

УДК 551.436 + 437 : 519.12

ЧЕРНОВ Г. А.

ПОРЯДОК В РЕЛЬЕФЕ ГОРНЫХ СКЛОНОВ (ПРЕДПОСЫЛКИ К СИСТЕМНОМУ АНАЛИЗУ)

Общеизвестно, что в основе возникновения горного рельефа лежит поднятие первично-выровненной территории, которому сопутствуют зарождение и последующее развитие речной сети и становление первично-эрозионного рельефа. В процессе дальнейшей эволюции горного сооружения рельеф изменяется, разрушается и создается заново, но в силу одного из главных свойств геоморфологической системы — стремления ее к самосохранению [1] — даже через завесу многосложной истории просвечивают элементы ее первичного строения или первично возникшего порядка.

Условимся «порядкоформирующей системой горного рельефа» называть совокупность устойчивых функциональных связей, возникающих при рождении горного рельефа, или совокупность взаимосвязанных элементов первичного эрозионного рельефа, относящуюся к определенному по времени поднятию. Термином «порядок» будем выражать место реки, склона или водораздела в последовательном скачкообразном процессе становления речной сети. Тенденцию рек, склонов и водоразделов элементарного поднятия к приобретению определенных форм, размеров и ориентировки относительно главных рек и водоразделов, благодаря чему система приобретает гармоническое строение, выражаемое ритмичностью, симметрией и другими закономерными свойствами, назовем «поляризацией рельефа». В зависимости от степени выраженности указанных свойств будем говорить о хорошо или плохо поляризованном рельефе, имея в виду, что плохая выраженность поляризации может быть связана или с израсходованием значительной части потенциальной энергии рельефа, или с воздействием на эрозионный рельеф относительно сильных климатических или тектонических факторов, нарушающих прежний порядок в рельефе.

Анализируя строение данной порядкоформирующей системы (а не рельеф в целом, связанный множеством систем), мы вынуждены придать своеобразный оттенок некоторым привычным понятиям. Так, водораздел данной системы понимается как линия или поверхность, разделяющая смежные реки, относящиеся только к данной системе. Реки, относящиеся к другим системам, могут пересекать анализируемый водораздел. Например, водораздел Центральнотаннуольского поднятия пересекается верховьями р. Холу и ее левых притоков, присоединенных к р. Холу в результате перехвата верховьев смежных рек. Аналогичные уточнения необходимо внести в определение понятий «река (долина)» и «склон» *n*-порядка.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОРЯДКОВ РЕК (ДОЛИН), СКЛОНОВ И ВОДОРАЗДЕЛОВ

Классификация для целей, изложенных выше, должна удовлетворять следующим главным условиям: 1) отражать закономерность строения и последовательность формирования речной сети; 2) однопорядковые элементы рельефа должны быть подобными и занимать определенное место в порядкоформирующей системе горного поднятия; 3) одновременно образованные, сочлененные и ритмически повторяющиеся элементы рельефа должны иметь одинаковый порядок.

Имеющиеся классификации по разным причинам не удовлетворяют этим условиям. В. П. Философов, сделавший критический обзор всех существующих классификаций, разделил их на две группы. В группе ранних классификаций (И. С. Щукина, А. В. Огиевского, М. А. Великанова и др.) выделяется «главная река» и затем последовательно нумеруются впадающие друг в друга притоки. Такая классификация, по мнению В. П. Философова, «является формальной», «исследователи не пользуются ею и не делают из нее никаких выводов» [2, с. 6]. Другая группа классификаций (Р. Е. Хортона, Б. П. Панова, Н. А. Ржаницына и В. П. Философова), отличающаяся по существу обратным направлением нумерации порядков, тоже формальна. Взять хотя бы дихотомическую классификацию, которая построена по принципу увеличения порядка на 1 при слиянии однопорядковых рек: $1+1\rightarrow 2$, $2+2\rightarrow 3$ и т. п. Мы не можем пользоваться формальными классификациями по той причине, что они игнорируют историю рельефа. Изучая горный рельеф, мы убедились в том, что при нарушении поляризованности рельефа фактор слияния рек теряет во многих случаях свое порядкоформирующее значение. Например, р. Ирбитей Центральнотаннуольского поднятия сливается с причлененной к ней благодаря новейшему разлому рекой Западно-таннуольского поднятия. Многочисленные реки, разрушающие сложившийся порядок и не находящие себе в нем соответствующего места, образованы в восточной части Тоджинской котловины (оледенение), по южным склонам хребтов Танну-Ола (внутренние дельты), Уюкского хребта (избирательная денудация) и в других местах.

