

УДК 550.814 : 551.43.001

В. И. АСТАХОВ

## О ГЕОИНДИКАЦИОННОМ ЗНАЧЕНИИ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ВОЗРАСТА РЕЛЬЕФА

На примере двух районов показано влияние стадии развития деструктивного рельефа на геологическую дешифрируемость. Относительный возраст рельефа выдвигается в качестве главного критерия геоиндикационного районирования и основы общей морфохронологической шкалы.

При геологическом дешифрировании аэроснимков одну из основных проблем представляет собой определение границ экстраполяции признаков дешифрирования. Эта проблема обычно решается при помощи ландшафтно-индикационного районирования территории. В широком региональном плане признаки дешифрирования зависят от геологоструктурной ситуации и ландшафтной зональности. Однако на конкретных ограниченных территориях эти параметры, как правило, довольно стабильны, а признаки дешифрирования резко меняются только в зависимости от геоморфологической обстановки, т. е. от характера связи рельефа со структурой и литологией субстрата. Поэтому тип рельефа является основным критерием при геоиндикационном районировании (Аэрометоды..., 1971).

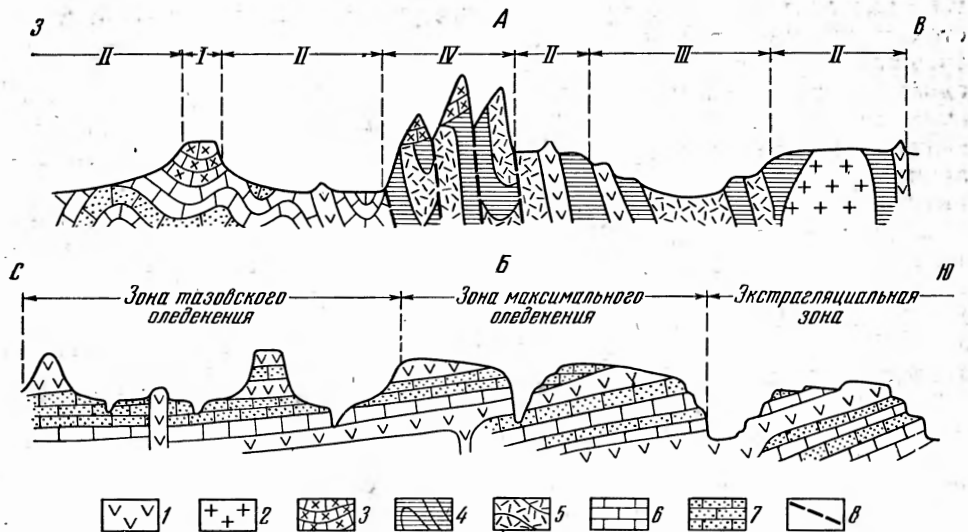
Однако элементарная морфологическая классификация рельефа не позволяет понять закономерности изменения его геоиндикационной роли. Эмпирически известна неодинаковая информативность различных типов рельефа при геологическом дешифрировании. Например, в альпийском высокогорье и на субгоризонтальных цокольных равнинах литологическое дешифрирование сильно осложняется (Аэрометоды..., 1971). Наиболее благоприятны для выделения и прослеживания по аэрофотоснимкам геологических тел разного состава литоморфные низкогорья и зрело расчлененные пластовые равнины. Вариации геологической информативности рельефа обычно объясняют различиями неотектонического режима. Такое объяснение не исчерпывает причин явления и практически мало что дает, так как неотектоника априори неизвестна и может быть реконструирована лишь после достаточно сложного исследования.

На наш взгляд, принципиальная разница между упомянутыми выше типами рельефа заключается не столько в их морфологии и генезисе, которые могут меняться в очень широких пределах, сколько в различиях их относительного геоморфологического возраста (стадии денудационного развития). Относительный возраст рельефа зависит не только от неотектонического режима, но и от климатических изменений и длительности его обработки субаэральными агентами деструкции (Дэвис, 1962). К выводу об определяющей роли геоморфологического возраста для оценки геологической информативности рельефа приводит изучение геоиндикационных закономерностей в двух районах с разным геологическим строением, расположенных в зоне тайги. В качестве примеров рассмотрим геоиндикационные свойства рельефа Северного Урала и западной части Среднесибирского плоскогорья между 61 и 64° с. ш.

