

УДК 551.4

Н. А. ФЛОРЕНСОВ

О ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМАЦИЯХ

Автор возвращается к своему старому предложению ввести в геоморфологию понятие о геоморфологической формации и развивает некоторые новые аспекты этого понятия. Геоморфологическая формация сравнивается с морфогенетическим типом рельефа. В качестве примера геоморфологических формаций указываются трапповые области, рифтовые зоны и области островных дуг.

Вводные замечания

Уже сравнительно давно автором настоящей статьи было предложено понятие геоморфологической формации как наиболее высокой генетической единицы в науке о рельефе Земли (Флоренсов, 1964). Оно вызвало в общем положительный отклик И. П. Герасимова (1967). В широких же кругах геоморфологов и геологов это предложение хотя и не получило поддержки, но и не было никем квалифицировано, как неудачное. Допустимо думать, что понятие геоморфологической формации было сочтено излишним, переполняющим существующую номенклатуру форм рельефа и бесполезным при конкретном анализе рельефа, а также и при теоретическом синтезе геоморфологических данных. Автор имеет, видимо, право подумать несколько иначе и, в частности, что понятие неудачно сформулировано и поэтому осталось не вполне ясным. Последние соображения и заставили нас еще развернуться к этому понятию; мы убеждены, что оно небесполезно и что ему предстоит еще сыграть известную положительную роль в науке о рельефе земной поверхности.

Содержание понятия «геоморфологическая формация»
и возможная область его применения

В своей первой публикации по разбираемому вопросу (Флоренсов, 1964) автор попытался ввести в круг геоморфологических понятий и терминов мысль о единстве материала, из которого формируется рельеф, и самого рельефа. Для этого понадобилось выдвинуть несколько отличное от прежних понимание геоморфологической структуры как некоторой обладающей естественными геологическими границами области внутренней коровой среды, противопоставленной внешней водно-воздушной среде, иными словами — как совокупности вещественных, внутриморфологических (условия залегания геологических тел) и структурно-динамических свойств субстрата. Таким образом, в предложенном понимании геоморфологическая структура не заменяет и не может заменить понятия о структуре рельефа, в которое, впрочем, различные авторы вкладывают неодинаковый смысл, но которое обычно предполагает пассивность субстрата или, во всяком случае, исходит из положения, что субстрат есть нечто данное и подобен начальному условию решаемой геоморфологической задачи. С другой стороны, геоморфологическая структура не совпадает, по мысли автора, и с тем, что мы называем геологиче-

ским строением, хотя оба эти понятия родственны. Первая обнимает только те статистические, а также потенциально динамические свойства земной коры, которые получили или же могут получить выражение в рельефе, повлиять на развитие его форм, проявиться в нем как в непосредственном, так и в опосредованном виде (например, известняки в формах карста). Это «сырая заготовка» для существующего и будущего рельефа, это и сам субстрат как вещественно-геологическое тело и все его как явные, так и скрытые морфологические свойства. Таким образом, геоморфологическая структура, по мысли автора, это не совсем «геологическое строение», в которое входят как вещественные, петрографо-литологические, так и структурные, пространственно-генетические и пространственно-временные, историко-стратиграфические элементы, часть которых имеет прямое или косвенное отношение к геоморфологической структуре, а часть несущественна и не может рассматриваться как элемент последней. Наиболее кратко геоморфологическую структуру как сложное, статическое явление, готовое к своему воплощению в формах земной поверхности, можно определить как геоморфологический потенциал земной коры.

Здесь необходимо следующее отступление. В предложенном нами понимании геоморфологической структуры И. П. Герасимов справедливо отметил стертость принципиального различия между активной и пассивной морфотектоникой, поглощаемых в этом случае единым понятием (Герасимов, 1967). Надо сказать, что в свое время автор также резко разграничивал понятия «структуры», т. е. пассивную тектонику, и движения, т. е. активную тектонику, в их приложении к анализу рельефа (Флоренсов, 1947). Попытка их соединения в одном понятии была действительно неудачной в том смысле, что движения юные и современные (т. е. неотектоника или активная морфотектоника) не могут быть отнесены к морфологическому потенциалу земной коры, так как имеют глубинный и в этом смысле внешний для нее источник. Поэтому в наше прежнее определение признаков и элементов, составляющих геоморфологическую структуру, необходимо ввести некоторую поправку, исключив из него новейшую динамику, но сохранив при этом потенциальную способность субстрата к новейшим движениям определенного типа (например, к новым возбуждаемым сейсмикой сдвигам по поверхностям или зонам древних сдвигов), так как последняя, по данным изучения некоторых сейсмоактивных областей, заложена в самой кажущейся мертвой геологической структуре.