Нужна классификация, помогающая разобраться в путанице порядкоразрушающих систем путем выделения главной порядкоформирующей системы, все элементы которой подчинены одной логике. Рассмотрим последовательно элементы логики порядкоформирующей системы на примере линейного горного поднятия.

Если на первично-равнинной территории возникают горные сооружения, то на них в первую очередь намечаются оси поднятия прямолинейной или слабоизогнутой формы — будущие водоразделы 1-го порядка (сокращено «водоразделы-1»). На каждом изолированном во времени поднятии формируется своя порядковая система, поэтому поверхность, соединяющая водоразделы-1, лишь условно может быть названа поверхностью-1, а реки, текущие в межгорных котловинах, — реками-1. В том случае если рельеф первичной поверхности не был достаточно ровным и на месте первичного поднятия существовала реликтовая речная сеть, то возникающие новые уклоны рельефа приводят к быстрой перестройке речной сети, а брошенные долины реликтовых рек под напором сил денудации, вызванных новой фазой поднятия, со временем исчезают с лица Земли. Хорошим подтверждением сказанному может служить метаморфоза рек Тойлур и Сенек, ранее имевших северо-западное простираие, а затем в связи с поднятием хр. Морук бросивших свои хорошо выработанные долины и направивших течение вниз по склону хребта, на север. Эта структура подробно описана нами [3] как пример относительно молодых горообразовательных движений в Центральной Туве. Она указывает на тесную связь строения порядкоформирующей системы со структурой поднятия горного хребта. Склон первичного поднятия также рассматривается как склон 1-го порядка. Реки, текущие вниз по этому склону от водораздела-1 в направлении к реке-1, считаются реками-2. Параллельные долины рек-2 закладываются на соизмеримых расстояниях друг от друга. Истоки смежных рек-2 также удалены на примерно равную величину, составляющую ширину водораздельной поверхности-1. Эти закономерности связаны с тем, что однопорядковые реки приблизительно в одинаковой степени понижают уровень грунтовых вод. Наилучшее дренирование склона-1 при этом осуществляется тогда, когда речные долины секут склон через одинаковые интервалы (рис. 1).

Углубившиеся долины рек-2 отклоняют на склоне-1 хребты-2 с формирующимися на них в осевой части водоразделами-2. В отличие от хребтов-1 хребты-2 и более высших порядков созданы эрозией и не являются

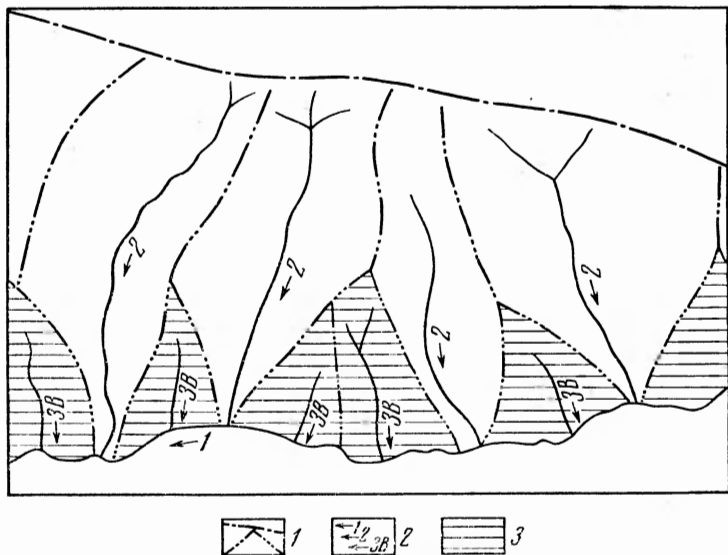


Рис. 1. Схема индексации водоразделов и рек порядкоформирующей системы
1 — водоразделы-1, -2 и -3В, 2 — индексы рек тех же порядков, 3 — водоразборные комплексы рельефа в торцевой части хребтов-2

морфоструктурами. Их водораздельные поверхности и оси наклонены к основанию горного сооружения, тогда как водоразделы-1 почти горизонтальны. С водоразделов-2 берут начало реки-3, которые впадают в реки-2 и т. д. Описанные отношения составляют основу нашей классификации, поэтому реки и другие элементы рельефа, подчиняющиеся описанной логике, можно назвать «основными», а саму логику выразить простой формулой

$$n[(n+1)]n, \quad (1)$$

которую можно прочесть так: река, начинающаяся от водораздела- n (слева от квадратных скобок) и впадающая к реку- n (справа), имеет $(n+1)$ основной порядок (в квадратных скобках).

