

СОСТОЯНИЕ И АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕЛЬЕФА АРМЕНИИ

© 2016 г. А.А. Авакян

*Институт геологических наук НАН РА
0019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а, Республика Армения
E-mail: avagyan@geosot.am
Поступила в редакцию 31.07.15 г.*

В статье рассматриваются этапы, условия развития и результаты морфометрических исследований рельефа Армении. Современное состояние геоморфометрических исследований в стране описано в основном с учетом опыта лаборатории Геоинформатики и других сотрудников ИГН НАН РА. На основании анализа достижений зарубежных и отечественных геоморфометрических исследований определены актуальные направления и основные задачи количественного изучения рельефа Армении на ближайшие годы. К основным направлениям относятся: дальнейшее улучшение качества (повышение точности, горизонтального и вертикального разрешения) цифровой модели рельефа, детальное количественное описание рельефа, формы и строения основных речных бассейнов, сравнение и систематизация геоморфологических единиц, а также выделение морфоструктур по морфометрическим данным. Актуальными методами исследований являются: гипсометрический и статистический анализ абсолютных высот земной поверхности и его производных, вычисление, картирование и анализ морфометрических индексов и коэффициентов, морфотектонический анализ цифровой модели рельефа.

Морфометрия рельефа за последние десятилетия получила широкое развитие, достигнув в методической и предметной областях исследований важных результатов, значение и применение которых выходит за пределы геоморфометрии.

Цель данной статьи состоит в том, чтобы представить состояние геоморфометрической изученности территории Армении, пробелы и актуальные вопросы исследования рельефа страны, которые могут быть решены на существующей методической основе и с применением доступной цифровой картографической информации. На наш взгляд приведенная в статье информация о доступных картах, данных и методах, количественно описывающих рельеф Армении и его отдельные геоморфологические единицы, будет полезна специалистам в области геологии и других естественных наук, заинтересованных в пространственном анализе своих данных. Некоторые задачи сформулированные в статье могут успешно решаться при сотрудничестве специалистов смежных областей геологии.

Морфометрия рельефа или геоморфометрия (geomorphometry) – наиболее распространенные названия науки о количественном описании и анализе формы земной поверхности, основанной на науках о Земле, информационных технологиях и математике. Представления и определения ведущих специалистов по морфометрии (R.J.Pike, I.S.Evans, T.Hengl) обобщены в книге “Геоморфометрия” (Hengl, Reuter и др., 2009).

Геоморфология и геоморфометрия едины в отношении предмета исследования и дополняют друг друга, как науки занимающиеся качественным и количественным описанием, анализом и представлением рельефа земной поверхности.

В обсуждаемой области существуют определенные терминологические разночтения, для минимизации которых авторы цитируемой книги предлагают пользоваться термином “*геоморфометрия*” для определения научной дисциплины и “*земная поверхность*” (land surface) – для предмета изучения.

Количественный анализ и цифровое представление формы рельефа описывается терминами “*terrain modeling*”, “*terrain analysis*”. Результат моделирования наиболее точно определяется как цифровая модель земной поверхности – “*Digital terrain model*” (DTM) или “*Digital surface model*” (DSM). Однако наиболее часто используется менее точный термин – “*высотная цифровая модель*” (Digital elevation model – DEM), впервые предложенный Геологической службой США в 1974г. DEM принципиально определяется как набор значений высот поверхности Земли в узлах регулярной сетки (Hengl, Reuter и др., 2009). Русскоязычный аналог этого термина – “*цифровая модель рельефа*” (ЦМР) более удачен, чем его английский синоним в том отношении, что имеет более широкий смысл и включает не только высотную модель рельефа, но и её производные модели, представляющие углы наклона, экспозиции склонов, вертикальную и горизонтальную кривизну, расчлененность и др. особенности рельефа. Перечисленные морфометрические параметры, будучи производными величинами высоты рельефа, имеют самостоятельный физический смысл.

