

ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

УДК 551.4

А.А. Гаврилов¹**О ПРИРОДЕ ЯВЛЕНИЙ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ КОНВЕРГЕНЦИИ И ГОМОЛОГИИ**

В основе унификации, трендов развития, явлений самоорганизации и гармонии процессов рельефообразования лежит принцип минимизации затрат внутренней энергии геоморфологических объектов и принцип Кюри, который реализуется при адаптации их морфологии и симметрии к симметрии силового поля сферы морфогенеза. Именно энергетические факторы обеспечивают селекцию морфологических характеристик, гомологию и конвергентное развитие форм рельефа, с одной стороны, и устойчивость, продолжительность их существования и доминирующую роль в образовании морфологического ландшафта нашей планеты – с другой.

Выделено несколько основных морфологических классов конвергентных геоморфологических объектов, определены гомологические ряды форм рельефа и два типа конвергентного морфогенеза.

Ключевые слова: геоморфология, принцип минимизации затрат энергии, конвергенция, гомология, рельеф.

Введение. На фоне разнообразия генетических типов форм рельефа многие из них имеют явное сходство морфологии и внутренней структуры. Различные процессы морфогенеза скрываются за морфологическим подобием денудационных, аккумулятивных равнин, педиментов и уплощенного рельефа вулканических плато; принципиально похожи морфологические элементы разных генотипов горных хребтов, долин постоянных, временных водотоков и т.д. Почему же при очевидном множестве факторов, участвующих в процессах рельефообразования, природа столь рациональна и ограничена в своих конструктивных и дизайнерских решениях?

Очевидно, что реализация процессов морфогенеза подчиняется общим закономерностям функционирования различных материальных сред и диссипативных структур разного происхождения и уровня организации, развитие которых базируется, как постулируют положения общей теории систем, на максимально эффективном использовании их внутренней энергии. Указанное особенно наглядно выражено в универсальном феномене конвергенции. Это понятие широко используется при изучении морфологического и структурного сходства образований различного генезиса в биологии, геологии, географии и других науках, но его значение и соотношение с ним явления для геоморфологии остается во многом неопределенным [Уфимцев, 2009].

По мнению автора, анализ причин, условий и механизмов формирования конвергентных образований может служить важным инструментом познания общих закономерностей морфогенеза, установления генеральных трендов и факторов развития геоморфологических систем [Гаврилов, 2015]. В работе была предпринята попытка осветить некоторые гно-

сеологические и методические аспекты этой важной для геоморфологии и динамической геологии проблемы, исследование которой связано с развитием учения о симметрии природных объектов, анализом явлений изоморфизма и др.

Терминология и методология исследований. В биологии конвергенция определяется наличием у неродственных организмов сходных признаков внешнего и внутреннего строения, обусловленных адаптацией к близким условиям существования. Геологи связывают явление конвергенции с возникновением сходных по форме, составу, структуре, текстуре, расположению или тектонической позиции объектов разного генезиса. В ходе исследований выделяют конвергентные горные породы, месторождения, формации и другие образования [Геологический..., 2010]. Подобие внешнего облика (габитуса) минералов в кристаллографии оценивается на основе сходных элементов и формул симметрии. Такой подход принципиально применим и при описании форм рельефа как трехмерных образований, среди которых можно выделить моноэдры, различные типы пирамид, конусы и другие фигуры.

При изучении общих закономерностей морфологического и структурного подобия различных природных объектов большое значение имеет термин «гомология», который расширяет и обобщает понятие «симметрия». Он характеризует существование множества соответственных фигур, которые однородны, но не подобны и равны [Геологический..., 2010]. В таком контексте однородность понимается как принадлежность к объектам, характеризующимся общей геометрией, одним или близким набором элементов симметрии. Несоответствие параметров соответственных фигур допускает и

¹ ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичева ДВО РАН, лаборатория гравиметрии, вед. науч. с., канд. геол.-минерал. н.; e-mail: gavrilov@poi.dvo.ru

симметрия подобия (термин А.В Шубникова) [Шафрановский, 1985]. В математике с понятием «гомология» связана теория геометрических преобразований фигур, сформулированы термины «ось», «центр гомологии» и др. Например, два треугольника ABC и abc называются гомологичными, если прямые линии Aa, Bb, Cc, соединяющие их соответственные вершины, пересекаются в одной точке (центр гомологии). Возможно, со временем существующий математический аппарат найдет более широкое применение при систематике гомологичных геоморфологических форм и обработке моделей цифрового рельефа. В любом случае установленные признаки подобия морфологии, внутренней структуры и сходства формул симметрии разнообразных природных объектов в сфере морфогенеза лежат в основе схем их унифицированного описания и служат важным инструментом для познания общих закономерностей строения, образования и развития. Типичные примеры гомологических фигур на плоскости – круг и эллипсы, трапеции, треугольники, среди трехмерных объектов – шар и эллипсоиды, пирамиды, конусообразные формы и др. В мире кристаллов ряды гомологических минеральных образований сгруппированы в 32 класса 7 кристаллографических систем (сингоний).

Гомологические ряды в сфере морфогенеза формируют морфоструктуры центрального типа (круговые, кольцевые, эллиптические, вихревые и др.), антиформы и синформы, включающие различные генотипы складчатых дислокаций, близкие по геометрии блоковые дислокации разного генезиса с конформным им рельефом и др. В ряде публикаций последних лет [Ласточкин, 2002; Рычагов, 2006] рассмотрены отдельные аспекты явления геоморфологической гомологии, приводятся примеры сходства между отдельными морфологическими, ландшафтными элементами и формами рельефа (конусы выноса, дельты, вулканы, бугры пучения и др.), однако не анализируется природа этого явления. В монографии Г.С. Голицына [Голицын, 2013] содержится лишь общее положение о том, что морфологическое сходство различных по размерам форм земной поверхности и поверхности других планетных тел определяется подобием рельефообразующих процессов, обусловленных силами гравитации.