Совокупность основных элементов составляет основной комплекс порядкоформирующей системы. Логика его выделения выражена формулой (1). Она показывает, что порядки, окаймляющие элементы рельефа этого комплекса (долины, водоразделы) сверху и снизу, равны, т. е. их разность равна нулю. Кроме основного комплекса, можно выделить комплексы с разностью окаймляющих порядков, равной $+1$ и -1 , $+2$ и -2 . Этих комплексов достаточно для анализа системы. Их логика показана в таблице.

Принципиальное значение выделяемых комплексов состоит в том, что они отличаются функциональной ролью регулярных потоков, локализуясь в пространстве, образуя специфический для каждого комплекса эрозийный рельеф.

Проявление в рельефе водоразборного комплекса (разность окаймляющих порядков, равная $+1$) связано с тем, что соседние бассейны однопорядковых рек, имеющие лепестковидную форму, плохо дренируют расширенное основание заключенной между ними горной гряды (рис. 1) и здесь со временем образуется совокупность параллельных или расходящихся рек и разделяющих их водоразделов, начинающихся в торцевой части хребта- $(n+1)$ и спускающихся к реке- n . Эрозийная деятельность рек водоразборного комплекса понижает рельеф торцевой части хребта- $(n+1)$ и способствует образованию характерного перегиба (ступени) в его продольном профиле. Водоразборные комплексы рельефа распознаются на детальном топографических картах. В горах Тувы они наиболее часто локализуются в торцевой части хребтов-2, реже хребтов-3 и более

высокого порядка. Местами они характерны для хребтов-1, особенно в местах их пересечения долиной Енисея в хребтах Западный Саян и Академика Обручева. Порядок элементов водоразборного комплекса, образованного в торце хребта- $(n+1)$, определится символом $(n+2)B$. Возраст рек водоразборного комплекса, по-видимому, близок возрасту рек основного комплекса того же порядка. Можно предполагать, что если первые образуются раньше вторых, то они формируют параллельную (независимую) совокупность, а если позже, то направление их течения окажется зависимым от денудации торцевой части хребта реками основного комплекса, т. е. в этом случае они образуют расходящуюся (зависимую) совокупность. Сравнительно редко торцевые участки хребтов расчленены последовательно развивающимися водоразборными реками

Выделение порядкоформирующих комплексов

Комплекс	Обозначение	Разность окаймляющих порядков	Логика выделения
Водоразгрузочный	P	+2	$(n+2)B[(n+3)P]n$
Водоразборный	B	+1	$(n+1)[(n+2)B]n$
Основной	—	0	$n[(n+1)]n$
Водосборный	C	-1	$n[(n+2)C](n+1)$
Водозаборный	3	-2	$n[(n+3)3](n+2)C$

на все уменьшающихся дренируемых площадях. Территория, занимаемая водоразборным комплексом, в плане имеет вид равнобедренного треугольника, вершина которого лежит на водоразделе- $(n+1)$, а основание вытянуто вдоль края долины- n . Может сложиться впечатление, что водораздел- $(n+1)$ при наличии водоразборного комплекса не доходит до основания склона- n и упирается в вершину водоразборного комплекса. Это не так, поскольку водоразборный комплекс — более позднее, наложенное образование. Сказанное следует относить и к взаимоотношениям между водоразборным и следующим водоразгрузочным комплексами.

Водоразгрузочный комплекс рельефа формируется на торцах водоразборных хребтов, но порядковый индекс $(n+3)P$ ему присваивается и в том случае, если водоразборный комплекс выпадает, т. е. не получает развития. Образование комплекса можно связывать с окончательной водоразгрузкой хребтов на склонах повышенной крутизны в основании долин, непосредственно примыкающих к долинным педиментам. Реки комплекса практически не имеют притоков, они примерно равны по длине, параллельны, перемежаются с сухими логами временных потоков и лотками камнепадов (кулуарами). Рельеф комплекса тесно связан с шеренгами базисных треугольников в долинах рек. Последние генетически родственны треугольникам водоразборных комплексов, отличаясь от них меньшими размерами и локализацией в основании склона. Водоразгрузочный комплекс формируется после водоразборного. Его рельеф, частично обусловленный осыпанием обломков на склоне, обновляется по мере продолжения педиментации склона. В связи с тем, что рельеф комплекса связан со склонами повышенной крутизны, на его границе с водоразборным комплексом практически всегда можно различить перегиб (выгиб). Как можно видеть из таблицы, разность окаймляющих порядков комплекса составляет +2. Тот факт, что реки комплекса элементарны, делает бессмысленным выделение комплексов, имеющих разность +3 и больше. Водоразгрузочные комплексы наиболее характерны для склонов 1-, 2-, реже 3-го и более высоких порядков.

