Кузьмина О. А. Основные черты строения мезо-кайнозойского покрова и перспективы нефтегазоносности юго-восточного и Центрального Устюрта и низовья Аму-Дарьи.— Тр. треста Союзбургаз, т. 5, М., «Недра», 1965.
Малушин И. И. Геологическая эффективность и пути повышения точности поисковых и детальных сейсмических работ на территории Устюрта. Автореф. канд. дис., М., 1967.
Мельничук В. С. История тектонического развития и перспективы нефтегазоносности Устюрта. Автореф. канд. дис. М., 1962.
Мещеряков Ю. А. Структурная геоморфология равнинных стран. М., «Наука», 1965.
Плещеев И. С. Тектоническое строение и перспективы нефтегазоносности северо-восточного Устюрта.— Нефтегазовая геология и геофизика, № 4, 1967.
Сваричевская З. А. Геоморфология Казахстана и Средней Азии. М., «Наука», 1966.
Федотов Ю. А. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности Каракалпакии. Автореф. канд. дис., Ташкент, 1963.
Чарыгин М. М., Васильев Ю. М., Мельничук В. С. Геология и перспективы нефтегазоносности Арало-Каспийского региона. М., Гостоптехиздат, 1963.
Яншин А. Л. Методы изучения погребенной складчатой структуры на примере взаимоотношений Урала, Тянь-Шаня и Мангышлака. Изв. АН СССР. Сер. геол., 1948, № 5.

Трест «Союзбургаз»

Поступила в редакцию
3.IX.1969

NEWEST STRUCTURES OF RELIEF OF THE USTYURT PLATEAU

M. I. EPIFANOV

Summary

On the basis of an analysis of geomorphological and geological data the author substantiates division of the Ustyurt into North, Central, and South Ustyurt. The dependence of elements of the relief on neotectonics is characterized and a classification of karst (undrained, half-drained, and drained) is presented.

УДК 551.4

А. К. МОЛЧАНОВ

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ ПОДОБИИ В СТРОЕНИИ РЕЧНОЙ СЕТИ И ЭРОЗИОННОГО РЕЛЬЕФА

«Теория строения речной сети», предложенная Хортоном (1948), по-видимому, выдерживает испытание временем, несмотря на свою «трансцендентность». Ее основные понятия использованы для анализа эрозионного рельефа при выявлении тектонических структур в платформенных областях (Философов, 1960) и при описании речной сети (Панов, 1948; Ржаницын, 1960) и горно-долинного рельефа (Morisava, 1962; Maxwell, 1967). Ведется также теоретическое обсуждение вскрытых Хортоном закономерностей. В данной статье предлагается более широкое истолкование закономерностей строения речной сети и понятия порядка потока, основанное на результатах как зарубежных, так и отечественных исследований.

Прежде всего следует остановиться на логической связи законов Хортона со степенными зависимостями, устанавливаемыми эмпирически между многими морфометрическими элементами русла, речной сети и флювиального рельефа в целом.

Примером таких зависимостей являются формулы В. Г. Глушкова

$$\frac{\sqrt{Б}}{H_{ср}} = K,\ H = K' \sqrt[3]{Q},\ B = K'' Q^{0,556}$$

где B — ширина, H — глубина русла, Q — расход воды, а K — коэффициент, зависящий от характера грунта ложа реки.

Сгралер (Strahler, 1950) получил связь между уклонами земной поверхности (y) и речного русла (x):

$$\log y = 0{,}6 + 0{,}8$$

что соответствует степенной зависимости

$$y = 4x^{0,8}$$

Р. Х. Пириев (1968) выразил в степенном уравнении зависимость между максимальными (H_{max}) и минимальными (H_{min}) высотами для территории Азербайджанской ССР:

$$H_{max} = 21{,}13\, H_{min}^{0,654}$$

Ю. Н. Кулаков (1969) получил уравнение зависимости средней ширины поймы (h) от суммарной длины водотоков вышележащей части бассейна (l):

$$h = 0{,}0611 \cdot l^{0,45}$$

Если две морфологические характеристики линейной формы сноса, H и Q, подчиняются закону геометрической прогрессии Хортона

$$\begin{cases} H_N = H_1 K_H^{N-1} \\ Q_N = Q_1 K_Q^{N-1} \end{cases}$$

где H_1 и Q_1 — характеристики потока первого порядка, K_H, и K_Q — знаменатели геометрической прогрессии, N — порядок потока, то, исключая последний,

$$N - 1 = \frac{\log H_N - \log H_1}{\log K_H} = \frac{\log Q_N - \log Q_1}{\log K_Q}$$

получим степенную зависимость между обеими характеристиками:

$$H = \frac{H_1}{Q_1^{\log_{K_Q} K_H}} Q^{\log_{K_Q} K_H} = \alpha\, Q^n$$

где параметры α и n выражены через термины закона геометрической прогрессии. На эту связь, резко расширяющую применимость законов Хортона (установленных непосредственно лишь для площади бассейна, количества и длины потоков, а также для их уклона), впервые указывает Морисава (1962).