Представляется, что морфологическая и структурная гомология таких объектов возникает не на пустом месте и предполагает наличие динамической гомологии или конвергенции. Что же целесообразно включить в понятие «геоморфологическая конвергенция»? Учитывая ранее приведенные дефиниции, в качестве признаков конвергентности разных по происхождению форм рельефа при соответствующей детальности и этапности исследований могут выступать: 1) соответствие геометрии, конфигурации граничных контуров в плане и на вертикальных профилях без учета размеров объектов; 2) сходство рисунков основных орографических элементов; 3) подобие формул симметрии, отражающих морфологию объектов и распределение орографи-

ческих элементов; 4) геометрическое сходство внутренней структуры (инфраструктуры); 5) близость вещественного состава геологического субстрата. Последний пункт хорошо иллюстрирует, в частности, известная зависимость характера извержений и морфологических типов вулканических построек от химического состава магмы, количества летучих компонентов и т.д.

Использование комплекса (полностью или частично) предлагаемых признаков зависит от цели, постановки задач и масштаба проводимых работ. На первом этапе изысканий существует необходимость качественной оценки морфологического и структурного подобия с последующей оценкой степени подобия сравниваемых объектов по ряду приведенных выше признаков. Переход от анализа статических систем к геодинамическим, генетическим и ретроспективным моделям требует существенного расширения исходной базы данных, так как явление геоморфологической конвергенции осложняет процедуру индикации элементов структурного плана и ограничивает возможности геологической интерпретации геоморфологических карт, составленных на основе системно-морфологического принципа [Ласточкин, 1988, 2002]. Например, выявления аномалий центрального типа по морфометрическим и морфографическим признакам недостаточно для выделения и идентификации в пределах исследуемой территории кольцевых вулканических структур, так как подобные же признаки характерны для широкого круга объектов (интрузивные купола, изометричные складки и др.). Столь же неоднозначна интерпретация выявляемых на аэрофото- или космолинейках линейментов, которые могут иметь разную природу. Это явление, давно известное среди специалистов, использующих данные дешифрирования материалов дистанционного зондирования из космоса и аэрофотосъемки, получило дополнительное обоснование на основе представлений о явлениях геоморфологической гомологии и конвергенции. В более широкой трактовке, по аналогии с обратной задачей геофизики, рассматриваемые явления делают неоднозначным решение обратной задачи геоморфологии «от рельефа к индикации геологического субстрата». В обоих случаях необходимо привлекать дополнительную проверочную информацию о геологическом строении, механизмах формирования эталонных объектов и др.

Вследствие огромной активности рельефообразующих агентов атмосферы, гидросферы и биосферы время существования локальных и даже субрегиональных неровностей рельефа Земли в масштабах геологической хронологии ограничено. Функционирование геоморфологических систем сопряжено с неизбежными потерями, диссипацией внутренней энергии, что сопровождается увеличением энтропии. Поскольку эти потери зависят главным образом от площади взаимодействия поверхности объектов с агрессивной внешней средой и свойств геологического субстрата, принцип минимизации затрат (включая потери) энергии выступа-

ет как главный термодинамический принцип формо- и структурообразования, самоорганизации геоморфологических систем при взаимозависимости присущих им морфологических и функциональных характеристик. Поэтому большую часть земной поверхности занимают формы, наиболее адаптированные к условиям внешней среды, тренд развития которых определяется устойчивостью к разрушению, денудации и длительностью существования, а промежуточные трансформации носят кратковременный характер. Такие энергетические предпосылки возникают лишь при гармоничном соотношении, балансе создающих и разрушающих внутренних и внешних сил. Этот компромисс постулирован в принципе П. Кюри [Кюри, 1966], в соответствии с которым в форме объектов сохраняются лишь те собственные элементы симметрии, которые совпадают с элементами симметрии окружающей среды.

С термодинамической точки зрения именно такая адаптация, или конформизм, наиболее оптимальны, поскольку требуют минимальных расходов внутренней энергии на поддержание существования геоморфологических объектов. Эти представления хорошо согласуются с известными теоретическими положениями о том, что закон сохранения энергии в любой системе реализуется только в условиях действия принципа минимизации энергозатрат. Именно с ним связаны такие понятия, как оптимальность формы, рациональность, эффективность функционирования любых антропогенных объектов. Закономерности, связанные с сохранением и эффективным использованием энергии за счет минимизации процессов ее диссипации (потерь), лежат в основе видимой целесообразности, гармонии и природных процессов, определяя общую направленность эволюции различных форм жизни и, в том числе, ход явлений морфогенеза. Еще в 1746 г. П. Мопертюи сформулировал для механики «принцип наименьшего действия» и рассматривал его в качестве универсального закона движения и равновесия, отмечая, что «когда в природе происходит некоторое изменение, количество действия, необходимое для этого изменения, является наименьшим возможным» [Вариационные..., 1959, с. 19].

Вероятностный характер неравновесного и достигаемого паритетного взаимодействия меняющихся условий экзогенной сферы морфогенеза и особенностей внутреннего строения, потенциала и механизмов саморазвития эндогенных геологических структур и тел определяет многообразие форм и структурной организации морфологического ландшафта. Совокупность потенциально возможных, но не реализуемых в данных условиях среды элементов симметрии геоморфологических объектов составляет их диссимметрию. Например, изометричная антиклинальная складка, характеризующаяся симметрией центрального типа, в условиях тектонического перекося или при формировании осевого грабена вместо купольного поднятия может образовывать денудационные куэстовые формы рельефа. В этом случае данные о диссимметрии необхо-

димы для оценки характера и масштаба произошедших изменений, а также реконструкции первичной тектонической основы рельефа. Формула симметрии пирамиды описывает формулой $L_n nP$, а для конуса $L_\infty \propto P$, где L – ось, P – плоскость симметрии соответствующего порядка n . При постепенном денудационном сглаживании ребер пирамидальных форм рельефа на поверхности нашей планеты образуются куполообразные, конусовидные конвергентные образования, более устойчивые к процессам экзогенного выравнивания. Возникая при изменении геодинамической активности недр и условий окружающей среды, диссимметрия определяет каждый новый виток трансформации и степень изменчивости существующих неровностей земной поверхности, отражая наличие промежуточных морфологических ступеней между их зарождением и полным разрушением.