Скрытое становится явным, когда геоморфологическая структура как сумма ранее не реализованных геоморфологических возможностей вступает вместе с данным участком (сводовым поднятием, тектоническим блоком, а в пределе — со всей континентальной массой) земной коры в контакт с атмосфросферой и оказывается в новых термодинамических условиях, подвергаясь воздействию так называемых рельефообразующих факторов. Возникает геоморфологическая формация, которая, сколько бы времени она ни существовала, т. е. независимо от того, что В. Дэвис называл стадией, будет сохранять в данной климатической обстановке свои типические черты, а при перемене климатической обстановки выдвинет новые скульптурные детали (неровности, формы рельефа), бывшие в ее потенциале и ранее, но только теперь получившие возможность своего проявления. Геоморфологическая формация образуется путем доведения геоморфологической структуры до реального рельефа воздействием на субстрат географических факторов и реакцией на эти воздействия того же самого субстрата. Таким образом, мы предложили понимать под геоморфологической формацией *«естественное и исторически обусловленное сочетание форм земной поверхности, связанных друг с другом единством места и времени и существующих при определенном тектоническом и климатическом режимах, порождающих тот или иной*

способ их (т. е. форм рельефа) подвижного равновесия» (Флоренсов, 1964). Иными словами, геоморфологическую формацию можно было бы определить как более или менее обособленное, естественное и обусловленное единством (не единообразием!) тектонического режима поверхности выражение геоморфологических структур осложненных денудационными и аккумулятивными деталями, обусловленными климатом. Это также закономерное в данной тектонической и географической обстановке и устойчивое во времени единство морфоструктуры и морфоскульптуры в их общеизвестном понимании. Подобно тому как статуя или кристалл — не только форма, но и *подходящий* к ней и заключенный в ней материал, геоморфологическая формация — рельеф и его материал, также «подходящий» в смысле его пластических свойств и характера реакции на воздействия внешних факторов.

Если рельефом принято называть совокупность неровностей земной поверхности, независимо от масштаба (размеров) последних, то вместе с тем в геологии, геоморфологии и географии, лишь только дело доходит до конкретного исследования, внешние (топографические) черты земной поверхности уже не исчерпывают содержания научного понятия о рельефе. Горные массы, горные породы, условия и формы их залегания, в меру геологического знания о них, неминуемо входят в это представление. Рельеф конкретен как вещественное образование, как «наружность» земной коры, как материальная основа ландшафта. Выше мы сравнивали рельеф с кристаллом, со скульптурным произведением. В скульптуре форма как будто бы важнее содержания, но перемена содержания, материала, как известно, мгновенно меняет и технику создания и характер художественного восприятия. В геоморфологии внешние формы земной поверхности на первый взгляд также кажутся важнее их субстрата (геоморфологической структуры), но лишь только ставится вопрос о происхождении рельефа, на первый план выступает его субстрат. Отсюда, например, следует элементарное и общепринятое деление гор на складчатые, складчато-глыбовые, глыбовые и др. В современном научном языке нельзя говорить просто о рельефе как о той или иной естественной геометрической сложности земной поверхности, идет ли речь об общих закономерностях или о практических проблемах (обратим внимание в этой связи на геоморфологические аспекты инженерной геологии). Познание рельефа идет через топографическую, геологическую и геоморфологическую научно-логические ступени. Любой геоморфолог, описывая рельеф, не задумываясь над кажущейся традиционной, а на самом деле действительной необходимостью, переходит от орографии к генетической объяснительной геоморфологии и волей-неволей «погружается» в субстрат. При этом очень часто ему приходится довольствоваться готовыми геологическими схемами для характеристики фундамента, а рыхлые образования изучать специально и разносторонне, так как в геологических работах главное внимание уделяется, как правило, коренным древним породам.

