

МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.4.013

КАЗАНСКИЙ Б. А.

**СТРУКТУРНО-ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ РЕЛЬЕФА ДЛЯ БАНКОВ
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Участие геоморфологов в решении крупных народнохозяйственных задач, связанных с прогнозом и поиском полезных ископаемых, с прогнозом последствий антропогенных воздействий и с охраной окружающей среды и «требующих массовой и точной информации о рельефе обширных территорий, вызывает необходимость внедрения вычислительной техники... и создания автоматизированных банков морфометрической информации (БМИ), т. е. хранилищ пространственно-координированных картометрических и морфометрических данных, представленных в цифровой форме. БМИ должны осуществлять накопление, поиск и выдачу по запросу информации, необходимой для решения конкретных задач» [1, с. 19]. Основные требования к организации БМИ кратко изложены в цитируемой работе. Но важная и трудоемкая работа по созданию региональных БМИ будет в значительной степени обесценена, если отсутствуют общие (и обязательные) принципы и методика цифрового представления морфометрической (геоморфологической) информации, обеспечивающие совместимость различных региональных БМИ в рамках общесоюзного геоморфологического кадастра (и других геоинформационных систем).

Цель данной работы — предложить вариант конкретной методики построения цифровых моделей рельефа (ЦМР — по А. М. Берлянту или СЦМР — структурно-цифровых моделей рельефа по И. Г. Черваневу) как основы для БМИ, учитывающей предшествующий опыт морфометрических и структурно-топологических исследований.

Каждая СЦМР должна представлять «единство однозначно выделяемых точечных, линейных и площадных элементов, совокупность которых составляет жесткий (инвариантный) каркас земной поверхности (ЗП). К этим элементам относятся характерные точки (ХТ), структурные линии (СЛ), а также заключенные между ними части ЗП — элементарные поверхности (ЭП)» [2, с. 48].

В предложенной Б. К. Малявским и А. А. Жарновским [3] СЦМР рельеф отображается набором ХТ «на ребрах многогранника, которым аппроксимируется рельеф. Ребрами такого многогранника являются СЛ рельефа. В соответствии с рекомендациями авторов, для представления рельефа в ЭВМ необходимо задавать точки на инвариантных линиях рельефа в местах изменения простираения этих линий, т. е. в изломах тальвегов и водоразделов. Этот метод обладает тем существенным недостатком, что не учитывает порядки инвариантных линий, т. е. саму структурную организацию» (подчеркнуто нами.— Б. К.) рельефа [4, с. 20].

И. Г. Черванев в цитированной работе предложил уточнение понятия СЦМР. Таковой он называет «модель рельефа, образованную **трехмерным** (подчеркнуто нами.— Б. К.) массивом чисел, характеризующих пространственное положение скелетных линий рельефа одного порядка. В соответствии с этим определением рельеф характеризуется количеством СЦМР, равным числу порядков рельефа. Организация СЦМР по

порядкам облегчает дальнейшие построения и их анализ» [4, с. 20]. И. Г. Черванев считает при этом, что «иного метода, адекватного данному, просто не существует».

Б. Н. Воробьев, развивая идеи И. Г. Черванева, предложил формализованный язык описания рельефа [5], который оказался слишком сложным как для геоморфологов, не владеющих знаниями алгоритмических языков высокого уровня (типа ПЛ/1), так и для использования его на малых и микро-ЭВМ.

Нами же как раз предлагается адекватный метод, отличающийся к тому же большей простотой и универсальностью и не требующий предварительной (неавтоматизируемой!) процедуры выделения порядков СЛ (по И. Г. Черваневу) или типов и видов СЛ (по А. Н. Ласточкину [2]).

За естественный объект для структурно-цифрового моделирования нами принят водосбор, а в основу нашей модели положен тот факт, что структурную организацию рельефа водосборов рек определяет структура речной сети, топологически изоморфная особому классу графов — бинарным деревьям, исследованию которых посвящена обширная литература [6]. В предлагаемом методе СЦМР образуется **двухмерным** массивом чисел: трех пространственных координат (h, X, Y) и четвертой координаты — чисел, кодирующих значимость ХТ, позволяющих однозначно отображать иерархическую упорядоченность СЛ.