Объем понятия «геоморфологическая конвергенция» может быть различен и охватывать как близкие по генотипу классы объектов, так и разнородные. При этом необходимо учитывать различия и близость значений таких терминов, как «природа», ««происхождение», «генезис» объектов. Например, купольные формы рельефа магматогенной природы могут отличаться механизмами формирования, т.е. иметь интрузивный, экструзивный, протрузивный или эффузивный генезис. Наряду с этим рассматриваемый морфологический тип образований включает и тектонические постройки (соляные, гипсовые купола и др.). Различное происхождение имеют такие близкие по природе экзогенные объекты, как морские и речные террасы, долины временных и постоянных водотоков и др. Все это следует учитывать при анализе явлений конвергенции, которые могут носить общий и частный характер, иллюстрируя известные представления о соотношениях философских категорий «единичное», «частное», «общее».

Предполагается, что в пределах каждого морфологического ландшафта среди множества факторов рельефообразования существует своя иерархия (доминирующие и рецессивные факторы), обусловленная различиями их энергетических характеристик и интенсивности проявления. Поэтому для каждого доминирующего генотипа рельефообразующего процесса (вулканический, флювиальный и т.д.) характерен свой набор рядов конвергентных форм, имеющих близкие морфологические и структурно-вещественные признаки, но разный механизм образования. Опыт исследований показывает, что в число главных предпосылок, определяющих длительность существования и устойчивость форм рельефа к процессам денудации, входят: степень адаптированности морфологии объектов к симметрии гравитационного поля и геодинамическим условиям внешней среды, параметры объектов, климатические условия, свойства геологического субстрата. Какие же формы рельефа доминируют среди неровностей земной поверхности, отражая превалирующие тенденции развития и факторы морфогенеза?

Материалы и методы исследований. Основные морфологические классы конвергентных форм рельефа. В отличие от представлений Г.Ф. Уфимцева [Уфимцев, 2009] о высокой оценке роли временной конвергенции в рельефообразовании, по мнению автора, нужно согласиться с утверждением Э. Брюкнера [Брюкнер, 1903], что явление морфологического подобия существенно уменьшает богатство форм земной поверхности и представляет собой постоянно действующий фактор. Действительно, если оценивать суммарную статистику распределения элементов геоморфологического строения Земли с разной морфологией, то легко заметить доминирование относительно ограниченного числа геометрических типов, среди которых можно выделить 3 основных класса объектов.

В пределах океанических, континентальных платформ и на их окраинах широко развиты аккумулятивные и денудационные равнины с относительно плоской внешней поверхностью; также разное происхождение и возраст имеют террасы, педименты, плато и другие уплощенные формы рельефа. Различия консолидированных платформенных элементов литосферы предопределены временем формирования фундамента и горизонтально залегающего плитного комплекса, спецификой глубинного строения и тектонического режима (активизированные и относительно пассивные структуры), что позволяет считать их гетерогенными и гетерохронными образованиями. Основные элементы строения континентальных платформ обусловлены существованием мощной консолидированной коры, фундамента разного возраста (докембрийский, эпигерцинский и др.), наличием древнего погребенного пенеплена и субгоризонтально залегающего плитного комплекса, относительно незначительная дислоцированность последнего и определяет доминирование равнинного и холмисто-увалистого типов рельефа.

Океанические платформы характеризуются отсутствием гранитометаморфического слоя, существенно меньшей мощностью земной коры и более простым геологическим и геоморфологическим строением. Наряду с аккумулятивным чехлом литифицированных и рыхлых отложений, типичных для плоских абиссальных равнин, в пределах холмистых равнин ложа океана развиты наложенные вулканические структуры разнообразных морфогенетических типов, а также их линейные и изометричные группировки. Очевидно, что аккумулятивные и денудационные равнины разных по возрасту и строению платформ, межгорных и предгорных впадин, а также многочисленные выровненные поверхности имеют разное структурное основание, происхождение и возраст. Они составляют наиболее типичный и широко распространенный класс конвергентных форм рельефа. При этом речь идет не о временной конвергенции, это длительно живущие и устойчиво развивающиеся образования, которые образуют гомологичные эволюционные ряды, связанные с разными механизмами нивелирования рельефа как за счет явлений эрозии, денудации, так и аккумуляции

осадочных и эффузивных пород. Интересно, что повышенная устойчивость характерна и для плоских вершинных поверхностей междуречий [Ананьев, 1976].

Платообразная морфология вершинных поверхностей, отмеченная для массивных поднятий Тянь-Шаня, Монгольского Алтая, не характерна для большинства горных систем и свидетельствует о наличии субплатформенной доорогенной стадии их развития, а также сводово-глыбовом, блоковом характере последующих движений [Уфимцев, 2008]. Для многих других горных областей, помимо блоковых дислокаций, типичны различные по генезису и внутреннему строению пликативные и инъективные структуры (антиклинали, сводово-блоковые и тектономагматические поднятия, интрузивные купола, вулканические сооружения и др.), отражающие многообразие факторов орогенеза.

Однако активная роль экзогенных процессов и тенденции рельефообразования, связанные с сохранением максимально устойчивых форм, приводят к тому, что в геометрическом плане большинство хребтов представляют собой цепи или ряды гомологичных конусообразных, купольных или пирамидальных объектов, центры тяжести которых максимально приближены к основанию. Они составляют следующий типичный и максимально широко распространенный в областях денудации класс конусообразных конвергентных образований с формулой симметрии $L_n nP \rightarrow L_\infty \propto P$, включающий подклассы пирамидальных форм и положительных морфоструктур центрального типа (МЦТ), представленных конусами, куполами. Такой тренд к унификации и образованию устойчивых неровностей земной поверхности приводит, например, к тому, что разные по морфологии интрузивные, протрузивные и экстррузивные тела образуют на поверхности единообразные, морфологически подобные купольные морфоструктуры (рис. 1). Жесткие рамки, налагаемые явлениями геоморфологической конвергенции на соиздание природой лишь гравитационно устойчивых форм, иллюстрирует также рельеф песчаных пустынных областей и районов, где по аналогии с горными хребтами образуются геометрически подобные им цепи пирамидальных барханов и дюн (рис. 2).