Таким образом, если двигаться от водораздела- n вниз по склону- n , придерживаясь наиболее возвышенных его частей, то на пути будут последовательно сменяться: водораздел- n , водораздел- $(n+1)$, водораздел- $(n+2)B$, рельеф комплекса- $(n+3)P$, и, наконец, мы спустимся к реке- n (рис. 2). Отделив склон от окаймляющих водораздела- n и долины- n квадратными скобками, получим формулу современного склона, пред-

ставленного всеми комплексами:

$$n[(n+1) \rightarrow (n+2)B \rightarrow (n+3)P]n \text{ или при } n=1$$

(2)

$$1[2 \rightarrow 3B \rightarrow 4P]1,$$

где $\rightarrow$ обозначает границу между комплексами. Если профиль склона, показанный на рис. 2, изобразить в двойных логарифмических координатах, то участки, соответствующие водоразделам основного и водоразборного комплексов, возможно, окажутся прямолинейными, и это будет говорить о том, что они должны хорошо описываться параболой. Что касается водоразгрузочного комплекса, то он не имеет водоразделов, ибо его реки не имеют притоков. Поэтому пересечение водоразгрузочного комплекса на двойном логарифмическом графике даст выпуклую, вогнутую или ломаную линию.

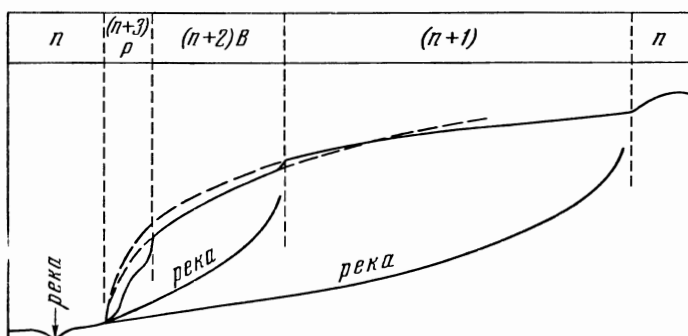


Рис. 2. Схематический профиль склона-п, на котором показаны последовательно развивавшиеся водоразделы и долины порядков $(n+1)$, $(n+2)B$ и $(n+3)P$

Профиль склона, изображенный на рис. 2, типичен для многих сечений хребтов Танну-Ола, Сангилена и др. В ряде случаев наблюдаются склоны, на которых водоразборный и водоразгрузочный комплексы не проявились. В таких местах наиболее отчетливо выражена выпуклая параболическая форма профиля.

Рассмотрим теперь комплексы, получившие развитие в бассейнах рек. Помимо основного здесь имеют место комплексы, характеризующие отрицательным значением разности окаймляющих порядков.

При разности, составляющей (-1) , получает развитие водосборный комплекс, являющийся антиподом водоразборного комплекса и объединяющий речные долины (и разделяющие их водоразделы), берущие начало от водораздела- n и впадающие в реку- $(n+1)$. Реки водосборного комплекса имеют тенденцию сливаться на ограниченном участке профиля. При благоприятных условиях их слияние может произойти в одном пункте. Поскольку уклон равновесной реки связан с водностью потока [4], водосборные реки с выработанным профилем должны иметь более крутой уклон русла, чем река основного порядка. Таким образом, на границе этих комплексов может возникнуть перегиб продольного профиля (вогнутость), который по понятным причинам выражен не так отчетливо, как перегиб на склоне, разделяющий основной и водоразборный комплексы. Порядок реки водосборного комплекса определяется индексом $(n+2)C$. Возникновение притоков- $(n+2)$ и удлинение основной реки- $(n+1)$ за счет водосборных рек- $(n+2)C$, по-видимому, происходит практически одновременно и по одной и той же причине — вследствие активизации склоновых процессов, вызванной углублением ложа основной реки, и вскрытия новых водоносных горизонтов в ее бассейне. Если это предположение правильно, то исток первичной реки- $(n+1)$ должен находиться в той точке, где современная река принимает последний (по месту впадения) приток с водораздела- n .