Вводимое нами понятие «значимости» ХТ можно считать обобщением концепции магнитуд (одним из возможных переводов термина «magnitude» и является «значимость») для звеньев речных сетей, предложенной 20 лет назад Р. Шривом [7] и стимулировавшей большое число работ по исследованию топологических характеристик речных сетей [6], использовавших аддитивность и комбинаторные возможности магнитуд¹.

Значимость ХТ речной сети (сети тальвегов) — истоков, точек слияния — совпадает с магнитудой звена речной сети, **выходящего** из данной точки. Элементарным водотокам (водотокам 1-го порядка) приписывается магнитуда $\mu=1$, а их истокам — значимость $\xi=1$. Магнитуды внутренних звеньев (значимость точек слияния) определяются суммой магнитуд сливающихся звеньев. Магнитуда устьевого звена равна числу образующих речную сеть водотоков 1-го порядка.

В дополнение к значимостям $\xi \geq 1$ введем значимость $\xi=0$ для ХТ водоразделов. Вводить для водораздельных линий значимости, отличные от нуля, для кодирования порядков (скажем, по аналогии со значимостями ХТ речных сетей, но со знаком минус) оказывается излишним, так как порядок водоразделов рассчитывается ЭВМ через порядки сопряженных с ними водотоков.

Можно было бы особо выделить и тальвеги временных водотоков, возникающих в периоды весеннего снеготаяния или при выпадении осадков, приписав их вершинам, следуя А. Г. Кашеву, значимость $\xi=0,5$. Но в банке **геоморфологической** информации нет особого смысла в разграничении тальвегов временных и постоянных водотоков, равноценных в структурном (но не в гидрогеологическом) отношении элементов рельефа.

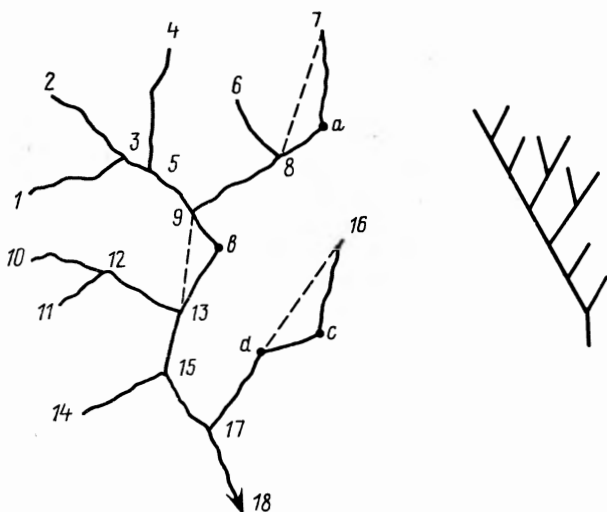
В принципе использование понятия «значимость» можно расширять беспредельно, вводя дробные, комплексные, символьные и тому подобные показатели для кодирования дополнительных ХТ рельефа и водотоков (перегибов склонов, поворотов русел и т. д.). Но нашей задачей в данный момент является не предельное усложнение, а упрощение СЦМР и доказательство адекватности нашего метода методу И. Г. Чер-

¹ Справедливости ради следует отметить, что концепция магнитуд Р. Шрива была предвосхищена А. Г. Кашевым, использовавшим адекватное понятие о массе водного потока Q , за единицу которого «принимается элементарный поток, не пересыхающий в меженный период», а в заданной точке речной сети масса водного потока определяется «путем арифметического сложения» [8, с. 225]. Но А. Г. Кашев, к сожалению, не усмотрел комбинаторных возможностей показателя Q , используя его только как параметр водотока.

ванева в построении СЦМР, а также показ дополнительных возможностей нашей СЦМР в отображении топологической информации о водосборах [9].

Построение СЦМР по нашей методике осуществляется по крупномасштабным картам площадей водосборов речных систем в **естественном** порядке: начиная с истоков реки, по ее течению до устья. Эта упорядоченность используется в программном обеспечении банка данных для построения карт и профилей водотоков. Порядок записи массива данных СЦМР иллюстрируется рисунком.