Понятие геоморфологической формации, по нашему мнению, позволяет окинуть одним взглядом и осмыслить в одной общей идее реальный рельеф земной поверхности. При этом если геологическая формация есть образование вещественно-тектоническое, то геоморфологическая формация — образование вещественно-морфологическое, в котором роль тектоники как типа, интенсивности движений и остаточных деформаций земной коры то сильно замаскировано (низменности Западно-Сибирской равнины, трапповые плоскогорья Средней Сибири), то выступают на самый передний план (горно-складчатые альпиды, рифтовые зоны).

Именно через геоморфологические формации, а не просто через рельеф, геоморфология непосредственно контактирует с геологией, поскольку первые прежде всего учитывают геологический субстрат, его историю и структуру. Нам кажется, что именно через геоморфологические форма-

ции, в которых так много места отводится особенностям происхождения рельефа, геоморфология могла бы превратиться из учения о «внешности» земной поверхности в науку о всех главных особенностях земной поверхности, в одну из полноправных наук о Земле.

Некоторые осложнения во все эти рассуждения вносит вопрос об истории рельефа и об историчности геоморфологических формаций. Предопределенность, потенциальные возможности субстрата, условия и самый момент наступившей реализации этих возможностей, переход структуры в формацию — все эти понятия имеют смысл только на «фоне» времени. Мы привыкли думать, что геоморфология — историческая наука, но не привыкли к тому, что для проникновения в прошлое геоморфология как таковая располагает очень ограниченными средствами. Этот вопрос мы уже разбирали раньше (Флоренсов, 1971) и пришли к выводу, что, например, палеогеоморфология лишь очень условно может быть причислена к самостоятельной ветви общей геоморфологии. Последняя располагает лишь ограниченными возможностями косвенного анализа рельефа, и ее собственная методика действительна только для отрезка времени начиная с неогена или в крайнем случае с конца мезозоя — начала палеогена. С этим, пожалуй, не стоит и спорить. Если так, то геоморфология, рассматривая современный рельеф, рассматривает современные же геоморфологические формации, стараясь по возможности заглянуть в в их геологическое прошлое и употребляя при этом по мере отхода от современности все далее в глубь времен вначале смешанные геолого-геоморфологические, а затем, по необходимости, единственно геологические признаки, факты и методы.

Геоморфологические формации и анализ рельефа

Каждый новый термин, вводимый в науку, прививается лишь тогда, если он, не в ущерб содержанию тех или иных явлений, определяет их точно и экономно. Мы говорим об удачных, т. е. кратких, точных, и о неудачных терминах, которые также могут быть краткими, но не точными. При этом, конечно, всегда необходим этимологический контроль. Понятие, «одетое» в научный термин, служит самому исследованию и в конечном счете входит в теоретическую систему данной науки. Все это имеет место, если новое научное понятие способно выполнить подобные функции, иначе оно будет неминуемо отброшено.

Наше отношение к геоморфологической формации определяется прежде всего тем, что мы считаем ее высшей таксономической единицей в номенклатуре региональных форм земной поверхности и вместе с тем наиболее общей категорией в конкретно-аналитическом познании тех же форм земной поверхности, тогда как глобальный рельеф, рельеф планеты в целом, должен, по-видимому, служить предметом другого, географо-геофизического подхода. Обратимся к некоторым сопоставлениям.

В своем известном геоморфологическом синтезе И. П. Герасимов (1946) выделил в рельефе Земли образования трех порядков: первого, т. е. высшего — геотектуры, второго, или среднего — морфоструктуры, низшего, или третьего — морфоскульптуры. При этом в понимание порядка неровностей земной поверхности включались степень общности выражения (и общности зависимости от рельефообразующих сил) и размерности форм рельефа. Таким образом, ряд: геотектуры — морфоструктуры — морфоскульптуры ведет нас от общего к частному, от целого к деталям, от крупного к малому, от гигантских эндогенных явлений к менее значительным, а затем — к экзогенным явлениям. Плодотворное влияние идей И. П. Герасимова на процесс геоморфологических исследований воплотилось, как известно, в морфоструктурном и морфоскульптурном анализе рельефа.