Северный Урал представляет собой систему низкогорных (1000—1600 м абс. высоты) хребтов, выработанных в сложноскладчатых палеозойских породах меридионального простирания. До последнего времени существовали противоположные точки зрения на связь рельефа Урала с геологическим строением; одни авторы подчеркивали идеальную литоморфность низкогорного рельефа, другие ее отрицали. От решения этого вопроса во многом зависит геологическая интерпретация дистанционных изображений. При геологических и геоморфологических исследованиях в 60-х годах на Северном Урале выяснилось, что литологическая анизотропия субстрата отражается в рельефе по-разному в зависимости от его возраста (Астахов, 1973). Для изучения этих различий породы субстрата были разделены на семь классов по относительной денудационной устойчивости. К 1-му классу отнесены слабо литифицированные терригенные породы верхней перми и триаса, ко 2-му — известняки и доломиты разного возраста, к 3-му — туфогенные сланцы, к 4-му — метаморфические сланцы, к 5-му — рассланцованные эффузивы и гранитоиды, к 6-му — кварцитовидные песчаники и к 7-му — наиболее устойчивые габродиабазы и ультраосновные породы.

Весь деструктивный рельеф Северного Урала был разделен на четыре основные генерации, различающиеся по стадии денудационного развития и, следовательно, по относительному возрасту. Наиболее древними являются предельно выровненные поверхности на вершинах островных гор, отнесенные нами к фрагментам древнейшего пенеплена (I эрозионный цикл). Пьедестал островных гор представлен предгорной увалистой поверхностью денудационного выравнивания или волнистой вершинной поверхностью низкогорных хребтов (II цикл). В последнюю врезаются пологие вогнутые склоны широких долин и узких низкогорных хребтов (III цикл), образующих рельеф стадии поздней зрелости, по В. М. Дэвису. Эта лестница ярусного рельефа в наиболее высоких альпийских горных узлах разрушена и замещена крутыми эрозионными склонами, тектоническими и нивальными уступами, реже скульптурными террасами — юными поверхностями начала последнего, IV цикла. Сравнение этой морфохронологической схемы с также четырехцикловым разрезом мезо-кайнозоя зауральских грабенов позволяет ориентировочно датировать I цикл средним мезозоем, II цикл — мел-палеогеновым временем, III цикл — поздним олигоценом — неогеном и IV цикл — антропогеном (поздним плиоценом — плейстоценом). Возможны и другие геологические датировки, что не имеет принципиального значения для данного исследования.

Главное заключается в том, что по стадии денудационного развития (морфологическому облику) тех или иных поверхностей можно устанавливать их принадлежность к геологически разновозрастным циклам эрозии. Это вытекает из принципа выполаживания, сформулированного В. Пенком, который гласит, что «наклонный участок земной поверхности, на котором в какой-либо форме действует снос, в целом не может стать круче в результате деятельности последнего, он может стать только положе» (Пенк, 1961, стр. 161). Отсюда следует, что чем положе та или иная поверхность, тем при прочих равных условиях она геологически древнее. Это безусловно относится только к достаточно крупным формам мезорельефа — например, к склону в целом, т. е. от бровки до подошвы, а не к отдельным его частям. Морфологически однотипные поверхности образуют примерно разновозрастные формации, занимающие определенное пространственное положение в полициклическом рельефе и отделенные друг от друга заметными перегибами рельефа. Последовательный ряд таких формаций (или «эрозионных циклов» по В. М. Дэвису) дает естественную морфохронологическую шкалу, которую можно при необходимости привязать к геохронологической (Астахов, 1975).



Примеры соотношения выработанного рельефа и литологии коренных пород. Принципиальные геолого-геоморфологические профили: А — через Северный Урал в районе г. Тельпос-Физ, Б — через западную часть Сибирской платформы (по 94° в. д.).