Третий класс повсеместно развитых конвергентных форм рельефа – линейные объекты, или линейменты, сопряженные с разрывными нарушениями различного генезиса и порядка. Среди экзогенных образований – это долины постоянных и временных водотоков разного ранга и генезиса, связанные с каналами кумулятивного стока поверхностных вод, а среди эндогенных – рифтогенные трогги, прогибы, желоба, приразломные межгорные прогибы, впадины, грабены и другие гомологичные морфоструктуры. В зависимости от ранга и генотипа разломы могут иметь разное структурно-вещественное выполнение и идентифицироваться с зонами повышенной тектонической трещиноватости, дробления, кливажа и смятия, дайковыми поясами, рядами экст-

рузивных и интрузивных тел, линейными корами выветривания и другими образованиями. Гетерогенность, полихронность и иерархичность зон разрывных нарушений обуславливают огромное многообразие связанных с ними геоморфологических процессов и ситуаций, но во всех случаях проявлен такой доминантный признак, как линейность сопряженных с ними форм рельефа.

Специфический подкласс конвергентных линейных систем образуют, например, разные по происхождению объекты, имеющие крутые гипсометрические уступы или эскарпы. В рельефе им соответствуют береговые обрывы, клифы, каньоны, края вулканических потоков, вулканических плато. При внешнем подобии поверхностного отражения возникновение таких уступов может быть обусловлено тектоническими, оползневыми процессами, комбинированным действием абразии и гравитационного обрушения масс, глубинной или боковой эрозией водотоков и другими факторами.

В пределах выделенных классов конвергентно развивающихся объектов можно выделить гомологические ряды геоморфологических форм, имеющих близкую природу, но отличающихся некоторыми морфологическими, генетическими особенностями или рангом. Такой ряд образуют, например, положительные МЦТ, связанные с глубинными и коровыми инъективными дислокациями. К ним относятся надплюмовые мегасводы, магматические своды, тектономагматические орогенные поднятия, интрузив-

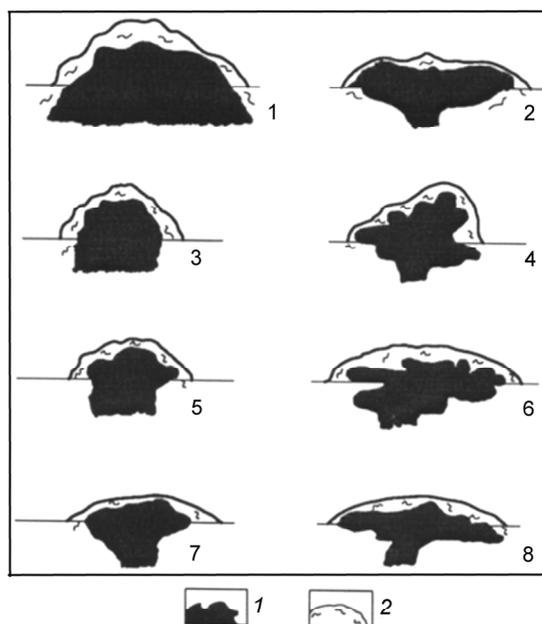


Рис. 1. Морфология некоторых магматических тел и их выраженность в виде конвергентных куполообразных форм рельефа: 1 – магматические тела различной формы (1 – батолит; 2 – лополит; 3 – гарполит; 4 – хонолит; 5 – бисмалит; 6 – акмолит; 7 – лакколит; 8 – факолит); 2 – вмещающие породы

Fig. 1. Morphology of some rock bodies and their manifestation as convergent dome-like landforms (1 – rock bodies of different forms (1 – batholite; 2 – lopolite; 3 – harpolite; 4 – honolite; 5 – bismalite; 6 – ackmolite; 7 – laccolite; 8 – phacolite); 2 – enclosing rocks

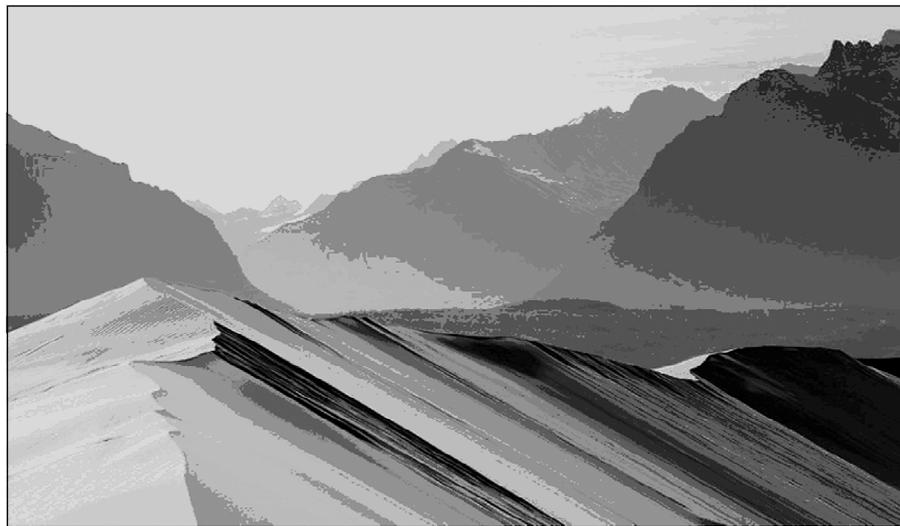


Рис.2. Морфологическое подобие горных хребтов и дюн, гряд барханов (Чарские пески, Забайкалье).
Фото: avivas.ru/ charskie_peski_holodnaya

Fig. 2. Morphological similarity of mountain ridges and sand dunes and rows of barchan dunes (the Chara Sands, Trans-Baikal region).
Photo: avivas.ru/charskie_peski_holodnaya

ные, экструзивные, протрузивные и лавовые купола. Очень часто эти постройки формируют с магмоконтролирующими разломами линейные системы – цепи вулканов, интрузивных куполов, пояса магматических сводов с характерными элементами трансляционной симметрии, которым соответствует свой ряд гомологичных форм [Гаврилов, 1993, 2015]. Отдельный ряд связан с системами отрица-

тельных кольцевых морфоструктур. Он включает котловины окраинных морей и крупных заливов, межгорные впадины, формирование которых обусловлено явлениями мантийного диапиризма, а также вулканотектонические депрессии, кальдеры, сопряженные с магматическими центрами корового заложения. Соответствующие гомологические ряды меньшего ранга можно выделить и среди таких

форм, как долины временных и постоянных водотоков, вулканические плато и др.

