

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ГОРНОГО ЛИТОВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА И РЕЧНОГО РУСЛА

Цель настоящей работы — изучение механизма формирования горных литоводосборных бассейнов (ЛВБ) и их систем на примере складчатых и складчатоглыбовых горных массивов Малого Кавказа на севере Армении. Работа состоит из двух частей: экспериментальной и теоретической. Первая основана на анализе горных геосистем путем дешифрирования космических фотоснимков. Во второй части излагается гипотеза о механизме формирования горных водосборных бассейнов и их систем, а также речного русла как результата взаимодействия эндо- и экзогенных процессов.

В работе использовались космические фотоснимки «Landsat» — ТМ (тематического картографа) масштаба 1 : 125 000. Площадь изученной территории 4500 км². Ее основные орографические элементы — хребты Базумский и Памбакский.

Рисунок и морфология горного литоводосборного бассейна

Геометрические параметры рисунков различных геосистем часто могут служить «ключом» к раскрытию физического смысла природных процессов [1, 2]. Наибольшей физиономической выраженностью на космо- и аэрофотоснимках обладает активно развивающийся первичный процесс, поскольку при его затухании вступают в силу другие процессы и при этом может произойти уничтожение прежнего рисунка изображения или перекрытие его новым. С этой точки зрения сравнительно молодые горные хребты Малого Кавказа — удобные и надежные объекты, так как на многих их склонах первично формируются горные ЛВБ.

По снимкам были отдешифрированы и выделены все водосборные бассейны. Затруднения в их обособлении наблюдались лишь в областях сочленения вулканогенных и складчатых структур, где происходила бифуркация. В целом рисунок ЛВБ выявлялся однозначно и легко, что свидетельствует о его достоверности и воспроизводимости. Даже первоначальный качественный анализ рисунка указывает на определенную упорядоченность как формирования композиции сочленения ЛВБ, так и характера геометрического изображения внутри бассейнов.

Композиция рисунка представляет обычно систему сопряженных контуров, заключенных между базисной линией (основным водоприемником) и линией водораздела, проходящей по основному водораздельному хребту и его отрогам. Ритмично чередуются контуры двух типов — лопастевидные (или листовидные) — водосборов (стоковых систем) и дельтовидные — участков склонов в нижних частях ЛВБ. Лопастевидные и листовидные контуры окружают водосборные стоковые системы (рис. 1). Таким образом, в качестве внутренних основных морфологических элементов ЛВБ выделяются два — стоковая (русловая) система и водораздел с прилегающими склонами.

Стоковая система. Надежно выделяются два типа рисунков стоковой системы: а) древовидный, при котором ветвление русел начинается преимущественно в верхней части бассейна и притоки сочленяются под острыми углами; б) перистый, когда внутри бассейна четко выражено основное русло с относительно равномерно распределенными боковыми притоками, впадающими под углами, близкими к прямому. При этом наблюдается интересная закономерность: притоки не распространяются в область сопряженных дельтовидных контуров, но, как бы отталкиваясь,гибают их. Первый тип рисунка характерен для лопастевидных ЛВБ, второй — для листовидных.

Водораздельная система. Анализ рисунка (контролируемый стереоскопическим

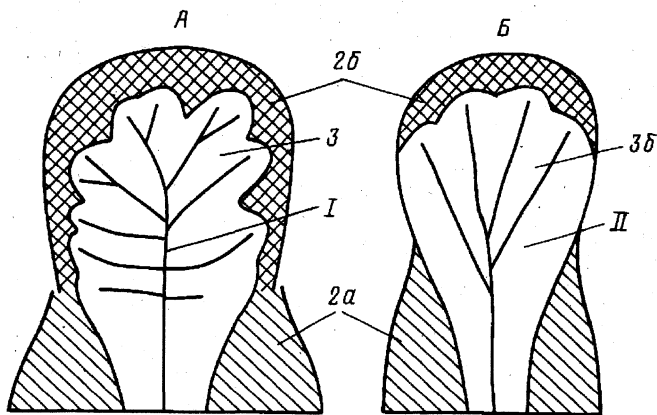


Рис. 1. Морфологическое строение литоводосборного бассейна

Формы бассейна: А — листовидная, Б — лопастьевидная.