На рисунке изображена простая речная сеть, у основных ХТ которой надписаны их порядковые номера в массиве данных. Кодирующая приведенную структуру последовательность значимостей ХТ имеет вид (без учета дополнительных ХТ, помеченных буквами $a-d$): $1...1...2...1...3...1...1...2...5...1...1...2...7...1...1...8...1...9...999$, где многоточия проставлены вместо трех пространственных координат со-



План речной сети с помеченным порядком кодирования ее характерных точек

Буквами отмечены дополнительные характерные точки, не учитываемые при расчете топологических характеристик. Справа — бинарный граф, изоморфный структуре речной сети

ответствующих точек. Данная запись будет представлять цифровую модель структуры со спрямленными звеньями 7—8, 9—13 и 6—18, показанными на рисунке пунктиром. С учетом дополнительных точек типа помеченных на рисунке буквами кодирующая последовательность будет следующая: $1...1...2...1...3...1...1...1...2...5...1...1...1...2...7...1...8...1...1...1...2...9...999$, где в значимостях с дробной частью цифра после запятой является просто порядковым номером дополнительных точек в пределах одного звена речной сети. При расчете топологических характеристик речной сети учитываются только целочисленные значимости, соответствующие вершинам графа, приведенного на рисунке справа.

Устьевая вершина кодируется условной значимостью (у нас 999), превышающей значимости остальных точек. Для ЭВМ это условное число указывает окончание ввода массива данных СЦМР.

Началом записи может служить любая точка со значимостью $\xi=1$, но естественней начинать с верховьев главного водотока, обходя последовательно все притоки. Этот способ упорядочения записи является модификацией (разверткой до элементарных водотоков) предложенного нами ранее способа отображения топологической структуры речной сети [7], использованного в фортран-программе TOPOL [10] и в ее модификации, опубликованной в [11]. Очередность ввода координат ХТ во-

доразделов (с $\xi=0$) произвольна, но для удобства работы с распечатками массивов СЦМР рекомендуется координаты ХТ водоразделов записывать последовательно с координатами близлежащих ХТ речной сети.

Массив ξ в сочетании с пространственными координатами кодирует структуру речной сети **однозначно**, а без учета (использования) пространственных координат — с точностью до изоморфизма в виде графа, подобного приведенному на рисунке. По данным ξ , X и Y восстанавливается плановый рисунок речной сети (со спрямленными звеньями), а по данным ξ , h и автоматически рассчитываемым значениям расстояний ХТ от устья — продольные профили водотоков.

Как легко заметить по последовательности записи ξ , началу каждого неэлементарного притока соответствует последовательность из двух единиц (не учитывая любое возможное число нецелочисленных и нулевых значимостей между единицами), а каждому слиянию неэлементарных водотоков — последовательность из двух чисел $\xi_i > 1$ и различающихся более чем на 1; число таких пар равно, естественно, числу пар $\xi_i = \xi_{i+1} = 1$, что служит одним из проверочных критериев программы ввода и используется в программах расчета и анализа топологических и геометрических характеристик СЦМР и в программах вывода на гравопостроитель. Есть и другие закономерности в последовательности записи ξ , используемые в программном обеспечении банка данных.

Таким образом, массив данных нашей СЦМР — не простой набор четверок координат, а **структурно-упорядоченный массив**.

По четырехкоординатным данным СЦМР рассчитываются топологические, линейные, угловые (ориентационные), площадные (триангуляций по тройкам близлежащих ХТ рельефа) и прочие характеристики рельефа; некоторые из них могут рассчитываться одновременно с процессом ввода массива (в том числе и в диалоговом режиме и при строчном вводе данных при работе на микро- и мини-(ЭВМ). Часть же характеристик рассчитывается только после ввода всего массива, заканчивающегося координатами устьевой точки речной сети. Одни параметры СЦМР целесообразно постоянно хранить в банке данных, другие рассчитывать по мере надобности. В число параметров постоянного хранения рекомендуется включить порядок водотоков (ω) в системе Хортна — Штралера, топологическое (p) и геометрическое (L) расстояния ХТ от устья реки. Это дает возможность существенно упростить работу пользователя с банком геоморфологической информации.