**Цикловые поверхности Северного Урала:** I — среднемезозойские, II — мел-палеогеновые, III — поздний олигоцен-неогеновые, IV — антропогеновые. **Литология:** 1 — основные интрузии, 2 — гранитоиды, 3 — кварцитовидные песчаники, 4 — метаморфические сланцы, 5 — туфоогенные сланцы, 6 — карбонатные породы, 7 — песчаники и алевролиты, 8 — новейшие разломы

При геологическом картировании с помощью аэрофотоснимков среднего масштаба выяснилось, что самые древние элементы рельефа — поверхности I цикла — срезают под один уровень породы любого состава. Волнистый пенеплен II цикла также срезает большинство литологических пачек, но на его поверхности регулярно встречаются моноадыки из особо устойчивых пород. При этом характерно, что на пенеплене II цикла резко выделяются в рельефе и дешифрируются на аэрофотоснимках массивы прочных пород только при условии разницы в классе устойчивости с породами пьедестала не менее 3. Например, кварциты (6-й класс) образуют крупные островные горы в поле известняков (2-й класс), а гранитоиды (5-й класс) среди метаморфических сланцев (4-й класс) в рельефе пенеплена не выделяются (рисунок, А) и дешифрируются очень неуверенно по мелким деталям ландшафта.

Наиболее совершенное приспособление к литологии субстрата обнаруживают уравнишенные денудационные склоны III цикла. Широкие эрозионно-денудационные долины этого цикла всегда приурочены к полосам наименее устойчивых пород, причем малейшее повышение прочности пород (на 1—2 класса) сразу вызывает появление останцовых гряд и структурно-денудационных уступов (рисунок, А). Поэтому результаты предварительного дешифрирования в области литоморфного низкогорья Северного Урала с высокой точностью подтверждаются при крупномасштабной геологической съемке.

Литоморфность рельефа Урала снова резко снижается в высоких эрозионно-тектонических массивах альпийского облика (IV цикл). Молодые эрозионные долины здесь зачастую рассекают без разбора породы любого состава, и на крутых склонах проведение литологических границ по аэрофотоснимкам сопряжено с большими трудностями. Процессы плоскостного сноса в юном эрозионно-тектоническом рельефе протекают быстро, в основном в осыпной форме, и не успевают отпрепарировать литологические неоднородности. Отдельные пачки пород на крутых склонах и зубчатых вершинах удается иногда опознавать только по цвету коренных выходов. Интересно, что поверхности IV цикла (эрозионные,

тектонические, нивальные уступы) обнаруживают явное тяготение к системам разрывных нарушений. Это объясняется, вероятно, раскрытием трещин субстрата при интенсивных молодых поднятиях и концентрацией вдоль них энергии линейных рельефообразующих агентов. Поэтому, несмотря на неблагоприятные условия литологического дешифрирования в юном эрозионном рельефе, конфигурация молодой гидросети и спрямленных уступов весьма информативна при изучении разрывной тектоники.

На примере Северного Урала можно отчетливо видеть геоморфологическую закономерность, намеченную В. М. Дэвисом (1962). По его схеме юный эрозионный рельеф с преобладанием процессов глубинной эрозии (IV цикл Северного Урала) не способствует дешифрированию литологии. Приспособленность деструктивного мезорельефа к литологической анизотропии субстрата достигает максимума к стадии поздней зрелости (III цикл), когда при стабильных базисах денудации прекращается глубинная эрозия и подвижки по разломам, а плоскостной снос, протекая с равномерным замедлением, выявляет в рельефе породы разной устойчивости. Дальнейшее общее выполаживание после выработки денудационного профиля равновесия приводит к срезанию плоскостным сносом большинства литоморфных неровностей, и в рельефе выделяются лишь самые крепкие породы (стадия «поверхности денудационного выравнивания», по Ю. Ф. Чемякову, 1963; II цикл Северного Урала). И наконец, на стадии остаточной цокольной равнины (I цикл Северного Урала) уничтожаются все литоморфные выступы, а на покрытом мощной корой выветривания древнем пенеплене литологическое дешифрирование по геоморфологическим признакам становится невозможным.

Зависимость литологической дешифрируемости от возраста рельефа не менее ярко проявляется и в условиях однообразного геологического строения западной части Сибирской платформы. Междуречье Подкаменной и Нижней Тунгусок сложено горизонтально залегающими слабо литифицированными осадочными и туфогенными породами платформенного чехла, чередующимися в разрезе с пластовыми интрузиями долеритов (траппов). Часто встречаются и секущие интрузии основного состава. Разница денудационной устойчивости осадочных пород и долеритов очень велика — по описанной выше схеме она достигает 4—5-ти классов. Поэтому следовало бы ожидать идеальной дешифрируемости интрузивных пород повсеместно. Однако она существенно отличается в различных природных районах, что связано с разной выраженностью интрузий в рельефе.