Стоковая система: I — перистая, II — древовидная; 2 — водораздельная система: 2а — нижняя часть — фанды; 2б — верхняя часть — дуга; 3 — склоновая (литосборная) подсистема: 3а — форма дубового листа; 3б — форма лепестка

изучением снимков и натурными наблюдениями) показывает, что данная система состоит из двух взаимосвязанных элементов: а) нижней части — торцовых склонов с характерным в плане дельтовидным рисунком; б) верхней части, обладающей изометрическим контуром, аппроксимирующимся дугой, соединяющей два соседних дельтовидных контура (рис. 1).

Нижняя часть — дельтовидные контуры, хотя иногда и выделялись при исследовании бассейнов [3], однако, насколько нам известно из литературы, никогда не трактовались как их элементы. Их рассматривали, например, как тектонические склоны, развитые по периферии положительных морфоструктур в процессе педиментации [4], или как отдельные водоразборные бассейны, связывая их образование с плохой дренированностью соседними бассейнами основания заключенной между ними горной гряды [3]. Однако с этим трудно согласиться, так как изучаемые участки обычно слабо изрезаны (1—3 коротких субпараллельных русла), а иногда вообще не имеют хорошо выраженных флювиальных форм.

Несомненно, нижняя часть водораздельной системы как специфический геоморфологический элемент играет важную роль в формировании и функционировании горного водосборного бассейна. Известно, что треугольная форма — наиболее жесткая и устойчивая к деформациям, поэтому именно такая форма обеспечивает стабильную конфигурацию бассейна и длительность его существования. Таким образом, поскольку рассмотренный морфологический элемент является характерной относительно самостоятельной частью бассейна, полагаем, что необходимо ввести для него специальный термин «фанд» (от англ. fundamental — фундаментальный).

Для верхней части водораздела помимо внешней границы, проходящей по осевым линиям хребтов, были выделены также и внутренние, огибающие водосборные воронки речной системы. При этом оказалось, что пространственная выраженность таких контуров тесно согласуется с наличием истоков. Отсутствие последних «стягивает» контур водосбора, приближая его к линейному. Поэтому лопастьевидные контуры ЛВБ с характерной локализацией истоков в верхней части имеют водоразделы небольшой протяженности, огибающие бассейн только в верхней части на 20—30% от его периметра. Напротив, листовидные ЛВБ охватываются достаточно широкими водоразделами более чем на 50—60% от периметра, что объясняется большей насыщенностью и равномерностью распределения притоков внутри бассейна. Форма, размеры, локализация водоразделов

сильно влияют на потенциал экзогенных процессов внутри бассейна, поэтому и необходим анализ геометрических параметров водораздела.

Склоны не обладают четко выраженной физиономичностью, ибо являются объемно-пространственными объектами. Однако если принять во внимание, что внутренняя граница водораздела охватывает общую склоновую поверхность литоводосборной системы, то можно по рисунку дифференцировать оба типа бассейнов. Лопастевидные ЛВБ имеют лепестковидную форму склоновой поверхности (с изрезанными нижними краями); форма контуров внутри листовидных ЛВБ аналогична очертаниям дубового листа.

Механизм образования горного литоводосборного бассейна

Согласно принципам системного подхода [5—9 и др.] можно дать следующее определение ЛВБ как геосистеме: это целостный природный объект, развитие которого достаточно строго регламентируется энергетически сопряженными процессами, составляющими единый механизм, обуславливающий зарождение, развитие, старение (разрушение) геосистемы с последующим переходом ее в новое качественное пространственно-энергетическое состояние.

Суть механизма формирования и функционирования горного ЛВБ — в сопряженной смене энергетических состояний природной системы. Главный результат проявления этого механизма — разрушение горного массива с последующей трансформацией и выносом за его пределы минеральной массы, что приводит к созданию специфических форм рельефа.

Теория деформации и хрупкого разрушения горных пород выдвинута в 30-е годы А. Гриффитсом [10]. Позже она нашла широкое применение в физике горных пород, а в последние десятилетия и при изучении тектонических дислокаций и сейсмогенных процессов [11—13 и др.]. Однако эта теория практически не привлекалась для объяснения геоморфологических процессов.

В результате тектонических процессов на дневную поверхность выводятся крупные массивы горных пород, обладавшие на глубине значительными напряжениями, поля которых в новых условиях перестраиваются, происходит релаксация, т. е. переход к устойчивому (ненапряженному) состоянию. Отсюда и основной вопрос (ответом на который будет выявление механизма формирования ЛВБ): каким образом и в какой последовательности развивается релаксация и какие процессы она модулирует.

