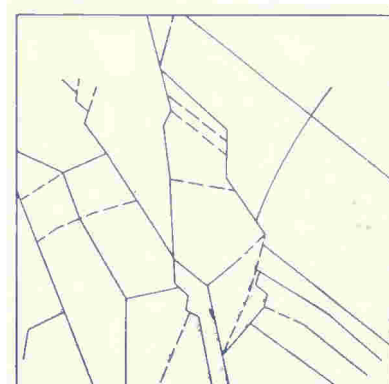
¹ См. статью «От рельефа — к глубинному строению», «Природа», 1969, № 8, стр. 69—71.



Космические фотографии, как и топографические карты, дают общее представление о структурной основе рельефа. На снимке видна часть горной системы Афганистана (к юго-западу от Кабула). Долина реки (в центре снимка) трассирует крупную зону разлома. Остроугольные ограничения хребтов (особенно в правой верхней части снимка) подчеркивают блоковое строение.



*Горные хребты системы Каракорума
рассекаются речными долинами с
ледниками в верховьях. На врезке
показаны блоки и ограничиваю-
щие их разломы, которые устанавли-
ваются по прямолинейным эле-
ментам топографии.*



ми вещества земной коры и верхней мантии, а всякое перемещение масс не может не отразиться на поверхности Земли. Поэтому задача геоморфолога состоит, с одной стороны, в выявлении связей между перемещением вещества и современными формами рельефа, а с другой стороны — в умелом «снятии» результатов воздействия на рельеф внешних процессов и восстановлении первичного, или идеального рельефа, созданного тектоническими движениями.

Вместе с тем мы должны разобраться в особенностях проявления самих внешних процессов, суметь найти в них те аномалии, которые обусловлены внутренним строением. Другими словами, мы стремимся к восстановлению морфоструктур, возникших под влиянием взаимодействия внутренних и внешних процессов (И. П. Герасимов, Ю. А. Мещеряков).

Что такое морфоструктуры?

Эта простая на первый взгляд задача сразу вызвала на пути своего решения множество затруднений. Прежде всего, было неясно, какие структуры отражены в рельефе: только те, которые возникли на заключительных этапах геологической истории, или также значительно более древние. А ведь именно эти последние больше всего интересуют геологов. Здесь мнения исследователей резко разделились. Одни считают, что в рельефе отражены особые неоструктуры, почти не связанные с геологической предысторией развития, и только их могут обнаружить геоморфологи. Эта школа, по существу, закрывает путь исследований, которому посвящена настоящая статья. Другие исследователи уверены, что в рельефе в той или иной форме отражены структуры, созданные тектоническими движениями в те эпохи, когда движения были наиболее интенсивными. Так, рельеф Урала и Кавказа резко различаются потому,

что наиболее интенсивные движения на Урале происходили примерно на 400 млн лет раньше, чем на Кавказе. С другой стороны, и возникновение неоструктур в значительной мере предопределяется внутренним строением Земли. Оказалось, что новые деформации не идут по своим особым путям, а предпочитают использовать уже имеющиеся нарушения в земной коре. Треснувшая тарелка раскалывается там, где была трещина. Подобно этому и границы определенной области земной коры или блока, испытывающего погружение либо воздымание, чаще всего определяются нарушениями (разломами), которые существуют длительное время и контролируют эти движения. Так неотектоника, оторванная, по замыслу ее создателей, от собственно тектоники, явилась своеобразным ключом, позволяющим устанавливать границы более древних структур. Еще более интересный вывод, почтенный в основу структурно-геоморфологических исследований, был сделан эмпирически, на основе большого сравнительного материала по самым различным регионам — от равнинных стран до высокогорий. Его суть заключается в том, что внешние процессы, формирующие пластику современного рельефа, чутко реагируют на малейшие изменения геологического строения. Например, река, спокойно текущая по гладкой равнинной местности, вдруг поворачивает или резко меняет уклон своего русла. И вот оказывается, что это совсем не случайно: где-то на большой глубине, под нивелирующим покровом горизонтально лежащих осадочных толщ, имеется скрытый выступ более древних пород. А если еще внимательнее посмотреть на карту, можно установить, что и другие реки, пересекая подземное продолжение этого выступа, тоже изгибаются, а их менее значительные притоки, которые не в силах миновать выступ, прокладывают свой путь вдоль него. Так, соединяя аномальные участки речных долин, мы восстанавливаем контур интересующего нас погребенного выступа.