Следует также определить, используемые в дальнейшем изложении, основные термины геоморфометрии “*параметр*” и “*объект земной поверхности*”. Первым термином определяется дескриптивная мера формы земной поверхности, к которой относятся высотные отметки, углы наклона, экспозиции склонов и др. Объектами земной поверхности принято называть ее дискретные участки, представляемые векторным способом как точки (вершины, седловины, истоки, пересечения рек и др.), линии (талвеги, гребни, бровки и др.), полигоны (поверхности склонов, бассейны рек и др.).

Основные этапы развития геоморфометрии вкратце характеризуются следующим образом. Классическая геоморфометрия была направлена на изучение гипсометрии по данным топографических карт, на вычисление средних высот, уклонов рельефа и плотности речной сети. Более поздние работы относятся к изучению топологии речной сети (водосборных бассейнов), статистического распределения частот углов наклона склонов и к классификации форм рельефа. При этом методика исследований развилась от тренд – анализа поверхности и спектрального анализа высот и профилей до геостатистического и фрактального анализов трехмерных массивов данных высот.

Современная геоморфометрия направлена на усовершенствование методов получения и обработки данных высот, описание и визуализацию топографии, расширение численных методов описания земной поверхности. Объектами её исследования являются рельеф территорий, а также отдельных геоморфологических единиц, например, водосборных бассейнов. Целью исследований является вычисление параметров и выявление пространственных закономерностей рельефа.

Исследования геоморфометрии территории Армении в докомпьютерный период

В указанном периоде времени морфометрия в Армении развивалась соответственно принципам, распространенным в советской школе геоморфологии. Начиная с середины 1960-ых годов, еще задолго до появления современных идей геометризации рельефа и вычислительных возможностей, в Армении были опубликованы первые работы по геоморфометрии. Публикации ведущих геоморфологов Армении этого времени были посвящены количественному описанию и анализу развития рельефа по данным морфометрических исследований.

В первом из указанных направлений Д.А. Погосяном, Ф.С. Геворкяном и другими авторами впервые были вычислены углы наклонов и экспозиция склонов, коэффициенты горизонтальной и вертикальной расчлененности рельефа (Погосян, 1974; Геворкян, 1975). Все морфометрические показатели вычислялись “вручную” по топографической карте в пределах равновеликих квадратных “грид – ячеек” площадью 1км.кв. Прделанный авторами громадный труд позволил им составить карты перечисленных морфометрических показателей, а также вычислить другие производные показатели для каждой грид – ячейки.

Д.А. Погосяном были вычислены эрозионные коэффициенты и составлена карта степени эродированности территории Армении (Погосян, 1971). Л.Н. Зограбяном и Ф.С. Геворкяном была вычислена величина «энергии рельефа», учитывающая углы наклона склонов, значения вертикальной и горизонтальной расчлененности рельефа, а также составлена карта, количественно описывающая формы рельефа, способствующие эрозионным процессам или задерживающие их (Зограбян, Геворкян, 1969).

Результаты указанных работ обобщены в виде комплексной карты морфометрических показателей Армении (Погосян, 1974). На ее основе затем была составлена карта районирования по степени пригодности территории Армении для сельскохозяйственного использования, на которой выделено шесть категорий от наиболее благоприятных участков до непригодных для сельскохозяйственного использования.

Следует отметить также ряд не опубликованных карт. В.А. Метанджяном составлены морфометрические карты масштаба 1:200000 бассейна озера Севан. Р.Х. Гагиняном составлен ряд морфометрических карт Сю-

никского вулканического нагорья в масштабе 1:50000: густоты и глубины расчленения, крутизны склонов, рисунка речной сети и морфоструктур, базисных поверхностей второго и третьего порядков. В.Р. Бойнагряном составлены карты густоты и глубины расчленения рельефа, крутизны склонов бассейна реки Вохчи и территории г. Еревана масштаба 1:25000.