Естественно предположить, что снятие напряжения (разгрузка) начинается с поверхностных (граничных) слоев горного образования, по периметру его основания, где и создаются условия для выхода запасенной упругой энергии. Действительно, с одной стороны, здесь отмечается наибольшая величина градиента неоднородности породы, с другой — осуществляется прямой контакт и трение с окружающей («невозмущенной») поверхностью земли.

Таким образом образуются трещины, способствующие ослаблению или снятию нагрузки [12, 14]. При этом считается, что трещина будет расти (без подвода дополнительной энергии); если прирост поверхностной энергии тела компенсируется соответствующим уменьшением энергии деформации.

Проанализируем последовательные стадии трансформации горного массива в геосистему литоводосборного бассейна в рамках данной модели (рис. 2).

Начальная стадия. Образование фандов. Горный массив разгружается от напряжений путем образования трещин в своей нижней, наиболее массивной части. Известно, что в случае изотропного состояния материала (приблизительно соответствует однородному массиву) при равномерной двухосновной нагрузке возникает либо гексагональное растрескивание, либо система параллельных прямых линий [15]. Такие первичные трещины разгрузки и будут начальной стадией формирования центральных осей водосборных бассейнов.

Действительно, если обратиться к рисунку системы ЛВБ, то можно видеть, что

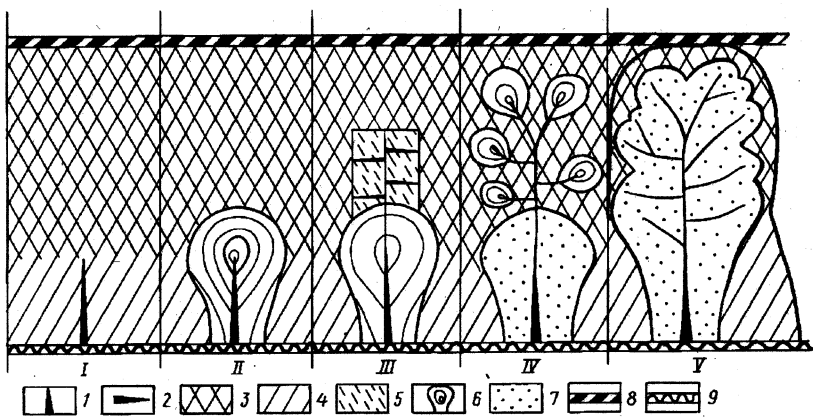


Рис. 2. Энергические стадии формирования горного литоводосборного бассейна

Стадии: I — образования первичной трещины и зоны разгрузки, II — формирования первичной трещиной поля релаксации напряжения внутри массива и образование фандов, III — формирования вторичных трещин и зон разгрузки по бортам первичной трещины, IV — роста и ветвления трещины и формирование локальных долей релаксации напряжений на склонах (формирование водосборных воронок), V — формирование дуги водораздела; 1 — первичные трещины разгрузки горного массива; 2 — вторичные (бортовые) трещины разгрузки; 3 — поле напряжения горного массива; 4 — зона первичной релаксации напряжения массива (зона фандов); 5 — зона вторичной релаксации; 6 — распределение напряжений и формирование поля релаксации подосборных воронок; 7 — области преимущественно пластических деформаций горной породы; 8 — линия главного водораздельного хребта; 9 — базис эрозии (контактный шов горного массива).

нижние части русел расположены субпараллельно на соизмеримых расстояниях друг от друга, сочленяясь при этом с базисной линией массива под углами, близкими к прямому. Таким образом, нижняя часть массива приобретает характер сопряженных блоков, освобожденных от напряжений, т. е. энергетически стабилизированных, поэтому относительно устойчивых к дальнейшему разрушению. Такие фундаментальные структуры в дальнейшем будут трансформированы в нижние части водоразделов — фанды.

Вероятно, первичные трещины образуются практически одновременно с достаточно большой скоростью и начинают расти, когда разрывающие нагрузки достигают максимально возможной интенсивности сил сцепления по контуру трещины.

Согласно теории Гриффитса, длина равновесной (устойчиво сохраняющейся) трещины (l) связывается с разрушающим напряжением (σ), характеризующим прочность материала (в условиях плоской растягивающей деформации) следующим соотношением [12]:

$$l = \frac{4\gamma E}{\pi\sigma^2(1 - \nu^2)},$$

где γ — поверхностное натяжение материала; ν — коэффициент Пуассона для упругой деформации; E — модуль упругости.