Более того, многие специальные исследования дают убедительные доказательства повсеместной приуро-

ченности речной сети к зонам тектонической трещиноватости и разломам. Тогда их можно обнаружить, изучая плановую ориентировку речных долин.

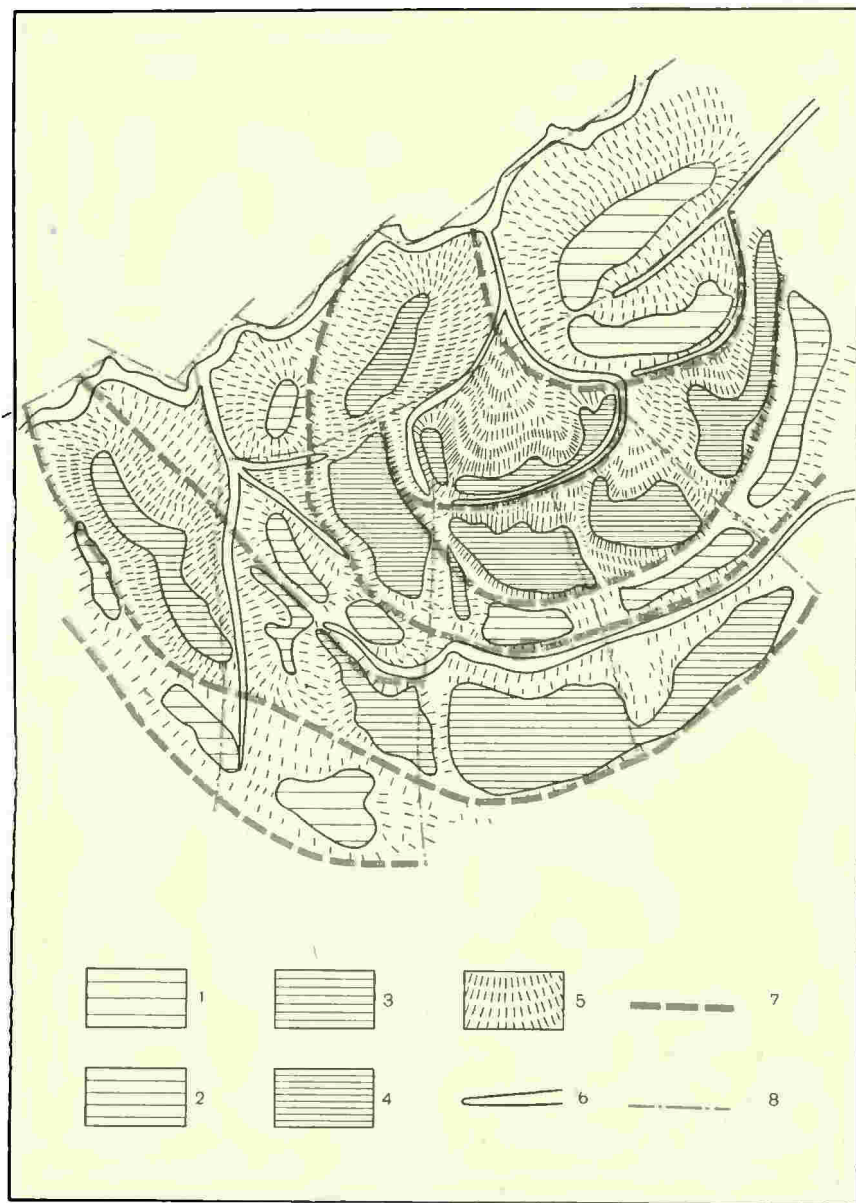
Итак, структурную основу рельефа можно выявлять по двум главным группам признаков (С. С. Воскресенский, 1963). Во-первых, по характеру наиболее поздних деформаций земной поверхности, обусловленных непосредственным проявлением внутренних сил. Они создают контрастный горный рельеф с причудливым, на первый взгляд хаотическим, распределением абсолютных высот. Во-вторых, по характеру проявления внешних процессов (ориентировке речных долин, уступов склонов, очертаниям берегов и др.), препарирующих «мертвую» геологическую структуру, которая была создана в давно минувшие эпохи и не имеет непосредственного выражения в современном рельефе.