Водосборный комплекс — это совокупность форм рельефа, формирующаяся в истоках реки- $(n+1)$ или рек, осуществляющих водосбор

этой реки. Его специфическое выражение в условиях хорошо развитой порядкоформирующей системы связано с замедлением и дальнейшей остановкой процесса удлинения рек в сторону водораздела ввиду сложившегося здесь равновесия системы. После остановки указанного процесса водораздел как поверхность приобретает более или менее постоянную ширину (расстояние между истоками смежных рек), составляющую в горах Тувы 2—3,5 км. Дальнейшие изменения формы водораздельной поверхности следует связывать с порядкоразрушающими процессами. Например, развитие нивальных каров на склонах северной и восточной экспозиции в хр. Восточный Танну-Ола при перемежающемся положении истоков смежных рек привело к преобразованию водораздельной поверхности, принявшей форму пики или коленчатого вала, а в хр. Большой Саян при створовом положении истоков — к формированию сквозных перевальных долин (по нашим наблюдениям).

Разность окаймляющих порядков для водозаборного комплекса составляет (-2) , индекс порядка $(n+3)3$. В условиях недостаточно развитой слабо поляризованной порядкоформирующей системы и на реках высоких порядков водозаборный и водосборный комплексы могут выпадать, и в этом случае продольные профили рек обнаруживают наибольшее сходство с вогнутой параболой, начало которой лежит в истоках реки. Согласно логике выделения порядков и комплексов и по аналогии с профилем склона, полный продольный профиль реки $(n+1)$ может быть охарактеризован формулой

$$n[(n+3)3 \rightarrow (n+2)C \rightarrow (n+1)]n. \quad (3)$$

СИММЕТРИЯ ПОРЯДКОФОРМИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Рассматривая строение системы и почти не касаясь ее истории и функционирования как взаимосвязанных аспектов всякой геоморфологической системы [1], мы уже обращали внимание на подобие некоторых комплексов и их частей. Симметрия порядкоформирующей системы является ее эмерджентным свойством: она связывает в единое целое элементы подсистемы «водораздел» и подобные им элементы подсистемы «река», которые сами по себе или несимметричны или примитивно-симметричны. Анализ сочетаний элементов подобия системы дал возможность установить, что рассматриваемая система обладает симметрией по типу «инверсии». Она симметрична относительно некоторого центра C (рис. 3), определяемого как точка пересечения линий, проведенных в трехмерном пространстве (а не на горизонтальной проекции системы, как показано на рис. 3) и соединяющих аналогичные элементы подсистем. Так, например, положительные формы рельефа водоразделов имеют отрицательные аналоги в виде долин, а расходящийся веер водозаборного комплекса с торцевыми реками соответствует сходящемуся вееру водосборного комплекса с тупиковыми водоразделами. Крутые склоны водоразгрузочного комплекса, обращаясь через центр симметрии, совпадают с крутыми склонами воронок водозаборного комплекса, а выпукло-параболические контуры рельефа водораздельных хребтов подобны вогнуто-параболическим контурам продольных профилей рек. Наличие или выпадение тех или иных комплексов подсистемы «водораздел» характерно и для подсистемы «река» того же порядка. Эти и многие другие симметричные элементы отражают картину привычных функциональных связей системы в ее истории: направление закладывающейся долины предопределяет положение в пространстве зарождающегося склона и будущего водораздела, скорость и глубина эрозии отражаются на высоте и крутизне склонов долины и т. д. Подобным образом функциональные связи осуществляют саморегулирование системы и гарантируют в известных пределах ее устойчивость от внешнего воздействия.

Образно говоря, поляризованный рельеф напоминает растущий кристалл, решетка, грани и ребра которого образуются в определенном положении по отношению к его осям и плоскостям симметрии. Отличие

сравниваемых систем состоит в том, что рельеф в большей степени подвержен воздействию внешней среды и поэтому содержит большее количество «дефектов». Поэтому говоря о закономерностях строения поляризованного рельефа, о равенстве интервалов между однопорядковыми элементами, подобии форм, симметрии и т. п., нужно иметь в виду, что соподчинение элементов рельефа никогда не достигает такого совершенства, как в кристалле. Кроме того, многие процессы и формы рельефа речной долины не имеют аналогов на водоразделах. Это ухудшает симметрию системы и создает некоторые трудности при ее анализе. На водоразделах в свою очередь лучше выражена смена порядков и комплексов, благодаря чему профиль водораздела- $(n+1)$ наилучшим образом представляет склон-п.