Это соотношение — следствие компенсации прироста поверхностной энергии тела (характеризующегося параметром γ) и уменьшения энергии деформации в нем (параметры ν , E , σ) при образовании трещины длиной l . При этом в единице объема запас упругой энергии, необходимой для образования трещины, определяется величиной $\sigma^2/2E$ — в случае одноосного растяжения. Для всестороннего растяжения вместо E вводится модуль всестороннего сжатия. Образование же трещины длиной l снижает напряжение на площади, пропорциональной $\pi l^2/4$ [12].

Таким образом, длина первичных трещин, а следовательно, и размеры фандов существенно зависят от физико-механических параметров слагающих горных пород. Решающее значение для начала разрушения имеют критические трещины;

их длина, однако, связана с напряжением лишь при достижении некоторых определенных размеров. Для каждого материала существует минимальный размер трещины, при котором разрушающее напряжение не зависит от ее длины.

Для горных массивов важно также проанализировать влияние величины угла наклона α поверхности склона на процесс зарождения первичных трещин. Проведенные нами исследования в горах Малого Кавказа показали, что при увеличении α сокращаются расстояния между соседними трещинами и уменьшается их длина. Это можно объяснить эффективным увеличением нагружающего напряжения σ , при котором происходит разрушение породы, и соответственно уменьшением нормальной к плоскости массива компоненты напряжения.

С другой стороны, с увеличением α увеличиваются касательные напряжения, поэтому прочность массива, находящегося в сложноподвижном состоянии, будет зависеть от взаимосвязи касательных и нормальных напряжений (теория Мора [12]). При этом для сравнительно небольших значений α вначале будет расти число трещин, а лишь затем их длина.

Стадия формирования разветвленной стоковой системы. Дальнейшее формирование разветвленной системы трещин — прообраза русловой системы — связано с разрастанием первичной трещины, обусловленным стадийным разрушением горных пород. Этот процесс достаточно хорошо изучен и происходит в такой последовательности: равномерное растрескивание по определенному объему горного массива, сгущение и слияние мелких трещин и, наконец, образование и развитие разрыва — главной макротрещины [11, 12].

Известно, что концентрация напряжений на краях трещины (σ') значительно превышает среднее напряжение σ , и при длине трещины $2l$ и радиусе закругления на конце r составляет [13]

$$\sigma' = 2\sigma\sqrt{l/r}$$

Если σ' превышает предел прочности породы при растяжении, трещина растет. Таким образом происходит дальнейшее разрушение массива.

Предел прочности или сцепления C функционально зависит от величины пределов прочности при сжатии ($\sigma_{сж}$) и растяжении (σ_p) и вычисляется по формулам [13]

$$C = B \cdot \sigma_p$$

$$\text{и } B = \sqrt{\sigma_{сж}/\sigma_p} - 1,$$

где B — стойкость породы. Зная величины $\sigma_{сж}$ и σ_p , легко вычислить пределы прочности C . Наши расчеты для гранитов и гранитогайсов показывают, что значения C составляют около 30—33 МПа, а у брекчиевидных известняков этот показатель снижается до 6,5 МПа. Таким образом, рост трещины происходит с различной интенсивностью, определяемой характером горных пород — их мощностью, составом, распределением нагрузки, устойчивостью к деформациям и т. д.

С ростом трещины происходит ее разветвление (бифуркация) и появляется существенная асимметрия в распределении деформаций. В простейшем случае на первом этапе возникает двухвершинное распределение деформации, когда одна трещина ветвится на две, расположенные под острым углом друг к другу. В дальнейшем это приводит к появлению системы притоков. Такое ветвление характерно для древовидного рисунка стоковой системы.

Если образующийся водосборный бассейн достаточно обширен и за пределами зоны первичной разгрузки имеется участок неразветвленной основной трещины, то примыкающие к ней боковые массивы горных пород (борта бассейна), накопившие запас напряжения, вновь могут разгрузиться с образованием серии субпараллельных трещин, сочленяющихся с первичной под прямыми углами.

Таким образом, процесс разгрузки повторяется, только в меньшем масштабе. Образуется рисунок, характерный для перистого типа стоковой системы.