Прогностические аспекты их выделения и изучения связаны с возможностями систематизации и теоретического обоснования сравнительной оценки элементов рядов по комплексу признаков с реализацией дедуктивного подхода к изучению конкретных объектов на основе перехода от категорий общего и частного к единичному. С позиций формальной логики феномен геоморфологической конвергенции можно рассматривать как результат закономерной реализации общих трендов морфогенеза, каждый из которых укладывается в рамки известного правила метода сходства: если два или более случаев явления имеют только одно общее обстоятельство, то в нем и заключается причина или следствие данного явления [Ивин, Никифоров, 1997]. Каковы же причины, лежащие в основе морфологического и структурного подобия различных по своему происхождению форм рельефа?

Результаты исследований и их обсуждение. Природа явлений геоморфологической конвергенции и гомологии. Известно, что гравитация – один из доминирующих факторов во многих геологических процессах и явлениях рельефообразования. Данные свидетельствуют о том, что именно она определяет возникновение наиболее широко распространенных типов конвергентных форм. В соответствии с принципом П. Кюри [Кюри, 1966] общая направленность экзогенных геоморфологических и геологических процессов в верхних частях литосферы связана со стремлением частиц вещества литосферы занять гипсометрический уровень с низкой потенциальной энергией (состояние покоя), значения которой в пределах одного интервала высоты будут приблизительно равны. Абстрагируясь от плотностных неоднородностей и гравитационных аномалий литосферы, можно заключить, что такие условно эквипотенциальные поверхности возникают в разных гипсометрических, геоморфологических обстановках и соответствуют локальным, региональным или планетарным уровням эрозионно-денудационной или аккумулятивной планации рельефа. С ними связано формирование педиментов, пенепленов и разнообразных генотипов областей аккумуляции с накоплением слоистых толщ горных пород. Наиболее вероятно возникновение таких неровностей земной поверхности, образование которых требует наименьших затрат эндогенной энергии и работы против гравитационного поля. Именно поэтому мы наблюдаем широкое развитие на Земле отрицательных морфоструктур разного ранга (океанические впадины, котловины окраинных морей, межгорные, внутриворонные впадины и др.) и сопряженных с ними равнинных и низменных областей.

В их пределах наблюдается минимальная степень вертикальной расчлененности рельефа и интенсивности процессов морфогенеза при максимальной устойчивости самих выположенных поверхностей, параллельных поверхности геоида. Так, равнинные территории в гипсометрическом интервале 0–200 м

занимают ~32% площади континентов. На диапазон 0–500 м приходится уже более 54% общей поверхности суши, а ложе Мирового океана составляет 77% от площади его акватории [Панов, 1966]. Сходные закономерности конвергентного морфогенеза отражены и в строении плоских вершинных поверхностей вулканических плато, в пределах которых происходит перекомпенсированное накопление эффузивного материала и формирование единого для территории эквипотенциального уровня его аккумуляции после заполнения всех неровностей рельефа, существовавших до начала извержений.

Отмеченные тенденции к образованию под действием силы тяжести выровненных поверхностей, приближенных к региональным уровням осадконакопления, оказывают определяющее влияние и на морфологию положительных форм областей денудации, которые опосредуют преобразование вертикально ориентированных векторов силы тяжести в тангенциальные и субгоризонтальные. Это приводит к тому, что даже гравитационно-устойчивые конусовидные или пирамидальные формы рельефа, центры тяжести которых приближены к основанию, в условиях относительного тектонического покоя со временем расползаются и выполаживаются, что отчетливо проявлено на платформах.

На вертикальных профилях междуречий здесь преобладают в рельефе положительные формы с обликом сглаженных, уплощенных пирамид с разными высотой и степенью сохранности, которые отличаются от горных хребтов лишь размером оснований, высотой и углом наклона боковых поверхностей. Известно, что симметрия гравитационного поля любой планеты описывается на основе формулы симметрии конуса [Шафрановский, 1985], вершина которого направлена к ее центру. С позиций антисимметрии, или зеркальной симметрии, максимально устойчивы в рельефе будут именно такие конические формы, вершины которых ориентированы в противоположном направлении, а центры тяжести приближены к условно эквипотенциальным поверхностям. Выявление подобных объектов в пределах орогенных областей и поясов традиционно связано с геоморфологической индикацией очаговых систем, выраженных в рельефе в виде МЦТ соответствующего ранга [Гаврилов, 1993, 2014; Ежов, Худяков, 1984; Металлогения..., 1992; Соловьев, 1978], однако их идентификация (вследствие явления геоморфологической конвергенции) возможна только на основе привлечения дополнительных геолого-геофизических данных.

Начальные стадии развития процессов эрозионно-денудационного расчленения любых поднятий связаны с обособлением аномальных по структурным и вещественным характеристикам участков литосферы, обладающих на данный исторический момент максимальной потенциальной энергией и устойчивостью к разрушению. Именно они образуют основу водораздельных узлов, сеть которых влияет на последующее заложение, пространственные соотношения водосборов и, соответственно, на ри-

сунок долин водотоков и распределение шлейфов рыхлого материала. В зависимости от контекста они могут определяться не только как точки на карте (узел-вершина), но и как специфические формы рельефа (узел-морфоструктура), формирование и развитие которых связано с центрами длительного и устойчивого роста положительных деформаций земной коры. Поэтому водораздельные узлы-морфоструктуры представляют собой ключевые элементы всех областей денудации и отражают главные особенности их строения и развития.