Второму направлению – изучению закономерностей формирования рельефа по морфометрическим данным посвящены работы Л. Н. Зограбяна (Зограбян, 1976), Ф.С. Геворкяна (Геворкян, 1975). Второй автор на основе морфологического анализа установил связь современного рельефа с погребенными структурами западной части Араратской котловины. Им же описаны особенности строения морфоструктур и их неотектонического развития.

Рассмотренные работы сыграли большую роль в развитии методики морфометрических исследований и в количественном описании особенностей рельефа Армении. Однако разрешающая способность цифровых карт была невелика (1км). Дальнейшая детализация исследований и повышение точности результатов, увеличение масштаба морфометрических карт оказались невозможными по причине отсутствия техники и методов компьютерного построения цифровых карт.

Современный этап геоморфометрических исследований

В многообразии задач геоморфометрии принято выделять следующие основные направления: количественное описание рельефа территорий или геоморфологических единиц, объяснение свойств и классификация рельефа, установление пространственной и временной изменчивости рельефа и рельефообразующих процессов (Симонов, 1998). Очевидно, что указанные направления в определенной степени выделяются условно, поскольку они взаимосвязаны, решаются в их логической последовательности, а в некоторых случаях, как для геоморфологических единиц, они решаются комплексно.

Как во многих других странах, появление доступной компьютерной техники, данных дистанционного зондирования, цифровых технологий их обработки и геоинформационных систем создало в Армении необходимые условия возобновления морфометрических исследований на новом методическом и программно – аппаратном уровне. В конце 1990-ых годов возникла также возможность решения принципиально новых задач.

В первую очередь морфометрические исследования были начаты в направлении количественного описания рельефа страны в масштабе 1:200000. Основной задачей данного направления для Армении было создание базовых данных абсолютных высот с более детальным вертикальным и горизонтальным разрешением, а также методических и программных средств их обработки.

Ниже описываются результаты, полученные в базовой и других указанных направлениях, а также обсуждаются текущие исследования и про-

белы в этих областях.

Работы выполненные по построению, оценке точности и повышению качества ЦМР можно отнести к подготовительному этапу современных геоморфометрических исследований в Армении. Однако существует необходимость непрерывного совершенствования ЦМР изучаемой территории по мере детализации исследований и повышения разрешения съемки местности. По этой причине работа в этом направлении рассматривается как непрерывная составляющая геоморфометрических исследований в Армении.

В первый период сотрудниками лаборатории Геоинформатики ИГН НАН, с использованием возможностей геоинформационных систем, была разработана базовая методическая и программная среда морфометрических исследований, включающая также цифровые карты, специальным образом организованные базы данных, на основе которых была построена цифровая модель рельефа (ЦМР) территории Армении масштаба 1:200000. На этой же основе вычислены морфометрические показатели рельефа, выполнен их статистический анализ и построены карты соответствующего содержания.

Свободный доступ к данным DEM SRTM, появившийся в 2004-2005гг., а затем и к ASTER GDEM открыл возможность в уже созданной методической – программной среде проводить более детальные морфометрические исследования. Как установлено специальным исследованием Г.Г. Ерицяна (2013), DEM SRTM по точности и разрешению соответствует ЦМР, полученной цифрованием топографической карты масштаба 1:100 000. Использование ASTER GDEM позволило еще более укрупнить масштаб морфометрических исследований территории Армении в целом и подготовить ЦМР бассейнов 14-ти наиболее крупных рек, как отдельных геоморфологических единиц РА, границы которых уточнены по более детальным топографическим картам.

На указанной цифровой основе, обладающей более высокой точностью и вертикальным разрешением, чем используемые ранее данные, уточнены статистические параметры абсолютных высот Армении (Авакян и др., 2010).

В настоящее время существует множество источников цифровых данных высот, а также методов их интерполяции для построения непрерывной поверхности или поля высот, использование которых приводит к различным по точности ЦМР. По этой причине повышение и оценка качества ЦМР и в будущем будет представлять актуальную задачу геоморфометрии, направленную на получение более точных высотных данных, имеющих большее разрешение. Оценка эффективности методов интерполяции данных высот для получения их значений в узлах регулярной сетки также является актуальной задачей.