С появлением зоны разгрузки резко замедляется или вообще прекращается рост близлежащих трещин, концы которых достигли этой зоны. Как мы уже отмечали, такой областью является зона фандов. Поэтому становится понятным отсутствие в рисунке стоковой сети бассейнов притоков, берущих начало в зоне первичной разгрузки массива. В этом случае трещины как бы отталкиваются от энергетически устойчивых фандов, огибая их.

Стадия формирования водосборных воронок и склоновой поверхности. Если обратиться к распределению напряжений на конце активной трещины, то можно видеть систему концентрических линий с наибольшими значениями в динамической области кончика трещины (линии Людерса) [13]. Таким образом, растущая трещина подобно клину создает в своем окружении некоторую энергетическую зону.

Аналогичный процесс происходит и в развивающемся водосборном бассейне. Растущая трещина формирует в горной породе зону напряжения, энергетические характеристики которой увеличиваются с уменьшением радиуса зоны. Здесь начинают интенсифицироваться процессы дислокации, микротрещинообразования, приводящие к разрушению и гравигенному перемещению породы. При этом разрушения смещаются в область пластических деформаций.

На данном этапе рост трещины приостанавливается, что обусловлено конкурентными взаимосвязями пластической деформации и разрушения [12, 16]. Трещина не может расти — ей не хватает запаса упругой энергии, которая, в свою очередь, начинает использоваться для пластических деформаций (разрушение и перемещение коллювия) в зоне напряжения. Поэтому образуется специфическая структура в форме воронки, размеры которой функционально зависят от энергетического состояния активной трещины. После такой локальной разгрузки трещина вновь может накопить упругую энергию, достаточную для своего роста, и процесс повторится.

Движение трещины обуславливает и перемещение зоны напряжения в горном массиве, обеспечивая непрерывное формирование выровненной поверхности склонов. Водосборные воронки, разгружаясь, расширяются, часто соединяясь друг с другом. В геометрии рисунка бассейна, как мы указывали выше, это проявляется через формирование контуров склоновой поверхности либо в виде лепестка с изрезанным верхним краем, либо в виде очертаний дубового листа.

Если энергия трещины иссякла, напряжение в зоне воронки ослабевает и она со временем в результате денудации трансформируется, нивелируется, теряя четкость характерных концентрических очертаний. Исчерпав эндогенно запасенную энергию в процессе хрупкого разрушения, трещина вступает в стадию старения и затухания, и активность переходит к склоновым и русловым экзогенным процессам [6, 17].

Формирование дуги водоразделов. Роль водоразделов в ЛВБ. Формирование верхней части водораздела — совместный результат трещино- и склонообразования. Размеры водораздела свидетельствуют о величине энергетического потенциала всего бассейна. Действительно, с одной стороны, с площадью водораздела коррелирует потенциал разгрузки горной породы, с другой — величина и емкость энергетических запасов для осуществления экзогенных процессов.

Водоразделы, ограничивающие разгруженные склоны, обычно достаточно узки и, наоборот, занимают большие пространства, если массив горных пород обладает запасом упругой энергии. Дуга водораздела, включающая массивы с повышенным внутренним напряжением, является своеобразной энергетической границей бассейна.

В целом же роль водораздела заключается в сохранении энергетической и территориальной целостности и единства литоводосборного бассейна как геосистемы. Он сохраняется до тех пор, пока не нарушена его водораздельная часть. В противном случае, например при перехвате русел соседних бассейнов,

различных прорывах и т. п., энергетическая граница нарушается и бассейн вступает в стадию дезорганизации, разрушения.

Аналогичная ситуация наступает и в том случае, если тектогенно обусловленный запас упругой энергии в горном массиве иссякает. Начинается процесс «старения» гор в преобладающем режиме пластических деформаций.

Формирование речного русла

Взаимодействию склонов с поверхностным стоком посвящена очень обширная литература. Однако, пожалуй, всегда оставался недостаточно ясным вопрос формирования склоновых систем водостока. Практически все известные нам работы базируются на теории преимущественно случайного эрозионного расчленения стокообразующей территории.

На основе проведенного выше анализа можно сделать вывод, что заложение русловой сети предопределено рядом взаимосвязанных процессов. На начальном этапе — это хрупкое разрушение (растрескивание) горного массива, основные особенности которого были рассмотрены в предыдущем разделе. Здесь же мы обратим внимание на стороны процесса, характерные для формирования речного русла.