В приенисейской части Сибирской платформы четко проявляется субширотная морфоскульптурная зональность, обусловленная неоднократным распространением плейстоценовых ледниковых покровов. Выделяются три основные зоны с севера на юг: 1) область тазовского оледенения, 2) область максимального оледенения и 3) экстрагляциальная область.

В области тазовского оледенения по площади преобладают отрицательные формы рельефа — обработанные ледником широкие корытообразные долины. Трoги почти всегда приурочены к легко разрушающимся породам — песчаникам перми, триасовым туфам, девонским известнякам. Между ними возвышаются узкие водораздельные гребни или островные гряды, сложенные интрузивными долеритами (рисунок, Б). Последледниковая эрозионная сеть слабо намечена и часто не вскрывает даже подошвы ледниковых отложений. Таким образом, в области развития последнего для данного района оледенения каркас стереомодели образуют экзарационно-денудационные останцы интрузивных пород, которые легко картируются по аэрофотоснимкам. В то же время широкие долины гладко «выструганы» ледником, стершим все литоморфные детали осадочных толщ, а флювиальная эрозия еще не успела заново выявить их

литологические неоднородности. Поэтому в этой зоне расчленение осадочных пород близкой устойчивости по аэрофотоснимкам представляет собой очень трудную, часто неразрешимую задачу.

Южнее, в зоне максимального оледенения, где эрозионная сеть развивалась вдвое дольше, нередко встречаются глубоко врезаемые ящикообразные долины со ступенчатыми склонами. На склонах долин зачастую возможно выделение по аэрофотоснимкам чередующихся осадочных слоев и пластовых интрузий, которые образуют в долинах характерный микрорельеф (рисунок, Б). Однако широко развитые в этой зоне субгоризонтальные поверхности водоразделов не обнаруживают ступенчатости пластовых равнин. Это обусловлено сильным нивелирующим воздействием покровного ледника, превратившим доледниковые структурные плато в слабоболнистую экзарационно-денудационную поверхность выравнивания. Эффект покровного оледенения настолько значителен, что на междуречьях в зоне максимального оледенения зачастую невозможно разделить по аэрофотоснимкам интрузивные долериты и палеозойские песчаники, несмотря на огромную разницу в их денудационной устойчивости (рисунок, Б). Массивы долеритов хорошо дешифрируются лишь в тех случаях, когда они образуют крупные островные горы на поверхности плато, сформированные еще в доледниковое время. Слабое проявление интрузивных тел в рельефе междуречий области максимального оледенения объясняется и тем, что ледник имел огромную мощность и обладал большой экзарационной способностью, в то время как в эпоху последнего оледенения льды меньшей мощности распространялись главным образом по пониженным полосам осадочных пород.

Наиболее зрелое и глубокое эрозионное расчленение наблюдается во внеледниковой области с длительно развивающейся гидросетью на левобережье Подкаменной Тунгуски. Развита система долин и хорошо оформленные эрозионно-денудационные склоны благоприятствуют выявлению в рельефе даже небольших литологических различий. На склонах долин, особенно в их верхней полого-выпуклой части, всегда прослеживается большое количество структурно-денудационных уступов, позволяющих отделять по аэрофотоснимкам не только пластовые долериты от осадочных пород, но и песчаники от известняков, алевролитов и аргиллитов. Не затронутые ледниковой экзарацией водоразделы сохранили ступенчатый рельеф древних структурно-денудационных плато (рисунок, Б). Почти повсеместное развитие в этой зоне достаточно зрелой эрозионной сети и хорошо развитый литоморфный рельеф на придолинных участках позволяют рассматривать внеледниковую область как оптимальную для фотогеологического картирования в условиях Сибирской платформы.