Как показали геоморфометрические исследования, эффективным способом повышения точности ЦМР является ее структурирование путем введения инвариантных линий трех типов: тальвегов, водоразделов, пе-

регибов склонов, а также добавления структурных точек рельефа – пиков, седловин, истоков, развилки, слияний и устьев рек (Кошкарев и др., 2002). Структуризация ЦМР Армении выполнена лишь частично, в качестве структурных элементов введены линии водоразделов бассейнов главных рек Армении. Повышение точности ЦМР Армении указанным способом, а также путем определения и использования оптимального соотношения размеров грид – ячеек, плотности исходных данных (числа определений высот на единицу площади) и масштаба ЦМР, является базовой задачей геоморфометрических исследований. Ее решение важно не только для геоморфометрии, но и для тех научных областей, где высотные характеристики и ее производные используются для определения какого-либо свойства объекта исследования.

Количественное описание и интерпретация морфометрических данных

Количественное описание свойств рельефа рассматривается как группа задач, решение которых позволяет сравнивать территории и геоморфологические объекты, обнаруживать их сходство и различие, и на этом основании осуществлять районирование территории и классификацию геоморфологических единиц. Как указано выше, различают также вторую группу задач, предназначенную для объяснения строения и свойств рельефа по морфометрическим данным (Симонов, 1998). Задачи и методы этого класса служат для оценки роли рельефообразующих факторов и реконструкции истории формирования формы земной поверхности по морфометрическим признакам. Эти классы задач разграничиваются лишь условно, поскольку оба основаны на общих теоретических принципах, и, по логике исследований, составляют единую последовательность операций – выявление, количественное описание и генетическая интерпретация свойств рельефа.

В Армении до настоящего времени морфометрические исследования в основном проводились в направлении количественного описания рельефа. Более того, имеется необходимость повторного, более детального комплексного количественного описания рельефа Армении в масштабе 1:100000, а отдельных геоморфологических единиц – в более крупном масштабе. По этой причине обе группы задач далее рассматриваются совместно с указанием наиболее актуальных из них.

Формальные методы количественного описания рельефа весьма разнообразны, однако в сущности они сводятся к параметризации, геометризации, структурному анализу и построению геоморфометрических карт.

Параметризация рельефа основана на теории геоморфометрии, ее методы до сих пор не систематизированы, однако отчетливо определены наиболее актуальные группы задач, которые описаны ниже. В первую очередь к параметризации относятся исследования статистического и пространственного распределения абсолютных высот и их производных величин – углов наклона, экспозиции, кривизны склонов, а также построе-

ние соответствующих карт. Анализ и интерпретация результатов параметризации относятся к задачам объяснения строения и свойств рельефа, а также оценки роли рельефообразующих факторов и стадии развития рельефа.

Геометризация рельефа основана на теоретическом положении о том, что существует определенное соответствие между морфологическим типом рельефа исследуемого объекта и величиной ее площади, густотой и длиной структурных линий. Методы геометризации рассматривают форму физически реальной геоморфологической единицы в сравнении с геометрическими фигурами. Для оценки степени этого соответствия вычисляется коэффициент формы рельефа (Кф). Например, для сравнения с параллелепипедом вычисляется $K_f = a:b:c$ и производные показатели модели: коэффициенты удлинения $a:b$ и утолщения $c:b$, где a, b, c соответственно - длина, ширина, толщина параллелепипеда, описывающего форму рельефа. Аналогичным образом оцениваются другие “физиономические” разновидности: куполовидные, конусовидные, пирамидальные, блюдцеобразные и др. (Симонов, 1998).

Структурный анализ рельефа основан на принципе, согласно которому структура рельефа есть закономерное сочетание его морфологических элементов – точек, линий, поверхностей. К “характерным” точечным морфологическим элементам относятся вершины, седловины, начала постоянных водотоков, их устья, поворотные точки русел и водоразделов. Линейные морфологические элементы представляются линиями водоразделов и русел водотоков, бровками, шовными линиями и ребрами склонов. А.Н. Ласточкин (2013) структурные линии определяет как геометрическое место точек с экстремальными или нулевыми значениями морфометрических параметров.