Образовавшаяся трещина в силу существования в горных массивах колебательных тектонических движений подвержена растягивающим и сжимающим нагрузкам. При действии последних трещины смыкаются, что вызывает появление силы трения и разрушение породы. В зоне будущего разрыва трещины формируется скопление малых трещин, начинающих взаимодействовать друг с другом, образуя зону «включения» внутри большой трещины [11].

Поскольку эта область «мягче», чем окружающая ее скальная порода, возникают контрасты упругих свойств и перераспределение напряжений, т. е. происходит постоянный рост трещины и разрушение породы внутри ее в своеобразном пульсирующем режиме растяжение — сжатие. Образующийся коллювий служит исходным русловым материалом.

Глубина формирующейся трещины в зависимости от конкретных условий может достигать от нескольких до десятков метров [12], она может пересекать несколько водоносных подземных горизонтов. Поскольку стенки трещины создают огромную фильтрующую поверхность, а также высокий градиент давления, то, согласно уравнению Дарси, в области трещины резко возрастает потенциал для фильтрации подземных вод.

В сравнении с относительно изотропным горным массивом трещина становится анизотропной структурой (трещиноватым коллектором), поэтому ее водопроницаемость имеет тензорную природу [18]. На этот важный момент следует обратить особое внимание. Так, по теории эрозионного происхождения русла, можно предполагать только процессы фильтрации в обычных пористых горных породах, преимущественно изотропных. При этом переход от вектора градиента гидравлического напора к вектору скорости фильтрации в законе Дарси заключается только в изменении масштаба, роль которого выполняет скалярный коэффициент проницаемости [18].

Если же имеется анизотропная среда (трещиноватость), то переход от вектора градиента к вектору скорости изменяет не только масштаб, но и направление. Такое преобразование и выполняет тензор проницаемости [18]. Следовательно, в анизотропной среде создается вполне определенное направление с наименьшим гидродинамическим сопротивлением для движения жидкости. Кроме того, при увеличении ширины трещины и особенно среднеобъемного раскрытия микротрещин «мягкого включения» кратность влияния на коэффициент фильтрации возрастает в сотни и тысячи раз [12]. По-видимому, этому способствует и зона напряжения, создающаяся вокруг трещины. Таким образом, формирующееся русло собирает поверхностные и подземные воды, обеспечивая непрерывность водного потока. Если в породе наблюдается дефицит влаги, то непрерывность поступления ее в зону трещины нарушается и формируются сухие русла.

Подземные и поверхностные воды снижают практически все прочностные параметры разрушающейся горной породы, а также периоды ее релаксации и длительной прочности [13]. Поэтому внутри трещины (русла) значительно активизируются процессы механического разрушения и перемещения, обусловленные динамическим воздействием жидкости на породу. Кроме того, необходимо учесть и статическое влияние влажности, выражающееся в усилении набухания, размокания и растворения некоторых пород и минералов. Вода, ветер, гравитация и другие экзогенные агенты (особенно периодического действия) способствуют разрушению и ослаблению сил сцепления внутри образовавшегося коллювия и приводят к его транзиту, т. е. к началу аллювиального процесса.

В дальнейшем активизируются и стабилизируются связи с подземными водоносными горизонтами, а водосборные воронки облегчают локализацию поверхностного стока. Важно отметить, что в рамках излагаемой теории поступление минерального вещества с окружающих склонов является вторичным литогенным потоком, интегрирующимся в основное первичное русло.

Очевидно, что река — сложно организованная целостная система. Такие объекты, не сводящиеся к простой совокупности свойств элементов и процессов, ответственных за их формирование, относятся к эмерджентным [5], и река — яркий пример такой системы.

Действительно, в ней особым образом интегрируются и взаимодействуют через систему обратной связи по крайней мере четыре разнонаправленных основных процесса: эндогенно обусловленное трещинообразование, идущее снизу вверх по склону; разрушение горной породы внутри трещины (*in situ*), обусловленное, с одной стороны, энергетической сменой состояния напряжения внутри горной породы, с другой — воздействием экзогенных факторов; формирование внутритрещинной фильтрации подземных вод, обусловленное механизмом, который может быть описан тензором, и направленное из глубинных слоев к поверхности; экзогенно обусловленное формирование поверхностного стока, транзита и обработки вещества водным потоком, направленное сверху вниз по склону.

Хотя каждый из этих процессов относительно элементарен и широко распространен в других природных объектах, однако только с появлением русловых системообразующих энергетических связей возникают специфическая пространственная форма — русло и качественно индивидуальный тип минерального вещества — речной аллювий.