Порядок (ORDER, ω) является одной из традиционных топологических характеристик водотоков, широко используемых в практике геоморфологических (морфометрических) и гидрологических работ [7]. Рассчитывается порядок одновременно с вводом данных по простому алгоритму, использованному нами ранее в программе TOPOL [10]. При расчете ω используется только массив ξ : $\omega(1) = 1$ и

$$\omega(\xi_i > 1) = \begin{cases} \max \{ \omega(\xi_{i-1}), \omega(\xi_j) \} & \text{при } \omega(\xi_{i-1}) \neq \omega(\xi_j) \text{ и} \\ \omega(\xi_{i-1}) + 1 & \text{при } \omega(\xi_{i-1}) = \omega(\xi_j), \end{cases} \quad (1)$$

где j и $i-1$ — номера начальных точек водотоков, сливающихся в точке с номером i .

Топологическое расстояние (PATH, p) от устья рассчитывается после ввода всего массива, так как оно равно числу звеньев речной сети между данной ХТ и устьем. Топологические расстояния используются при расчетах многих топологических характеристик речных структур [9], функций распределения и корреляционных соотношений между топологическими, геометрическими (морфометрическими) и гидрологическими характеристиками водосборов.

Геометрическое расстояние (LENGTH, L) рассчитывается аналогично суммированием длин последовательных звеньев водотоков. Геометрические расстояния используются как горизонтальные координаты при построении и анализе продольных профилей водотоков, при расчетах

различных морфометрических и гидрологических характеристик вдоль водотоков и на площади водосбора (например, при расчетах так называемого горизонтального расчленения рельефа или плотности дренажной сети), при анализе тополого-геометрических соотношений в речной сети и т. д.

Из числа топологических характеристик «временного хранения» следует упомянуть энтропийную характеристику речной сети, предложенную нами [12] и оказавшуюся весьма информативной [9]. Существует множество важных в теоретическом и практическом отношении задач, связанных с этой характеристикой, не решенных до сих пор как раз по причине отсутствия банков геоморфологической информации и большой трудоемкости неавтоматизированного анализа. Временность хранения этой характеристики определяется тем, что она может рассчитываться параллельно с вводом или выводом массива данных СЦМР: для каждой i -й точки слияния водотоков определяется величина

$$H_i = - \frac{m}{m+n} \log_2 \frac{m}{m+n} - \frac{n}{m+n} \log_2 \frac{n}{m+n}, \quad (2)$$

где m и n — магнитуды сливающихся водотоков; энтропия речной системы определяется суммированием H_i по всем точкам слияния в системе [9].

Несомненно, в рамках данной статьи) перечислять все морфометрические характеристики, которые могут быть получены автоматически при использовании банков геоморфологической информации на основе предложенной СЦМР, ибо число известных к настоящему времени морфометрических показателей, как и способов анализа речных сетей, превышает сотню. Важнее то, что региональные банки геоморфологической информации дают возможность обобщить множество измерений на СЦМР, что позволит наконец решить задачу «более строгого определения наиболее информативных из множества морфометрических характеристик» и с учетом трехмерности рельефа — задачу «нахождения связи морфометрических превышений в бассейне, линией продольного профиля и т. п.» [13, с. 49], а также «одну из самых главных задач современной геоморфологии — отыскание и выбор морфометрических эталонов, соответствующих структурно-вещественным сущностям рельефа» [14, с. 229].

Предложенная СЦМР для банков геоморфологической информации рассчитана на стандартное (в основном) программное обеспечение вычислительных центров и на использование языка программирования Фортран и его графическое расширение Графор [15]. Минимальным специфическим добавлением к стандартному программному обеспечению может быть программа DECODE для ввода — вывода и контроля массивов данных СЦМР. Задача пользователя при этом упрощается (при работе с банком) до назначения объекта и желаемого вида информации. СЦМР легко адаптируется к любым ЭВМ и языкам программирования: помимо фортран-программы нами составлена программа для мини-ЭВМ «Искра-1256», вычисляющая десять и более топологических и морфометрических характеристик СЦМР и выдающая распечатку гистограмм распределения этих характеристик. Большое число задач, не требующих графического вывода, на основе предложенной СЦМР решалось нами на карманном компьютере РВ-110 фирмы «CASIO» в диалоговом режиме на языке Бэйсик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берлянт А. М. Морфометрические исследования рельефа в СССР: состояние проблемы, перспективы//Геоморфология. 1984. № 2. С. 15—24.
2. Ласточкин А. Н. Системно-структурная ориентация геоморфологического картографирования//Геоморфология. 1984. № 2. С. 47—57.
3. Малявский Б. К., Жарновский А. А. О цифровом моделировании рельефа местности//Геодезия и картография. 1974. № 6. С. 31—38.
4. Черванев И. Г. Моделирование и автоматизированный анализ рельефа: методологи-