Промежуточное между законами геометрической прогрессии и степенной зависимостью выражение обладает рядом преимуществ. В отличие от степенной зависимости оно может включить не две, а все характеристики, подчиняющиеся этой закономерности, и притом без повторения величины N и без скобки, как требует обозначение в виде системы геометрических прогрессий. Кроме того, это выражение может быть использовано в качестве определения порядка потока N, если сместить нуль отсчета, заменив единицу нулем, т. е. если считать начальным членом геометрической прогрессии поток нулевого порядка — наименьшее возможное в данных физико-географических условиях русло (морфометрические характеристики такого русла могли бы представить самостоятельный интерес для противоэрозионной мелиорации). При таком определении порядок потока оказывается не дискретной, как у Хортона, а непрерывно изменяющейся величиной, что соответствует непрерывному (точнее, сочетающему равномерное и скачкообразное) изменению размера русла, которое имеет место в действительности.

К аналогичным выводам можно прийти несколько иначе, задавшись целью обобщить оба типа зависимостей, поскольку ни одна из используемых для их интерпретации математических моделей не оказывается достаточно гибкой: а) степенная зависимость предполагает показатель степени постоянным, тогда как в законе геометрической прогрессии он оказывается переменным; б) модель геометрической прогрессии предполагает, что показатели степени выражены лишь числами натурального ряда, тогда как уже отмечено, что величина русла изменяется столь же непрерывно, сколь и скачкообразно. При этом также имеет смысл воздерживаться от толкования коэффициента степенной зависимости как безразмерной величины, как это принято в механике, где, кстати сказать, самоформирующиеся системы, аналогичные речной сети, не рассматриваются. Как видно из дальнейшего, эта величина по смыслу ближе к предэкспоненте.

На первый взгляд такой более гибкой моделью представляется обобщенная показательная (экспоненциальная) функция, использованная Н. И. Кригером (1963) для уравнения террасового ряда. Эта функция позволяет представить закон геометрической прогрессии и степенную зависимость в виде

$$H_N = H_1 e^{(N-1)\ln K_H} = \exp\left[\ln H_1 + (N-1)\ln K_H\right]$$

$$H = \alpha Q^n = \alpha e^{n\ln Q} = \exp\left[\ln a + n\ln Q\right]$$

Но гораздо более простым в написании по сравнению с предыдущим оказывается выражение, получающееся после логарифмирования и замены единицы нулем:

$$\ln H_N = \ln H_0 + N\ln K_H$$

$$\ln H = \ln a + n\ln Q$$

Первое из них является более общим. Определяя из него N и объединяя аналогичные выражения для различных морфометрических характеристик в пределах одного порядка, а еще лучше — створа, получим приводимое далее окончательное выражение, где значения основных морфометрических элементов русла и гидросети Q_N, B_N, H_N, ..., M_N собраны вместе:

$$\frac{\ln Q_N - \ln Q_0}{\ln K_Q} = \frac{\ln B_N - \ln B_0}{\ln K_B} = \frac{\ln H_N - \ln H_0}{\ln K_H} \cdots \frac{\ln M_N - \ln M_0}{\ln K_M} = N$$

При этом Q_0, B_0, H_0, ..., M_0 представляют минимальные возможные значения морфометрических характеристик в данных физико-географических условиях. Параметр K характеризует скорость изменения морфометрических характеристик вдоль по течению и взаимоотношения между ними в створе; по физическому смыслу он при определенных условиях совпадает с коэффициентом подобия. Для частного случая $N=1$, потенцируя каждую из дробей, получим выражение, определяющее K как коэффициент подобия. Величина N выполняет функцию порядка потока, но в отличие от него может быть выражена не только натуральными, но также и дробными числами; она представляется некоторой обобщенной безразмерной характеристикой логарифмического подобия, относящейся не к морфометрическому, элементу, а ко всему сечению, вернее к речной сети в целом.

Сочетание рассмотренных трансцендентных зависимостей с обычными алгебраическими, основанными на балансе материи и энергии, приводит к следствиям, которые можно рассматривать как правила действий с характеристиками K и N. Одно из них состоит в том, что взаимоотношения между морфометрическими элементами Q, B, H, ..., M, выражающиеся в умножении и делении, распространяются также и на соответствующие параметры K_Q, K_B, K_H, ..., K_M (Ржаницын, 1960).

Из очевидного равенства

$$F_0 K_F^{N_{1+2}} = F_0 K_F^{N_1} + F_0 K_F^{N_2}$$

где F, например, площадь бассейна, вытекает следующий своеобразный закон сложения (и вычитания) порядков:

$$N_{1+2} = \log_K (K^{N_1} + K^{N_2})$$

Это действие может быть выполнено с помощью таблиц логарифмов или таблиц суммы и разности десятичных логарифмов (логарифмы Гаусса). При входе в последние порядки потоков должны быть умножены на $\lg K$ с соответствующим делением полученных из таблиц результатов. Зная соответствующие параметры, можно затем получить величины любых морфометрических элементов нового потока (или долины), что может найти применение при гидротехнических и палеогеографических расчетах.