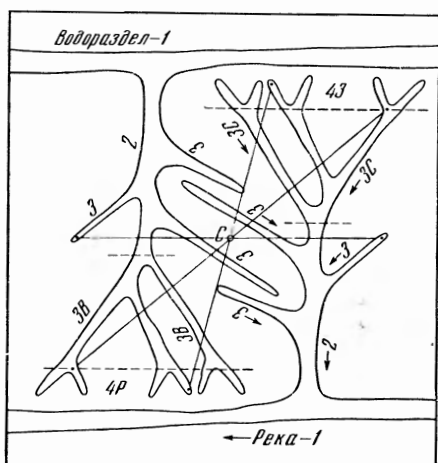


Рис. 3. Принципиальная схема строения и симметрии порядкоформирующей системы. Элементы подсистемы «водораздел» (на рисунке — слева) симметричны элементам подсистемы «река» (справа)

мому, И. А. Резанову, С. С. Шульцу, Н. П. Костенко и др.), они не требуют признания связи ступенчатости с этапами поднятия и выравнивания гор.

Что можно ожидать от анализа порядкоформирующей системы? Эта система контролирует значительную часть поверхности горного рельефа. Она характеризуется описанной выше геометрической правильностью речной сети и водоразделов, однозначностью определяемых порядков и комплексов. Остальную часть поверхности контролируют многочисленные порядкоразрушающие системы, накладывающиеся на первичный рельеф при оледенении, аридизации, тектонической активизации и других энергичных процессах. В горах Тувы можно наблюдать многочисленные признаки распада первичной (характерной для данного поднятия) порядкоформирующей системы. Это искривление или одностороннее смещение линии современного водораздела, возникновение внутригорных котловин и озер, многочисленные речные перехваты и аномальное удлинение некоторых рек, разнообразные перестройки речной сети, возникновение сухих долин и образование перевальных долин и другие признаки. Применение критериев выделения порядков и комплексов, основанных на логике последних и на изучении строения и параметров профилей, полезно для расчленения рельефа на участки подобного строения. Оно даст возможность обратить внимание на развитие процессов, не являющихся порядкоформирующими и создающих склоны аномальной крутизны или склоны нехарактерных для системы простираний и размеров. Рельеф поляризованных склонов, ранее казавшийся монотонным, благодаря изучению его упорядоченности, наполняется очевидным смыслом, становится понятным в деталях. Анализ системы, видимо, позволит лучше понять историю рельефа и формационный состав геоморфологических образований. Появляются новые возможности для геоморфологического картографирования и районирования, облегчается постановка и решение вопросов, относящихся к времени, фазам и объемам горообразования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Каишменская О. В.* Теория систем и геоморфология. Новосибирск: Наука, 1980. 114 с.
2. *Философов В. П.* О значении порядков долин и водораздельных линий при геолого-географических исследованиях.— В кн.: Вопросы морфометрии. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1967, с. 4.
3. *Чернов Г. А., Зеленков П. Я.* Сейсмогеология области Западно-Тувинских поднятий.— В кн.: Сейсмогеология восточной части Алтае-Саянской горной области. Новосибирск: Наука, 1978, с. 58.
4. *Марков К. К.* Основные проблемы геоморфологии. М.: Географгиз, 1948. 343 с.

Институт геологии и геофизики
СО АН СССР

Поступила в редакцию
6.VIII.1984

ORDER IN MOUNTAIN SLOPES RELIEF (PREREQUISITES FOR THE SYSTEM ANALYSIS)

CHERNOV G. A.

Summary

The notion of «polarization» is introduced which reflects the trend to harmony in erosional topography structure (certain orientation of topographic facets with respect to main water divides, equality of size of topographic elements of the same order and their rhythmical pattern, symmetry and other regular characteristics). The polarization degree reflects the state of the order-forming system as totality of stable functional relations, the strength of the latter depending on the uplift potential energy. A conclusion is drawn from the Tuva mountain studies that the system's topographic pattern is more complicated than previously thought. Logical rules are developed for orders and complexes determination; the rules allow to compile a slope profile formula for subdivision of the relief into homogenous units. The order-forming system analysis will contribute to better understanding of the present-day mountain topography.