При отсутствии исторически сложившихся морфоструктурных перекосов морфологические преобразования таких узлов, как центры поднятий (горообразования) и аномального геодинамического потенциала, определяются равной вероятностью направлений перемещения нисходящих литодинамических потоков. В этих условиях доминирующим становится радиальный рисунок речных долин, деятельность которых по перемещению дезинтегрированных масс горных пород на уровне их последующей аккумуляции способствует возникновению конусообразных денудационных форм с симметрией центрального типа. Если на начальных этапах формирования водораздельных узлов их геометрия может отражать морфологию тектонических дислокаций (блок, складка, интрузив и др.), инициирующее поднятие, то на относительно зрелой стадии развития они становятся гомологичны.

Типичные для горных стран «волны» хребтов, обособляющиеся в условиях высокой активности эрозионно-денудационных процессов, можно рассматривать как трансляции таких устойчивых пирамидальных или конусообразных форм относительно силовых линий геоморфологической среды, связанных с осями водоразделов. Ранее отмечалось, что сходные закономерности образования цепей аналогичных по геометрии положительных аккумулятивных морфоскульптур за счет группировки и объединения гравитационно-устойчивых элементов рельефа проявлены при образовании гряд барханов и дюн (рис. 2) [Гаврилов, 2015].

Если для экзогенной сферы морфогенеза в соответствии с принципом П. Кюри, характерно доминирование гравитационного фактора и адаптивная природа конвергенции, то при эндогенном рельефообразовании в основе возникновения гомологичных и конвергентных морфоструктур лежат закономерности, связанные с явлениями самоорганизации геологической среды под действием внутренних сил планеты. В изотропной и слабоанизотропной геологической среде существует равная вероятность всех направлений и перемещений потоков тепломассопереноса от энергогенерирующих центров недр (плюмы, мантийные диапиры, магматические очаги и др.), обладающих необходимым потенциалом. В этом случае форма энергетического поля варьирует от сфероида до эллипсоида, а схемы организации силовых линий и потоков имеют радиально-концентрическую симметрию, что соответствует объемному (поливекторному) способу передачи энергии.

В резко анизотропной среде переток энергии из одной точки пространства в другую, при наличии достаточной разности потенциала, осуществляется кумулятивно, канальным (моновекторным) способом.

Реализация лишь двух принципиально возможных способов передачи энергии в пространстве – объемного и канального – лежит в основе доминирования двух основных типов геологических и соответственно геоморфологических эндогенных систем. В первом случае это поднятия, связанные с глубинными и коровыми центрами активности недр в областях горообразования, а также изометричные впадины, котловины, развивающиеся над мантийными диапирами в условиях растяжения земной коры. Во втором случае – линейные системы впадин, грабенных, различные типы долин и другие формы, формирование которых обусловлено наличием энергетических каналов и зон (рифты, разломы, контролируемые тектонические подвижки, поступление и распределение магм, терм, флюидов, газов и др.). К переходной относится линейно-узловая форма организации энергонесущих систем разного порядка, совмещающая черты двух основных типов и образующая цепи или ряды «горячих» точек (плюмы, мантийные диапиры) или магматических центров с характерными элементами трансляционной симметрии [Гаврилов, 1993, 2014].

Термодинамические особенности эволюции магомгенерирующих очагов определяют процессы самоорганизации сложных систем в геологической среде, предлагаемые принципом минимизации затрат энергии. Например, необходимость минимизировать потери внутренней энергии обуславливает образование такой формы магматической камеры, которая отличается наиболее оптимальным соотношением объема и площади поверхности (шар и его гомологи). Перемещение к поверхности «пузыря» магмы, обогащенной газами и флюидами, в условиях высокого литостатического давления приводит к образованию цилиндрического подводящего канала. При приближении к верхним частям литосферы в условиях постепенного или скачкообразного (послойного) снижения литостатического давления происходит увеличение объема газов и флюидов, что обуславливает преобразование очаговых систем в конические взрывные формы или диапиры, проекции которых выражены на поверхности системами кольцевых, дуговых и радиальных разломов и других дислокаций.

В результате длительного взаимодействия энергетических центров и потоков тепломассопереноса со слоистой геологической средой при перепадах давления внутри магматического столба (декомпрессионный механизм) во внешней среде может формироваться ярусная система сателлитных магматических центров. Они локализируются в узлах пересечений радиальных, конических разломов с границами геолого-геофизических разделов или слоев [Ежов, Худяков, 1984; Соловьев, 1978], отличающихся резким изменением плотностных характеристик и температурных условий. В связи с этим образу-

ются три универсальных типа инфраструктур очаговых систем: ядерный (без сателлитов), ядерно-сателлитный и сателлитный (орбитальный). Исследования показали [Гаврилов, 1993] подобие схем пространственной организации элементов внутреннего строения и, соответственно, наличие структурной гомологии известных генотипов очаговых систем, что подтверждается сходством формул симметрии, описывающих их внутреннее строение. Морфологическая и структурная гомология МЦТ предполагает сходство процессов очаговой геодинамики и инвариантность развития инъективных дислокаций в изотропной геологической среде. Наличие гомологии между планетарными, региональными и локальными очаговыми системами служит, в частности, важным признаком достоверности выделения мегаобъектов. В основе инвариантности развития очаговых образований литосферы лежит следующий ряд факторов: 1) наличие энерго-, газо-флюидо- или магмогенерирующих центров, очагов; 2) слоистое строение недр; 3) наличие термодинамически обусловленных, принципиально схожих особенностей развития энергогенерирующих центров и связанных с ними инъективных дислокаций; 4) общность фазовых состояний, форм, способов и условий миграции эндогенного материала при процессах тепломассопереноса в геологической среде [там же]. В более широкой трактовке именно наличие аномальной энергогенерирующей точки пространства, выступающей в качестве системо- и структурообразующего центра, лежит в основе гомологии и конвергенции всех форм, характеризующихся радиально-концентрическим строением. Представляется, что энергетически обусловленные закономерности инвариантного формо- и структурообразования на основе принципа минимизации энергозатрат и потерь можно распространить и на другие объекты сферы морфогенеза.