Стадия денудационного развития выработанного рельефа (геоморфологический возраст) играет большую роль не только при литологическом, но и при структурно-тектоническом дешифрировании. Опыт интерпретации материалов аэрофотосъемки, космической и радиолокационной съемки свидетельствует о том, что в молодых горах с эрозионно-тектоническим рельефом основная структурно-тектоническая информация относится к формам новейшей тектоники и к элементам древней структуры, унаследованным планом неотектонических деформаций. Напротив, в районах древнего денудационного рельефа типа Урала и Средней Сибири на дистанционных изображениях выделяются преимущественно элементы консолидированной структуры, отпрепарированные в течение длительного субаэрального развития в спокойной тектонической обстановке. Это не означает, что в молодых горах невозможно распознавание консолидированной структуры по литологическим различиям, но здесь оно значительно затруднено по сравнению с областями древнего литоморфного рельефа.

Серьезные перестройки тектонического плана в новейшее время характерны для большинства районов, поэтому многие элементы древней структуры принципиально не могут быть дешифрованы в условиях молодого эрозионного рельефа. Например, в складчатых сооружениях Кавказа и Средней Азии прекрасно дешифрируются неизвестные ранее активизированные поперечные разрывы, а хорошо геологически изученные, но неразвивающиеся продольные нарушения зачастую невозможно проследить на космических снимках. Специфичность геологической информации, получаемой со сверхмелкомасштабных дистанционных изображений, во многом определяется тем, что на них в первую очередь устанавливаются наиболее крупные элементы рельефа неотектонического происхождения, а древняя консолидированная структура, отраженная в более мелких формах рельефа, гораздо лучше видна на мелко- и среднемасштабных снимках. Неучет этого обстоятельства и стремление во что бы то ни стало дешифровать все известные черты тектонического строения приводят иногда к значительным субъективным ошибкам при интерпретации материалов космических съемок (Астахов, Ероменко, 1974).

Рассмотрение геоиндикационных свойств рельефа в районах с разным геологическим строением показывает, что относительный возраст выработанного рельефа является универсальной характеристикой, дающей представление о дешифрируемости территории и позволяющей избежать многих ошибок при экстраполяции признаков дешифрирования ключевых участков. Эта характеристика отражает в суммарном виде основные геоиндикационные свойства рельефа и может быть использована для районирования по дешифрируемости. Плодотворная идея В. М. Дэвиса (1962) о том, что приспособление рельефа к структуре субстрата нарастает в начале эрозионного цикла, достигает максимума в зрелом возрасте и затем медленно падает, подтверждается практикой геологического дешифрирования и может быть принята за теоретическую базу для автоматической оценки индикационных свойств территории, так как является наиболее естественной и легко формализуемой характеристикой.

В настоящее время начинается разработка методов автоматического (с помощью ЭВМ) дешифрирования материалов дистанционных съемок. Одним из этапов решения этой важной практической задачи является геоиндикационное районирование территории СССР. В его основу, помимо геологоструктурных и зонально-географических параметров, должны быть положены различия участков по относительному, «геоморфологическому», возрасту рельефа.

Последний не имеет отношения к так называемому «геологическому возрасту рельефа», под которым, согласно Г. С. Ганешину (1970), понимается время завершения его формирования, определяемое по геохронологической шкале (очевидно, путем анализа коррелятных осадков). «Геологический возраст рельефа» мало интересен для изучения геоиндикационных связей, поскольку он не отражает литоморфные свойства самого рельефа. К тому же не всегда возможна надежная геологическая датировка выработанных форм. Относительный же возраст рельефа определяется не палеонтологическим, физическим или каким-либо другим независимым методом, а из сравнения степени обработки экзогенными процессами различных участков земной поверхности. Такая характеристика может быть получена при непосредственном стереоскопическом изучении аэрофотоснимков. При этом основными показателями для сравнения участков по относительному возрасту являются крутизна и форма склонов, отношение объемов отрицательных и положительных форм рельефа, густота эрозионной сети. Эти параметры зачастую интуитивно учитываются геологами-дешифровщиками, особенно при расчленении рыхлых толщ. Например, конечно-моренные гряды с разной

густотой ложковой сети, крутизной склонов, частотой озер и болот уверенно относятся при интерпретации аэрофотоснимков к разновозрастным ледниковым толщам.