Судя по данным, приводимым в цитируемых работах, этой закономерности подчиняются следующие характеристики: количество потоков, площади их бассейна, расход воды, ширина, глубина и уклон русла, ширина полосы меандрирования. Приведенный список представляется далеко не полным, и возможности взаимных связей заслуживают специального исследования.

В качестве объяснения рассматриваемой закономерности наиболее перспективным представляется привлекаемое Волденбергом (Woldenberg, 1966) из биологии понятие аллометрии, заключающееся в том, что при гармоничном развитии системы относительный прирост различных частей пропорционален относительному приросту всей системы в целом при различных для каждой из частей коэффициентах пропорциональности (Huxley, 1932). С этой точки зрения предлагаемая выше основная зависимость представляет собой результат интегрирования следующего дифференциального выражения:

$$\frac{1}{\ln K_Q} \cdot \frac{dQ}{Q} = \frac{1}{\ln K_B} \cdot \frac{dB}{B} = \frac{1}{\ln K_H} \cdot \frac{dH}{H} = \cdots = \frac{1}{\ln K_M} \frac{dM}{M} = dN$$

Розен (1969) рассматривает аллометрию как внешнее проявление оптимальности в строении системы. Применяя к речной сети зависимости, характерные для самоформирующихся ветвистых структур, можно выявлять общие закономерности, присущие системам флювиального рельефа.

В связи с этой задачей представляет интерес изучение параметров подобия эрозионного рельефа в различных природных условиях, что позволит установить характер отражения в строении и рисунке гидросети типа климата, структурно-литологических особенностей субстрата, знака и интенсивности тектонических движений.

ЛИТЕРАТУРА

Кригер Н. И. Террасовые ряды. Некоторые итоги исследований.— Вопр. географии, сб. 63, 1963.

Кулаков Ю. Н. Дальнейшая разработка анализа аномалий ширины пойм в целях изучения голоценовых движений и структурного плана.— Тр. НИИГА, т. 163, 1969.

Панов Б. П. Количественная оценка речной сети.— Тр. ГГИ, вып. 4, (58), 1948.
Пириев Р. Х. О характере связи между экстремальными высотами (на примере территории Аз. ССР).— Уч. зап. Азерб. Гос. ун-та, Сер. геол.-геогр., № 2, 1968.
Ржаницын Н. А. Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети. Л., Гидрометиздат, 1960.
Розен Р. Принцип оптимальности в биологии. М., «Мир», 1969.
Философов В. П. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур. Саратов, Изд-во Саратовск. гос. ун-та, 1960.
Хортон Р. Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. М., Изд-во иностр. лит., 1948.
Huxley I. S. Problems of relative growth. London, Methuen and Co. Ltd, 1932.
Maxwell I. C. Quantative geomorphology of some mountain chapparel waterscheds of southern California, Quantative geography, p. II. Evanston, 1967.
Morisava M. E. Quantative geomorphology of some watersheds in Appalachian plateau, Geol. Soc. Am. Bull., v. 73, hb. 9, 1962.
Strahler A. N. Equilibrium theory of erosional slopes approached by frequency distribution analysis.— Amer. J. Sci., v. 248, 1950.
Woldenberg M. I. Horton's laws justified in therms of allometric growth and steady state in open systems.— Geol. Soc. Am. Bull., v. 77, 4, p. 431—434, 1966.

Гос. гидрологический
институт

Поступила в редакцию
7.IX.1970

ON A MATHEMATICAL PATTERN (SIMILARITY) IN THE STRUCTURE OF A RIVER SYSTEM AND AN EROSION RELIEF

A. K. MOLCHANOV

Summary

«The Horton's law» and empiric degree functions between morphometric elements of an alluvial relief are considered as a manifestation of allometry, which is characteristic of other self-forming systems. The main regularity of the structure of erosion relief is presented by the following dependency:

$$a_1 \frac{dQ}{Q} = a_2 \frac{dB}{B} = a_3 \frac{dH}{H} = \cdots = a_n \frac{dM}{M} = dN$$

where Q, B, H, ...M are average morphometric characteristics of the erosion form of relief, $a_n = \frac{I}{\ln K_M}$ where K is the denominator of «the law of geometric progression of Horton» and N — a characteristic of the «logarithm» similarity, corresponding to the order of flow.

УДК 551.311.24(571.65)

Э. Э. ТИТОВ

МОРФОЛОГИЯ И ГЕНЕЗИС «ВОЛНИСТЫХ» СКЛОНОВ ПРИОХОТСКОЙ И КОЛЫМСКОЙ ГОРНЫХ СТРАН
(Северо-Восток СССР)

В пределах Охотской части Охотско-Чукотского вулканического пояса, в строении которой видную роль играют кислые лавы и их туфы мелпалеогенового возраста, часто наблюдаемым и чрезвычайно интересным элементом рельефа междуречий являются волнистые склоны (рис. 1).