Геоморфологическая формация, как следует из сказанного выше, не вмещается и не может вмещаться в триаду И. П. Герасимова по той простой причине, что она имеет другую принципиальную основу. Это понятие не предназначено для систематизации форм земной поверхности по признаку общности происхождения (степени гомогенности) и их размерностям. Для геоморфологической формации невозможно указание на ее «порядок». Заметим попутно, что всякая систематизация или классификация никогда не была и не может быть целью исследований, а лишь средством, подобно тому как самый удачный термин сам по себе имеет, конечно, мало общего со знанием существа дела. Геоморфологическая формация — морфолого-генетическое понятие о рельефе, не довольствующееся его наружностью, но включающее в себя также его материальную геологическую основу. В геоморфологическую формацию входят, причем не механически или последовательно по значимости, а органически, равноправно, и морфоструктура и морфоскульптура, причем и та и другая опираются на конкретный геологический материал, составляющий по отношению к уровню океана то, что гравиметристы называют «топографическими массами».

Если понятие о геоморфологической формации служит не только целям номенклатуры форм земной поверхности, а должно, по мысли автора, послужить еще и развитию геоморфологических методов, то его функциональное соотношение с триадой И. П. Герасимова должно быть вполне четким. Посмотрим, как обстоит дело с этим.

Учение о геологических формациях, созданное Н. С. Шатским и Н. П. Херасковым, приобрело огромную популярность среди геологов потому, что оно оказалось чрезвычайно гибким и острым инструментом прежде всего в конкретных региональных исследованиях, породив широко применяемый и по существу обязательный в современных исследованиях формационный анализ. Может ли выполнить подобную или другую полезную функцию геоморфологический формационный анализ? Вопрос трудный, но требующий немедленной постановки.

Понятие о геологической формации¹ как вещественном образовании, обусловленном определенным тектоническим режимом прошлого и занимающим подобающее этому режиму (и структуре) место как в пространстве, так и во времени, вообще говоря очень просто и естественно, но возникло оно на очень высоком уровне геологических знаний. С помощью формационного анализа возможно расшифровывать и последовательность и пространственные закономерности геологических событий, а также внешние связи и внутреннюю жизнь бассейна седиментации. Расшифровка геологических формаций начинается, как известно, с литологии. Что дает в этом смысле геоморфологическая формация? Это понятие также чрезвычайно просто: типичный рельеф на типичном геологическом субстрате. Расшифровка в этом случае начинается с морфографии. Последняя через анализ субстрата (геоморфологической структуры) и действующих рельефообразующих процессов приводит в конечном счете к геоморфологическому их синтезу, и тогда место выведенной подобным образом геоморфологической формации становится определенным, ее внешние связи — отчетливыми, а прочтение ее будущего — вероятным, хотя и многовариантным. Геоморфологическая формация как инструмент обращена, таким образом, только отчасти в прошлое, главным же образом — в настоящее (инженерная геоморфология, нефтепоисковая, геоморфология россыпей, сельскохозяйственная, криогеоморфология и иные прикладные аспекты) и в будущее.

Формационный геоморфологический анализ в понимании автора не предполагает, по существу, никаких совершенно новых приемов и не является как-либо открытием. То, что в процессе исследований соблю-

¹ Имеются в виду осадочные геологические формации.

дается в определенной методической последовательности, требуя от исследователя необходимой эрудиции в геоморфологии (рельеф) и в геологии (вещественно-структурная основа), и есть формационный анализ. Кстати сказать, так было и в истории геологии: формационным анализом геологи занимались и даже давали его образцы задолго до появления законченного учения о формациях и формулировок принципов соответствующего анализа. Последние внесли в геологические исследования широкую теоретическую основу, сознательный поиск не явных, но нужных для исследователя звеньев, помогли в необходимых случаях оторваться (не вообще отмахнуться) от слишком тесных рамок стратиграфии. В геоморфологию понятие формации вносит, как мне кажется, понимание целей исследования — определение места данного рельефа как *в*, так и *на* земной коре в текущем эволюционном ряду и в группе ему подобных в будущем: требует обязательного совместного рассмотрения формы, субстрата и процесса и в известной мере освобождается от нагрузки со стороны формальных характеристик рельефа, тем более, что описание при современных возможностях иллюстрирования и моделирования может сводиться к минимуму. Формационный анализ — это комплексное применение как структурно-геоморфологических, так и климато-геоморфологических методик исследования, органически дополняющих друг друга; иными словами, совместный, морфоструктурный и морфоскульптурный региональный анализ на глубокой геологической основе.