Как известно, на геоморфологических картах обычно отдается предпочтение возрастной характеристике, заимствованной из другой науки, — геологическому возрасту, не отражающему динамики естественного развития рельефа. Однако не только теоретическая, но и практическая необходимость заставляет приступить к созданию общей морфохронологической шкалы, основанной на естественной последовательности разновозрастных поверхностей. Эта шкала, конечно, может быть (но не обязательно) привязана к геохронологической шкале. При этом следует использовать лишь наиболее надежные геологические даты для привязки главных морфохронологических рубежей. Хорошим примером служит использование в геологии физических методов абсолютного датирования, которые не только не заменяют относительную геохронологию, но и подвергаются постоянному контролю стратиграфическими методами. Точно так же единичные геологические датировки форм рельефа должны все время корректироваться доступными и надежными средствами морфохронологии. Общая морфохронология должна базироваться на региональных схемах эрозионных циклов, установленных сравнительно-морфологическим способом, а не путем изучения цикличности коррелятных отложений.

Попытки создания морфохронологической шкалы чисто геоморфологическими методами предпринимались В. Дэвисом, В. Пенком, Л. Кингом и другими исследователями, однако в дальнейшем возобладала тенденция решать вопросы возраста рельефа наиболее простым путем — с помощью данных, полученных геологическими методами, игнорируя информацию, которую несут сами формы рельефа. Это привело к тому, что ввиду разнобоя в датировках, связанного с разной точностью определения геологического возраста, оказались несопоставимыми схемы истории рельефа разных регионов. Следствием этого является зачастую ложное впечатление метахронности геоморфологической цикличности. Лишь в последнее время начинает возрождаться естественно-историческое направление в трактовке возраста рельефа (например, система ярусов рельефа и «эрозионно-денудационных врезов» Н. П. Костенко). Дальнейшее развитие этого направления в регионально-геоморфологических исследованиях должно привести нас к выработке общей схемы цикличного развития рельефа не на основе заимствованных у геологии данных, а путем сравнения изменений самих форм рельефа (Дэвис, 1962). Если в результате такой работы выяснится глобальная цикличность (или, напротив, метахронность) развития рельефа, то это будет наиболее крупным вкладом геоморфологии в систему наук о Земле.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Астахов В. И.* Роль структуры субстрата в развитии рельефа Северного Урала. В сб. «Структурная геоморфология горных стран». Фрунзе, «Илим», 1973.
- Астахов В. И.* Исторический принцип систематизации генетически однородных поверхностей выработанного рельефа. В сб. «Проблемы геоморфологического картирования». Тезисы докл. Всес. совещ. по разномасштабному геоморфол. картированию. Л., 1975.
- Астахов В. И., Ероменко В. Я.* Геологическая информативность телевизионных космических снимков закрытых районов (на примере Приенисейской Сибири). В сб. «Исследование природной среды космическими средствами». Геология и геоморфология, т. 2, М., Изд. АН СССР, 1974.
- Аэрометоды геологических исследований. Л., «Недра», 1971.
- Ганешин Г. С.* Геоморфологическая карта СССР масштаба 1:1 000 000 и некоторые вопросы крупномасштабной геоморфологической съемки. «Геоморфология», № 1, 1970.
- Дэвис В. М.* Геоморфологические очерки. М., Изд-во ин. лит., 1962.
- Пенк В.* Морфологический анализ. М., Географгиз, 1961.

Чемеков Ю. Ф. Морфология, генезис, возраст и условия формирования древних поверхностей денудационного выравнивания на юге Дальнего Востока СССР. «Тр. ВСЕГЕИ», нов. сер., т. 90, Л., 1963.

Лаборатория аэрометодов  
ВНПО «Аэрогеология»

Поступила в редакцию  
19.III.1975

---

## ON THE GEOINDICATIVE SIGNIFICANCE OF THE RELATIVE AGE OF TOPOGRAPHY

V. I. ASTAKHOV

### Summary

Relative age of topography (stage of denudational development) is introduced as a criterion of geological interpretation. The thesis is illustrated with examples from the Northern Urals and western Middle Siberia. The geological interpretation practice has been concluded to confirm Davis scheme, which states the topography correspondence to geological structure to change in the course of erosion cycle. A scheme of regionalization based on relative age of topography is necessary for automatization of geological deciphering. The author substantiates the necessity of general morphochronological scheme compilation by means of identification of natural stages in the topography development, which are independent on geological age.

---