Далее рассматриваются основные задачи современных направлений геоморфометрии, в которых получены определенные результаты, которые, однако, остаются актуальными для территории Армении. К их числу относятся: гипсометрический анализ территорий, вычисление и анализ морфометрических индексов речных бассейнов, морфотектонический анализ, построение и анализ карт морфометрических показателей рельефа.

Гипсометрический анализ является одним из базовых методов статистического изучения геоморфометрических переменных. Он включает оценку характера и параметров статистического распределения площади изучаемой территории по высотным поясам, построение гипсометрической (гипсографической) кривой. Для количественного описания отдельных геоморфологических единиц, в частности, речных бассейнов эффективно используются гипсометрический индекс и гипсометрический интеграл исследуемой территории.

Гипсометрически рельеф Армении описан в целом на основе ЦМР масштаба 1:200000 параметрами статистического распределения высотных отметок, построена также уточненная гипсометрическая кривая. Таким путем уточнены наиболее употребляемые и получены новые статис-

тические данные о гипсометрических характеристиках рельефа Армении (Авакян и др., 2010). Вычислены также производные геоморфометрические характеристики высотных отметок – углы наклона и экспозиции, горизонтальная, вертикальная и тангенциальная кривизна склонов, построены графики статистического распределения и построены карты этих показателей в масштабе 1:200000. Однако указанные карты, несмотря на их достаточно высокую информативность, пока не опубликованы, поэтому задачей ближайшего времени нам представляется создание информационных условий и подготовка морфометрических карт масштаба 1:200000 к электронной публикации.

В настоящее время наряду с публикацией существующих карт имеется возможность составления новых карт на основе уточненных и более детальных высотных данных, обеспечивающих на порядки более высокое разрешение. С этой целью заново должны быть оценены, вычисленные и опубликованные ранее (Погосян, 1971, 1998; Зограбян, 1969; Геворкян, 1975) коэффициенты вертикальной и горизонтальной расчлененности, эрозионные коэффициенты, «энергии рельефа».

Создана также возможность вычисления и оценки эффективности применения множества иных коэффициентов, используемых для геометризации рельефа: коэффициенты формы, густоты расчленения рельефа, эрозии, и др. (Симонов, 1998).

Гипсометрический анализ дает наиболее интерпретируемые результаты в отношении денудационного развития территорий и доминирующих рельефообразующих процессов и факторов. Исследования показывают, что характер статистического распределения абсолютных высот, представленный гистограммой и гипсометрической кривой, а также параметры этого распределения отражают сложный неоднородный рельеф территории, состоящий из множества морфоструктур с различным течением процессов рельефообразования. По этой причине гипсометрический анализ более эффективен при изучении отдельных геоморфологических единиц, в частности, речных бассейнов.

Обобщение многочисленных исследований позволяет форму гипсометрической кривой оценивать как показатель соотношения интенсивности денудационных процессов и вертикальных тектонических движений (Болтрамович и др., 2005). Авторы считают, что выпуклая форма гипсометрической кривой, указывает на то, что высокогорье и возвышенности занимают большую часть площади бассейна, а также на широкое распространение склоновых процессов. Вогнутая форма кривой показывает, что большую часть площади бассейна занимают низменные участки, а в бассейне доминируют флювиальные и аллювиальные процессы, линейная эрозия и другие признаки, характеризующие древние бассейны. Гипсометрическая кривая речных бассейнов, зрелых в отношении процессов денудации, имеет форму близкую к прямой линии. Также информативными являются параметры статистического распределения абсолютных высот: коэффициент вариации рассматривается как показатель расчлененности

рельефа, коэффициент эксцесса близкий к нулю свидетельствует об устойчивом равновесии рельефообразующих факторов.