Таким образом, не только крупные территориальные комплексы рельефа (горы или равнины, хребты или впадины) созданы тектоникой, но и более мелкие участки земной коры живут своей особенной тектонической жизнью — поднимаются, опускаются, наклоняются, сдвигаются. Поэтому каждый отдельный блок имеет своеобразный рельеф поверхности; он-то и получил название «морфоструктура».

Блоки и купола

Какие же конкретные геологические структуры мы можем восстанавливать, изучая сочетания различных элементов рельефа? Здесь надо вернуться к тому, о чем шла речь в начале статьи, а именно: геоморфологии постоянно приходится опираться на существующие геологические модели строения Земли.

Геолого-геофизические исследования выявляют неоднородное глубинное строение земной коры. Основными структурными элементами при этом признаются протяженные линейные зоны разломов и крупные блоки ортогональных или округлых очертаний.



Купольная структура в рельефе одного из районов Малого Кавказа ограничена кольцевыми разломами (7), прослеженными по конфигурации речных долин (6), склонов (5) и водоразделов (1—4). Увеличение крутизны склонов показано сгущением штриховки; водоразделы максимально приподняты в центральных частях купола (4 — более 2000 м) и постепенно понижаются к периферии (3—1800—2000 м; 2 — 1600—1800 м, 1 — менее 1600 м). Секториальные и прочие линейные разломы (8) дополнительно усложняют купол.

Смещение блоков по разделяющим разломам происходит при напряжениях, превышающих некоторый предел. При слабых и длительно действующих напряжениях могут происходить пластические деформации, особенно в относительно пластичных породах или же на больших глубинах, где давление превышает величину сопротивления породы сжатию. На глубинах свыше 10—15 км смещение по разломам заменяется течением масс в пределах зон разломов, со-

здающих участки брекчирования, и «структуры течения».

Подобные глубинные процессы иногда не находят отражения в вертикальных перемещениях блоков на поверхности и известны как скрытые разломы фундамента.

В рельефе горных стран, как впервые было показано советским геологом А. В. Орловой, довольно легко выявляются и даже рассчитываются по амплитудам смещения разломы, вдоль которых происходили вертикальные перемещения блоков. Их можно проследить даже на мелко-масштабных топографических картах, используя специальные приемы анализа. В данном случае предполагается, что некоторая исходная поверхность (например, равнина, вышедшая из-под уровня моря) в процессе активизации тектонических движений испытала расколы на блоки и дифференциальные движения этих блоков. Результирующая составляющая этих движений фиксируется в клавишном строении поверхности таких областей.

Заметим, что ярусное строение рельефа гор в этом случае объясняется совершенно иначе, чем это делалось Пенком. Предложенный А. В. Орловой способ расчетов рельефообразующих движений помог в некоторой степени объяснить механизм горообразования. Оказалось, что тектонические движения, воздымающие горы, действуют не только в продольном по отношению к основной горной системе направлении, но и в поперечном, создавая наложенные поднятия и опускания. Некоторые из таких поперечных зон особенно интересны, так как являются поверхностным отражением скрытых глубинных разломов. Подобные разломы с трудом выявляются по геологическим признакам, зато часто подтверждаются геофизическими исследованиями. При поисках рудных месторождений геологи придают этим разломам большое значение.

В горных областях обнаруживаются также различные типы кольцевых, круговых и купольных структур. Они устанавливаются по дуговым и кольцевым разломам, радиальному строению речной сети, по водоразделам концентрической конфигурации и т. д.