Геоморфологические формации и морфогенетические типы рельефа

Постараемся теперь ответить на вопрос — не является ли геоморфологическая формация синонимом морфогенетического типа рельефа (Герасимов, 1967). Из сказанного выше с полной, на наш взгляд, ясностью следует, что ставить между ними знак равенства никак нельзя, так как во втором случае речь идет все же (и только) о рельефе определенного генетического типа, обладающем теми или иными своеобразными чертами, т. е. только о самом рельефе, о формах, которые не то чтобы совсем оторваны от своего внутреннего содержания, — оно сказывается в их своеобразии и типичных сочетаниях, — но все же являются только внешним временным результатом обработки субстрата (геологического материала) тем или иным рельефообразующим процессом или совокупностью нескольких таких процессов. Кроме того, в понятии о генетическом типе рельефа возможно различать множество порядков — от высокосложных (в генетическом отношении) до элементарных, так как в этом понятии все главное подчинено происхождению, генезису, вскрываемому или запечатленному в формах рельефа. В этой связи можно было бы говорить о геоморфологических фациях и о соответствующих фациальных переходах.

Далее, геоморфологическая формация представляет особый реальный, но далеко не единственно возможный в разных географических условиях геоморфологический результат; в ней заключены не одна, а многие генетические возможности, реализация которых может быть очень устойчивой, длительной (ступенчатый рельеф на неоднородной горизонтальной структуре) или весьма кратковременной, эфемерной (карстовый рельеф на малоомощной пачке известняков). Но главное отличие морфогенетического типа рельефа от геоморфологической формации, как уже подчеркивалось выше, заключается в том, что последняя обнимает собой и рельеф и его субстрат по крайней мере до глубины нижней границы зоны выветривания, а в общем случае — все поверхностные массы до уровня базиса денудации, другими словами, обнимает собой в тех или иных генетических границах всю скульптуру земной поверхности в общем пластическом понимании этого слова, а не в том существенно ином смысле, который имеет морфоскульптура в триаде И. П. Герасимова

(1964), и где лепка рельефа — аккумуляция — не менее важна, чем его резьба, то есть денудация. всех видов.

Наконец, геоморфологическая формация, по мысли автора, есть понятие конкретно-региональное, и в ее географических границах могут помещаться и развиваться различные морфогенетические типы рельефа. В полном соответствии с основным противоречием как диалектической пружиной развития земной поверхности мы находим «в корне» каждой формации два главных условия ее существования: определенную термодинамическую среду (отсюда субаэральная, субаквальная и субгляциальная группы формаций) и тектоническую предопределенность, обусловленную исторически сложившейся структурной гетерогенностью земной коры.

В заключение приведем несколько наиболее простых и удачных, по нашему мнению, примеров геоморфологических формаций.

Формация трапповых полей. Трапповые поля и близкие к ним базальтовые плато, привлекающие к себе все возрастающий интерес в связи с проблемами глубинной геологии, вместе с тем представляют собой отличный пример эпиплатформенной геоморфологической формации. Они широко распространены по земному шару, причем не только на материках (провинция сибирских траппов, плато Декан в Индии, базальтовые поля Эфиопии, Патагонии и др.), но и, несомненно, на дне океана. Соответственно необходимо различать субаквальные и субаэральные трапповые геоморфологические формации. Региональная превосходно выраженная ступенчатость холмистого траппового рельефа, будучи прямым и неизбежным выражением неоднородной платформенной структуры субстрата, определяет его физиономию в такой степени, что все прочие геоморфологические черты отодвигаются на второй план. Вследствие этого, несмотря на резкие различия в климатических условиях и, следовательно, в чертах географического ландшафта, различные трапповые области (например, плато Декан и провинция сибирских траппов) должны быть причислены к одной геологической формации. Пожалуй, такие формации можно рассматривать как случай самого точного воспроизведения близгоризонтальной слоистой осадочно-вулканогенной резко анизотропной геоморфологической структуры одноименной формацией — случай, в котором, однако, могут найти свое место и развитие различные морфогенетические типы рельефа.