Величина гипсометрического интеграла (ГИ) отражает различные стадии и условия формирования речного бассейна: величина $ГИ \leq 0,3$ описывает тектонически – стабильный, денудированный зрелый бассейн, $ГИ \geq 0,6$ соответствует молодому бассейну, испытывающему тектоническое поднятие. Рассматриваются также значения ГИ близкие к предельным: $ГИ < 0,5$, при котором доминируют диффузионные склоновые процессы и массоперенос, $ГИ > 0,5$ соответствует преобладание русловой эрозии. Общие положения, на которых основана геоморфологическая интерпретация статистического распределения высот и его параметров, детально описаны многими авторами (Симонов, 1998; Погорелов и др., 2008; Zavoianu, 1985).

Наш опыт анализа статистических данных распределения площади Армении по высотным поясам показал, что построение и содержательная интерпретация функции распределения абсолютных высот может быть наиболее достоверна для ограниченных, морфогенетически однородных площадей, отдельных морфоструктур и водосборных бассейнов (Авакян и др., 2010). Подготовленные ныне уточненные высотные данные позволяют перейти к детальным геоморфометрическим исследованиям на уровне бассейнов основных 14-и рек Армении, с обобщением результатов в виде статистик высотных отметок, их производных показателей и серии электронных карт крупного масштаба.

Вычисление и анализ морфометрических индексов речных бассейнов и строения речной сети

Количественное описание и анализ рельефа, геометрии речного бассейна и строения речной сети является одним из актуальных направлений геоморфометрии. Для описания формы речного бассейна используются индексы, построенные на различных соотношениях его длины, периметра и площади, характеризующие степень удлиненности, округлости, компактности. Рельеф бассейна, наряду с данными абсолютной высоты и ее производными, описывается также разностью максимальной высотной отметки линии водораздела и минимальной главного тальвега бассейна и отношением разности высот к длине основного русла.

Формальное количественное описание структуры речной сети основано на топологии основного водотока и его притоков, систематизированных на “порядки” или “классы” (orders) по Страйлеру (Strahler). Теория, методы и примеры исследований в данном направлении детально рассматриваются в работе Завоиану (Zavoianu, 1985). Структура речной сети характеризуется соотношением суммарной длины притоков разных классов к числу классов. Вычисляются индексы, характеризующие линейные (число классов, длина русла, средняя длина русел одного класса) и пло-

щадные (плотность речной сети и частота русел на единицу площади) структурные особенности речных бассейнов.

Величины морфометрических индексов являются показателями соотношения роли климатических и геологических факторов речных бассейнов и используются для оценки геологических условий, реконструкции истории формирования и определения стадии их развития. Теоретическое обоснование геоморфологической и геологической интерпретации величин морфометрических индексов основано на положениях и закономерностях, сформулированных в середине прошлого века Стралером (Strahler), Хортоном (Horton), Шуммом (Schumm), и использованных в детальных исследованиях ряда авторов (Bhuni a et al, 2012; Parveen et al, 2012; Lima et al, 2011; Zavoianu, 1985). В частности, для понимания стадии развития речных бассейнов используются установленные корреляционные связи между морфометрическими индексами и геологическим строением, литологическими характеристиками пород (выветриваемостью, инфильтрационной способностью), тектоническими, климатическими условиями формирования речного бассейна.

Согласно закону Хортона в зрелом речном бассейне величины суммарной площади бассейнов притоков последовательных порядков составляют возрастающую геометрическую прогрессию, что подтверждено данными многих исследований. В бассейнах, находящихся на ранней стадии своего формирования, указанная особенность строения речной сети не наблюдается. Данная количественная модель строения речных бассейнов используется для их сравнения и систематизации (Zavoianu, 1985; Погорелов и др., 2008). Индекс плотности речной сети, определяемый соотношением суммарного количества притоков к площади бассейна реки, также является эффективным количественным показателем расчлененности рельефа.

Морфометрия речных бассейнов Армении описанным выше комплексом методов не исследована вовсе. Созданные в лаборатории Геоинформатики ИГН ЦМР, позволяют восполнить этот пробел в течение ближайших лет.