В большинстве своем эти структуры, по-видимому, связаны с функционированием магматических очагов на различных глубинах. Воздымание или опускание участков земной поверхности, расположенных над расплавленными или застывшими магматическими камерами, создают дополнительные осложнения в распределении высот рельефа, о которых говорилось раньше.

Особый интерес представляют купольные структуры¹, которые, по мнению многих геологов, служат ловушками рудного вещества.

Купола в современном рельефе выражены по-разному. От куполов более древнего возраста могут остаться только общие концентрические очертания, а в центральной части вместо купола может располагаться впадина или система речных долин. Чтобы реконструировать купол в этом случае, необходимо привлечь геологические данные о залегании пластов пород. Вместе с тем в областях более молодой магматической активности эти структуры и в рельефе имеют форму купола с максимальными абсолютными высотами водоразделов в центре.

Изучение форм рельефа, возникающих при внедрении магматических масс,— один из новых аспектов проблемы горообразования. В этой области намечается совершенно новое решение вопроса о связи рельефа с тектоникой и магматизмом. Все более подкрепляются представления о том, что тектонические движения в верхних частях земной коры могут быть вызваны функционированием глубинных магматических масс. В частности, приводятся убедительные доказательства роста горных хребтов Дальнего Востока в основном за счет внедрения и застывания больших порций магматических расплавов.

Новое направление в изучении современного рельефа вооружило геологов возможностью обнаруживать скрытые глубинные нарушения; далеко проследить зоны разломов, известные до того только на сравнительно небольших участках; выявлять

купола. Все эти структуры, как уже упоминалось, имеют большое значение для металлогенических прогнозов.

Детальные исследования рудных районов показали, что образование рудоносных растворов так или иначе связано с действием магматических очагов, а путями их проникновения служат глубинные разломы. При этом наиболее крупные месторождения, как полагают многие исследователи, приурочены к протяженным зонам скрытых глубинных разломов. В пределах этих зон наиболее благоприятные условия для концентрации рудного вещества создаются в пределах куполов, расположенных над застывшими магматическими телами.

Таким образом, очерчивается конкретная область применения структурно-геоморфологических методов для решения одной из важнейших народнохозяйственных задач. В этой области необходимо дальнейшее выявление и уточнение признаков, по которым в рельефе можно обнаруживать зоны скрытых разломов. Вместе с этим необходимо провести сравнительное изучение куполов, их размеров, характера препарировки внутренней структуры, степени разрушенности кровли и других особенностей, чтобы вероятнее предсказать, в какой части купола следует ожидать появления концентрации рудного вещества.

Необходимо также произвести комплексное морфоструктурное изучение известных рудных районов для выявления их существенных признаков в качестве дополнительных критериев при металлогенических прогнозах.

Все это показывает, что геоморфологические исследования должны идти в авангарде геологических и в значительной мере облегчать и удешевлять поисковые работы.

УДК 551,4; 553,3/9.

Рекомендуемая литература

С. С. Воскресенский. ГЕОМОРФОЛОГИЯ СИБИРИ. Изд-во МГУ, 1962.

И. П. Герасимов. СТРУКТУРНЫЕ ЧЕРТЫ РЕЛЬЕФА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ СССР И ИХ ПРОИСХОЖДЕНИЕ. Изд-во АН СССР, 1959.

И. П. Герасимов, Ю. А. Мещеряков. О ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ ЗЕМЛИ. «Изв. АН СССР. Серия геогр.», 1962, № 6.

К. К. Марков. ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОМОРФОЛОГИИ. М., 1948.

Ю. А. Мещеряков. СТРУКТУРНАЯ ГЕОМОРФОЛОГИЯ РАВНИННЫХ СТРАН. М., «Наука», 1965.

В. В. Пиотровский. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОРФОМЕТРИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РЕЛЬЕФА И СТРОЕНИЯ ЗЕМЛИ. В кн.: «Земля и Вселенная», М., «Мысль», 1964.

¹ См. «Природа», 1968, № 12, стр. 38.