- ческие аспекты//Проблемы системно-формационного подхода к познанию рельефа. Новосибирск: Наука, 1982. С. 14—21.
5. Воробьев Б. Н. Формализованный язык структурного анализа рельефа//География и природные ресурсы. 1985. № 3. С. 136—141.
 6. Казанский Б. А. Изучение топологии речных систем от Р. Хортон до наших дней//Тр. ДВНИГМИ. 1977. Вып. 66. С. 42—52.
 7. Shreve R. L. Infinite topologically random channel networks.//J. Geol. V. 75. N02. P. 178—186.
 8. Кашев А. Г. Морфометрический анализ продольных профилей рек как метод изучения тектонических структур//Морфометрический метод при геологических исследованиях. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1963. С. 224—240.
 9. Казанский Б. А. Топологические характеристики водосборов//Климат и воды Сибири. Новосибирск: Наука, 1980. С. 219—227.
 10. Казанский Б. А. Программа расчета на ЭВМ топологических характеристик речных структур//Гидрологические расчеты. Комплексное использование и охрана водных ресурсов Приморского края. Владивосток, 1978. С. 99—100.
 11. Безруков Л. А., Буряков В. М., Долгих И. А., Корытный Л. М. Водные ресурсы КАТЭКа: количественная оценка и перспективы использования//Экспериментальные основы географического прогнозирования воздействия КАТЭКа на окружающую среду. Иркутск, 1984. С. 116—131.
 12. Казанский Б. А. Количественная характеристика структуры речных систем//Тр. ДВНИГМИ. 1976. Вып. 54. С. 62—68.
 13. Симонов Ю. Г., Борсук О. А., Спасская И. И. Морфометрия речных бассейнов. Некоторые итоги и перспективы изучения//Новейшие методы геоморфологических исследований. М., 1981. С. 39—53.
 14. Флоренсов Н. А. Очерки структурной геоморфологии. М.: Наука, 1978. 240 с.
 15. Баяковский Ю. М., Галактионов В. А., Михайлова Т. Н. Графор. Графическое расширение фортрана. М.: Наука, 1985. 288 с.

Тихоокеанский океанологический
институт ДВНЦ АН СССР

Поступила в редакцию
3.XI.1986

STRUCTURAL-DIGITAL MODEL MEANT FOR GEOMORPHOLOGICAL DATA BANKS

KAZANSKY B. A.

Summary

A method is introduced which permits to code structural relations within a drainage basin and to construct a structural-digital model of topography. The model consists of a structurally ordered file of 4-numbered groups, representing spatial (3 numbers) and structural (1 number) position (significance) of characteristic points of the relief.

УДК 551.4.01 (575)

ПШЕНИН Г. Н.

К МЕТОДИКЕ ТЕРРАСОВОГО АНАЛИЗА ПРИ МОРФОСТРУКТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ (НА ПРИМЕРЕ ГОР СРЕДНЕЙ АЗИИ)

Под террасовым анализом здесь подразумевается отрасль общей геоморфологии, имеющая задачей полное изучение речных, озерных и морских террас и как форм рельефа, и как геологических тел. Применение методов террасового анализа при структурных и морфоструктурных исследованиях предполагает использование террас в качестве реперных уровней подобно маркирующим слоям в структурно-тектоническом анализе [1—3 и др.]. Ниже рассматриваются вопросы методики террасового анализа при морфоструктурных исследованиях аридных горных стран (Средняя Азия).

Повышение детальности морфоструктурных и в особенности прикладных морфоструктурных исследований и резко возросшие за по-