Выводы:

– в основе унификации, трендов развития, явлений самоорганизации и гармонии процессов рельефообразования лежат принцип минимизации затрат внутренней энергии геоморфологических объектов и принцип Кюри, который реализуется при адаптации их морфологии и симметрии к симметрии силового поля сферы морфогенеза. Именно таким образом обеспечиваются селекция морфологических характеристик, гомология и конвергентное развитие форм рельефа, с одной стороны, и максимальная устойчивость, продолжительность их существования и доминирующая роль в формировании морфологического ландшафта – с другой;

– в общем случае геоморфологическую конвергенцию можно рассматривать как следствие инвариантности, жесткой энергетической детерминиро-

ванности процессов морфогенеза, обусловленных ограничениями, налагаемыми главными экзогенными (гравитация, климат) и эндогенными (тепломассоперенос, тектогенез) рельефообразующими факторами. В рамках представлений об энергетической подоплеке основных закономерностей рельефообразования находит объяснение инвариантность выделяемых А.Н. Ласточкиным морфологических элементов земной поверхности [Ласточкин, 1988, 2002]. Очевидно, что явление геоморфологической конвергенции ограничивает возможности геологической интерпретации схем и карт, составленных на основе системно-морфологического принципа, так как геометрическое подобие элементов не гарантирует общность их происхождения;

– рассмотрено несколько основных морфологических классов конвергентных геоморфологических объектов. Одни из них связаны со стремлением частиц вещества литосферы занять гипсометрический уровень с минимальной энергией в пределах эквипотенциальных поверхностей (равнины, педименты, пенеплены и др.). Другие представляют собой геологические тела и морфоструктуры, центры тяжести которых максимально приближены к их основаниям (конусовидные и пирамидальные формы), что характеризует типичный морфологический ландшафт областей денудации. Третий широко распространенный класс конвергентных форм рельефа – линейные объекты или линеаменты разного типа, с которыми сопряжены каналы разгрузки эндогенных и экзогенных потоков энергомассопереноса;

– для экзогенной сферы морфогенеза в соответствии с принципом П. Кюри характерна адаптивная природа конвергенции, а в основе эндогенного образования гомологичных и конвергентных форм лежат закономерности, связанные с явлениями самоорганизации геологической среды. Существованием лишь двух принципиально возможных способов передачи энергии в пространстве – объемного и канального – обусловлено доминирование двух основных типов эндогенных геологических и, соответственно, геоморфологических объектов. В первом случае – поднятия или опускания центрального типа, развитие которых связано с глубинными или коровыми энергогенерирующими центрами, формирующимися в соответствующих геодинамических условиях. Во втором – линейные морфоструктуры, возникновение которых обусловлено наличием зон разломов, представляющих собой энергетические каналы в недрах планеты. Переходной является линейно-узловая форма организации энергонесущих систем разного порядка, совмещающая черты двух основных типов и образующая цепи или ряды магматических центров с характерными элементами трансляционной симметрии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ананьев Г.С.* Формирование вершинных поверхностей. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. 173 с.
- Брюкнер Э.* Земная кора. Общий очерк геологии и морфологии суши. СПб.: Брокгауз-Ефрон, 1903. 301 с.
- Вариационные принципы механики / Под ред. Л.С. Полак. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1959. 932 с.
- Гаврилов А.А.* Проблемы морфоструктурно-металлогенического анализа. Ч. II. Владивосток: Дальнаука, 1993. С. 141–326.
- Гаврилов А.А.* Происхождение горных сооружений юга Дальнего Востока России. Ст. 1. Орогенные пояса // Геоморфология. 2014. № 3. С. 3–17.
- Гаврилов А.А.* Некоторые вопросы геоморфологической конвергенции и гомологии // Мат-лы Всерос. конф. VII Шукшинские чтения. «Геоморфологические ресурсы и геоморфологическая безопасность: от теории к практике». Москва, МГУ, 18–21 мая 2015. М., 2015. С. 405–409.
- Геологический словарь: В 2-х т. СПб.: ВСЕГЕИ, 2010.
- Голицын Г.И.* Статистика и динамика природных процессов и явлений: методы, инструментарий, результаты. М.: КРАСАНД, 2013. 400 с.
- Ежов Б.В., Худяков Г.И.* Морфотектоника геодинамических систем центрального типа (новая глобальная концепция). Владивосток, 1984. 128 с.
- Ивин А.А., Никифоров А.Л.* Словарь по логике. М.: ВЛАДОС, 1997. 384 с.
- Кюри П.* Избранные труды. М.: Наука, 1966. 421 с.
- Ласточкин А.Н.* Понятие об элементах в геоморфологической науке // Геоморфология. 1988. № 3. С. 3–12.
- Ласточкин А.Н.* Системно-морфологическое основание наук о Земле (геотопология, структурная география и общая теория геосистем). СПб.: Изд-во СПбГУ, 2002. 762 с.
- Металлогения орогенов. М.: Недра, 1992. 272 с.
- Панов Д.Г.* Общая геоморфология. М.: Высшая школа, 1966. 427 с.
- Рычагов Г.И.* Общая геоморфология. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. 416 с.
- Соловьев В.В.* Структуры центрального типа территории СССР по данным геолого-морфологического анализа. Карта морфоструктур центрального типа территории СССР, М 1:10 000 000. Л.: ВСЕГЕИ, 1978. 110 с.
- Уфимцев Г.Ф.* Геоморфологическая конвергенция // Геоморфология. 2009. № 4. С. 16–28.
- Уфимцев Г.Ф.* Горы Земли (климатические типы и феномены новейшего орогенеза). М.: Научный мир, 2008. 351 с.
- Шафрановский И.И.* Симметрия в природе. Л.: Недра, 1985. 168 с.