С другой стороны, функционирование русловой системы приводит к образованию новой формы обратной связи с окружающим пространством. Это выражается в том, что постоянное изменение руслом местных базисов эрозии начинает контролировать характер и интенсивность склоновых процессов, однако, с другой стороны, эндогенные и экзогенные воздействия могут корректировать продольный профиль русла.

На структурно-тектоническую предопределенность заложения горных речных долин указывалось во многих исследованиях [19—21 и др.]. Однако отмечалась и неоднозначность связи между дизъюнктивными нарушениями и направлением речной сети [19]. Действительно, с одной стороны, на основе сейсмических исследований можно констатировать, что подавляющее большинство разломов не приводят к появлению речных русел. И напротив, почти все крупные реки горных регионов приурочены к зонам глубинных разломов. Следует полагать, что в последнем случае произошла реализация системообразующих связей, приведшая к возникновению реки.

Не анализируя подробно, изложим выводы, к которым мы пришли при исследовании речной сети Армянского нагорья. Речные русла, приуроченные к крупным тектоническим разрывам (которые в иерархии трещиноватости занимают самую высокую позицию и связаны с региональными полями тектонических напряжений [12]), образуются в лавовых плато и в межгорных впадинах. Первые из них формируют преимущественно каньонобразные долины, что связано с характером трещиноватости базальтовых покровов. При этом водосбор такой реки представляет скорее не бассейн, с характерной для него формой, а систему сопряженных дренажных русел.

Русла межгорных впадин приурочены, как правило, к периферийным частям горных сводов, где в первую очередь создаются благоприятные условия для возникновения разломов [20]. В силу масштабности и быстротечности образования такой трещины происходит резкая релаксация напряжений, поэтому горный водосборный бассейн, описанный нами выше, получает возможность формирования только в области конца трещины. Роль такой тектонической трещины огромна, ибо она, являясь базисной, формирует «вход» в системы сопряженных горных литоводосборных бассейнов, тем самым обеспечивая создание собственного водосбора.

Таким образом, различие в территориальной организации бассейнов базисной реки и производных от нее ЛВБ в том, что если в ЛВБ основная структурная единица — элементарный водосбор отдельного русла, то на следующем уровне эту роль принимает весь литоводосборный бассейн.

В связи с этим отметим еще один момент, который мы назвали «правилом компенсации», заключающийся в том, что, несмотря на первичность базисной реки по отношению к речной сети сопряженных ЛВБ, его водосборный бассейн всегда будет вторичным, функционально зависящим от характера развития каждого из составляющих бассейнов.

По-видимому, есть основания полагать изложенную гипотезу механизма образования речного русла достаточно универсальной и применимой (с учетом теории деформации) не только для горных условий.

Следует отметить, что представленная модель формирования русловой системы в горном бассейне позволяет сделать вывод об определенной ограниченности применения дихотомической схемы дифференциации порядков потоков Р. Хортона, как, впрочем, и других классификаций, основанных, например, на выделении «главной реки». Хотя, разумеется, именно последний вариант в некоторых случаях может более точно отражать реальность, однако не вскрывая генетическую сущность процесса. По-видимому, необходима разработка иной классификации, основанной на учете при руслообразовании принципов распределения напряжений и развития деформаций внутри горных массивов.

Выводы

1. Космическая фотоинформация, охватывающая обширные территории, позволяет выявлять особенности рисунков горных геосистем, несущих информацию о природных процессах в литоводосборных горных бассейнах.

2. Литоводосборный горный бассейн — целостная пространственно- и энергетически оформленная природная система со специфической внутренней морфологической композицией.

3. Литоводосборный бассейн образуется в результате взаимодействия эндо- и экзогенных процессов; при этом фундаментальным (фоновым) является процесс разгрузки горного массива, выведенного на дневную поверхность. Снятие нагрузки происходит согласно законам хрупкого разрушения горных пород с образованием трещин. Экзогенные процессы — вторичны. Принимая участие в пластических деформациях, они формируют гидро- и литогенные транзитные потоки, способствуя образованию специфического рельефа бассейна.

4. Литоводосборный бассейн проходит три стадии: зарождения, развития и затухания. Последняя стадия наступает при нарушении энергетического поля бассейна — либо в случае бифуркации в системе водораздела, либо при значительной релаксации напряжения в горном массиве. При этом массив пронизывается пространственными сетями трещин и происходит переход к пластическим деформациям и экзогенным склоновым процессам. Доминирующую роль на стадии затухания играют природно-климатические условия и геометрические параметры рельефа.