Рифтовые зоны могут служить примером орогенных геоморфологических формаций. Их роль в рельефе и структуре Земли, как сравнительно недавно выяснилось, исключительно велика, причем особенно широко распространены субаквальные рифтовые формации, представленные срединными хребтами океанов. Несмотря на различие размеров, главным образом протяженности океанических и материковых рифтовых зон и развитие на различных типах земной коры, их морфологическое сходство очень велико, на что уже обращалось внимание. Оно могло бы послужить темой особой статьи. Здесь отметим только, что во всех несомненных примерах рифтовых зон они составлены цепями узких линейных впадин-грабенов, оформленных сбросовыми уступами различной выразительности, причем сами грабены (рифты) кажутся втиснутыми в приподнятые первоначально выровненные поверхности. Деформации последних относятся к типу плоских одиночных сводов, киматогенов Л. Кинга или же более сложных поднятий (Байкальская зона), приобретших геоморфологическое выражение в разное время в различных рифтовых зонах, но, по-видимому, повсеместно в рамках неогена и плейстоцена. В Байкальской зоне прогибание, начавшееся в олигоцене — миоцене, предшествовало горообразованию и собственно рифтообразованию (Логачев, 1968; Флоренсов, 1968). Новейшая тектоническая структура в рельефе рифтовых зон выражена очень активно, в то время как внутренняя структура фундамента (субстрата), т. е. пассивная тектоника, проявляется в

нем слабо. Все известные рифтовые зоны Земли, наземные и подводные, осложнены вулканическими формами, расположенными на дне грабенов, на их плечах, а иногда и в некотором удалении. Общность механизма образования и относительная геологическая молодость всех рифтовых зон обуславливают особенную выразительность и общее сходство рифтовых геоморфологических формаций в разных географических условиях (например, Западная Европа, Восточная Африка, Средняя Сибирь).

Области островных дуг и глубоководных желобов могут рассматриваться как эпигеосинклинальные переходные (субаэрально-субаквальные) геоморфологические формации, связь которых с глубинными структурами земной коры и вулканическими поясами общеизвестна и также исключительно выразительна. Не только по своей глобальной позиции, но и собственно геоморфологически эти формации могут рассматриваться как противоположность другой субаквальной формации — шельфовой. Геоморфологическое единство свойственно островным дугам также вопреки их размещению в различных климатических зонах и не оставляет сомнений в их принадлежности к единой геоморфологической формации.

Мы предельно кратко охарактеризовали три различные геоморфологические формации, в каждой из которых соответствие наружных форм рельефа структуре субстрата выражено по-своему, но очень велико во всех трех случаях. Наиболее наглядно геоморфологическая структура превращена в типичную геоморфологическую формацию в рифтовых зонах.

Мы полагаем, что если геоморфологические формации вообще найдут себе дальнейшее применение, то с их помощью сможет быть осуществлено более углубленное и рациональное геоморфологическое районирование, чем на какой-либо иной основе.

ЛИТЕРАТУРА

- Герасимов И. П. Опыт геоморфологической интерпретации общей схемы геологического строения СССР. — Проблемы физ. геогр., 1946, № 12.
Герасимов И. П. Структурный анализ рельефа и его содержание. — Методы геоморфологических исследований, т. I. Изд-во «Наука», Новосибирск, 1967.
Логачев Н. А. Осадочные и вулканогенные формации Байкальской рифтовой зоны. — Сб. Байкальский рифт. Изд-во «Наука», 1968.
Флоренсов Н. А. О структурном типе рельефа Забайкалья и термине «горный хребет». — Бюлл. Моск. о-ва испыт. природы. Отд. Геологии, 1947, т. XXII, вып. 6.
Флоренсов Н. А. О некоторых общих понятиях в геоморфологии. — Геология и геофизика, 1964, № 10.
Флоренсов Н. А. Байкальская рифтовая зона и некоторые задачи ее изучения. — Сб. Байкальский рифт. Изд-во «Наука», 1968.
Флоренсов Н. А. О рациональных границах геоморфологического анализа и некоторых временных определениях. — Геоморфология, 1970, № 1.

Институт земной коры
СО АН СССР

Поступила в редакцию
28.IX.1970

ON GEOMORPHOLOGICAL FORMATIONS

M. A. FLORENCOV

Summary

The author is going back to the notion of geomorphological formation offered by him earlier and develops some new aspects of it. This notion is compared with «the morpho-genetic type of relief». Basaltic table-lands, rift zones and islands areas are taken as an example of geomorphological formation.