Поступила в редакцию 14.10.2015
Принята к публикации 28.04.2016

A.A. Gavrilo¹

ABOUT THE NATURE OF GEOMORPHOLOGIC CONVERGENCE
AND HOMOLOGY PHENOMENA

Unification, development trends, self-organization and harmony of relief-forming processes are based on the principle of minimizing the spending of internal energy of geomorphologic objects and the Curie principle which is realized by adaptation of their morphology and symmetry to the symmetry of the force field in the morphogenesis sphere. It is energy factors that provide for the selection of morphological characteristics, the homology and convergent development of landforms, on the one hand, and, on the other, their stability, lifetime and dominating role in the formation of the Earth's morphological landscape.

Principal morphological classes of convergent geomorphologic objects are identified, and the homologous series of landforms are specified, as well as two types of convergent morphogenesis.

Key words: geomorphology, principle of minimizing the spending of energy, convergence, homology, relief.

REFERENCES

- Anan'ev G.S.* Formirovanie vershinykh poverkhnostey [Apical surface formation]. Moscow, Izd-vo MGU, 1976, 173 p. (in Russian).
- Bruckner E.* Zemnaya kora. Obshchiy ocherk geologii i morfologii sushi [Earth Crust. General sketch of land geology and morphology]. Sankt-Petersburg, Izd-vo Brokgauz-Efron, 1903, 301 p. (in Russian).
- Curie P.* Isbrannye trudy [Selected works], Moscow, Izd-vo Nauka, 1966, 421 p. (in Russian).
- Gavrilo A.A.* Problemy morphostucturno-metallogenicheskogo analiza [Problems of the morphostructure-metallogenical analysis], Chast. II, Vladivostok, Izd-vo Dalnauka, 1993, pp. 141-326 (in Russian).
- Gavrilo A.A.* Proiskhozhdenie gornykh sooruzhenii Yuga Dalnego Vostoka. St. 1. Oronennye poyasa [Origin of mountain constructions of the Russia Far East South. Art. 1. Orogenic belts], Geomorphologiya, 2014, no 3, pp 3–17 (in Russian).
- Gavrilo A.A.* Nekotorye voprosy geomorphologicheskoi konvergencii [Some questions of geomorphological convergence and homology], Materialy Vseross. conf. «Shchukinsky chtenii». Geomorphologicheskii resursy and geomorphologicheskaya bezopasnost: ot teorii k praktike. Moscow: MGU, May 18–21, Izd-vo Dalnauka, 2015, pp. 405–409 (in Russian).
- Geologicheskii slovar: V tomakh [Geological dictionary: in 2 vol.], Sankt-Petersburg, VSEGEI, 2010 (in Russian).
- Golizin G.I.* Statistika i dinamika prirodnykh processov i yavleniy: metody, instrumentariy, rezultaty [Statistics and geodynamics of natural processes and phenomenon: methods, toolkit, results], Moscow, Izd-vo KRASAND, 2013, 400 p.
- Ezhov B.V., Khudyakov G.I.* Morphotektonika geodynamicheskikh system centralnykh tipov (novaya globalnaya koncepciya) [Morphotectonics of central type geodynamic systems (new global conception)], Vladivostok, Izd-vo Dalnauka, 1984, 128 p. (in Russian).

¹ V.I.Ilichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Laboratory of Gravimetry, Leading Research Scientist, PhD. in Geology; e-mail: gavrilo@poi.dvo.ru

Ivin A.A., Nikiforov A.L. Slovar po logike [Logic dictionary], Moscow, Izd-vo Gumanit. Centr, VLADOS, 1997, 384 p. (in Russian).

Lastochkin A.N. Ponyatie ob elementakh v geomorphologicheskoi nauke [The notion about elements in geomorphologic science], *Geomorphologia*, 1988, no 3, pp. 3–12. (in Russian).

Lastochkin A.N. Sistemno-morphologicheskoe osnovanie nauk o semle (geotopologiya, strukturnaya geografiya i obshchaya teoriya sistem) [System- morphologic basis of the Earth sciences (geotopology, structural geography and general system theory)], Sankt-Petersburg, Izd-vo SPbGU, 2002, 762 p. (in Russian).

Metallogeniya orogenov [Metallogeny of orogens], Moscow, Izd-vo Nedra, 1992, 272 p. (in Russian).

Panov D.G. Obshchaya geomorphologiya [General Geomorphology], Moscow, Izd-vo Vysshaya shkola, 1966, 427p. (in Russian).

Rychagov G.I. Obshchaya geomorphologiya [General Geomorphology], Moscow, Izd-vo MGU, 2006, 416 p. (in Russian).

Shafranovsky I.I. Simmeriya v prirode [Symmetry in Nature], Leningrad, Izd-vo Nedra, 1985, 168 p. (in Russian).

Solov'ev V.V. Structure centralnogo tipa territorii SSSR po dannym geologo-morphologicheskogo analiza: Karta morfostruktur centralnogo tipa territorii SSSR [Structures of the central type of the USSR the territory according to the geological and morphological analysis. Map of central type morphostructures, M 1:10 000 000], Leningrad, Izd-vo VSEGEI, 1978, 110 p. (in Russian).

Ufimtsev G.F. Geomorphologicheskaya konvergenciya [Geomorphologic convergence], *Geomorphologiya*, 2009, no 4, pp. 16–28 (in Russian).

Ufimtsev G.F. Gory Zemli (klimaticheskie tipy i fenomeny noveishego orogeneza [Mountains of Earth (climatic types and phenomena of the newest orogenesis)], Moscow, Izd-vo Nauchnyi Mir, 2008, 351 p. (in Russian).

Variacionnye prinzipy mekhaniki [Variation principles of mechanics], Red. L.S. Polak, Moscow, Gos. Izd-vo. phis-math. lit., 1959, 932 p. (in Russian).

Accessed 14.10.2015

Received 28.04.2016