5. Речное русло — самостоятельная энергетическая эмерджентная система, образующаяся в результате взаимодействия четырех основных процессов:

трещинообразования, разрушения породы внутри трещины, формирования грунтовых потоков, формирования поверхностных потоков и транзита ими вещества.

Энергетическая модель формирования горячего литоводосборного бассейна и речного русла, может быть, позволит несколько по-новому подойти к интерпретации русловых процессов, формированию продольного профиля рек, образованию речных террас, проблеме селеобразования, выявлению сейсмоопасных областей и др. Наконец, она может оказаться полезной при проектировании работ по переброске речных стоков, так как именно в верховьях рек наблюдаются специфические области распределения полей напряжений, разрушение которых нередко приводит к непредвиденной по направлению и интенсивности фильтрации воды внутри породы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Викторов А. С. Рисунок ландшафта. М.: Мысль, 1986. 176 с.
2. Дьяконов К. Н., Иванов А. Н. Устойчивость и инерционность геосистемы // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1991. № 1. С. 28—34.
3. Чернов Г. А. Порядок в рельефе горных склонов (предпосылки к системному анализу) // Геоморфология. 1985. № 4. С. 44—51.
4. Поздняков А. В. Развитие склонов и некоторые закономерности формирования рельефа. М.: Наука, 1976. 111 с.
5. Арманд А. Д. Самоорганизация и саморегулирование географических систем. М.: Наука, 1988. 264 с.
6. Поздняков А. В. Динамическое равновесие в рельефообразовании. М.: Наука, 1988. 207 с.
7. Преображенский В. С. Беседы о современной физической географии. М.: Наука, 1972. 167 с.
8. Солнцев В. Н. Хроноорганизация географических явлений // Вопросы географии. М.: Мысль, 1981. № 117. С. 40—68.
9. Харвей Д. Научное объяснение в географии. М.: Прогресс, 1974. 500 с.
10. Griffith A. The phenomena of rupture and flow in solids // Philos. Trans. Roy. Soc. 1921. № 221. Ser. A.
11. Жарков В. Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1983. 416 с.
12. Рац М. В., Чернышев С. Н. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. М.: Недра, 1970. 164 с.
13. Ржевский В. В., Новик Г. Я. Основы физики горных пород. М.: Недра, 1984. 359 с.
14. Griggs D. T. Deformation of rocks under confining pressure // J. Geol. 1936. № 44.
15. Морозов Е. М., Фридман Я. Б. Траектории трещин хрупкого разрушения как геодезические линии на поверхности тела // Докл. АН СССР, 1961. Т. 139. № 1.
16. Орлов А. Н. Длительная прочность и стационарная ползучесть поликристаллических тел // Физика твердого тела. 1961. Т. 3. Вып. 2.
17. Ласточкин А. Н. Морфодинамическая концепция общей геоморфологии. Л.: Изд-во ЛГУ, 1990. 214 с.
18. Ромм Е. С. Фильтрационные свойства трещиноватых горных пород. М.: Недра, 1966. 282 с.
19. Борсух О. А. Структурно-тектоническая предопределенность заложения речных долин горных стран и особенности их развития // Структурная геоморфология горных стран. Фрунзе: Илим, 1973. С. 55—56.
20. Корешков И. В. Области сводового поднятия и особенности их развития. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 173 с.
21. Щербакова Е. М. О недооценке роли экзогенных процессов в рельефообразовании // Рельеф и ландшафты. М.: Изд-во МГУ. 1976. С. 94—103.

Владимирский политехнический институт

Поступила в редакцию
09.03.94

ENERGY MODEL OF FORMATION OF A MOUNTAIN DRAINAGE BASIN AND RIVER CHANNEL

T. A. TRIFONOVA

Summary

Mountain drainage basins are considered, featuring different configuration and pattern of drainage net and water divides. A hypothesis is introduced which explains the mechanism of the mountain drainage basin formation as a result of endo- and exogenic processes interaction. The leading role is attributed to relaxation processes in the mountain mass when it appears on the day surface. The pressure release results in a fissure system formation which may be considered a prototype of channel network concentrating surficial and subterranean waters. A river channel is regarded as an independent emergent system created by the principal processes interaction.