Для морфометрических исследований речных бассейнов Армении актуальными являются следующие три аспекта: описание основных бассейнов наиболее информативными морфометрическими индексами и составление детальных справочных данных по этой тематике; уточнение известных и выявление новых количественных зависимостей величин индексов формы речных бассейнов, структуры речной сети от факторов и условий рельефообразования; анализ истории и условий формирования речных бассейнов и сравнительное изучение основных речных бассейнов Армении. Результаты таких исследований будут иметь важные приложения в гидрогеологии, экологии, планировании пользования природными ресурсами и др.

Морфотектонический анализ

К настоящему времени в зарубежной геоморфометрии сформировалось направление, определяемое терминами “тектоническая геоморфология” или “морфотектонический анализ”, использующее широкие возможности геоинформационных методов для выявления тектонических структур (Clarc et al, 1994; Centamore et al, 1996; Jordan et al, 2003; Seta et al, 2004; Jordan, 2005; Чернова и др., 2005).

В.П.Философов одним из первых для поиска тектонических структур обратился к морфометрии рельефа, для чего использовал связь высот рельефа и денудационно – аккумуляционных процессов с тектоническими движениями и структурами (Философов, 1975).

Одним из основных способов выявления тектонических структур с использованием морфометрии рельефа является извлечение из ЦМР морфометрических переменных, построение и интерпретация соответствующих карт, таких, как карты вершин, базисов эрозии, тальвегов различного порядка, средних высот, стандартных отклонений высот. Карта поверхности среднеквадратических отклонений трактуется как остаточный рельеф или “энергия рельефа” (Трегуб, Жаворонкин, 2000). Вершинная поверхность интерпретируется как верхний предел высот рельефа, совпадающих с наиболее древней поверхностью выравнивания или с ее останцами. По разности базисных поверхностей тальвегов смежных порядков оценивается дифференцированная скорость поднятия локальных структур. Некоторые из указанных типов карт в Армении ранее в мелком масштабе были построены и интерпретированы (Зохрабян, Геворкян, 1969). Однако этот опыт нельзя считать достаточным при современном уровне морфометрических исследований.

Широко используется также морфологический принцип реконструкции особенностей тектонических движений, основанный на представлении о том, что форма склона зависит от соотношения скорости, высоты тектонического поднятия и интенсивности эрозионного углубления долин. Считается установленным, что в зависимости от величины указанного соотношения, но при ее достаточной стабильности, склоны приобретают более или менее прямой, выпуклый или вогнутый профиль. При существенном изменении этого соотношения склоны приобретают S-образно изогнутый (выпуклый внизу, вогнутый вверх) профиль (Погорелов и др., 2008).

Аналогичным образом интерпретируются особенности формы продольных профилей долин рек, которые также рассматриваются как индикаторы процессов рельефообразования, и используются совместно с данными гипсометрии бассейнов для реконструкции условий формирования речных бассейнов. Теоретическим обоснованием такого анализа является предположение о том, что равновесный профиль реки имеет, по крайней мере, следующие две особенности: последовательное (монотонное) изменение уклона долины от устья реки до истока и форму,

приближенно описываемую ветвью параболы с вершиной в устье реки. Под равновесным понимается профиль, форма которого обусловлена экзогенными факторами и не осложнена тектоническими движениями или литологической неоднородностью строения долины. Отклонения углов наклона русла реки от теоретической последовательности, а ее формы – от теоретической кривой, рассматриваются как следствие воздействия тектонического фактора. Автором статьи исследованы продольные профили рек бассейна озера Севан, что позволило сгруппировать реки по форме профилей и показало отчетливое различие профилей рек, сформировавшихся в различных условиях (Авакян и др., 2010).

Морфометрические карты теневого рельефа, углов наклона и экспозиций склонов позволяют выявить линейные и круговые формы рельефа. Часть линейных форм совпадает с доказанными по геологическим данным или предполагаемыми тектоническими структурами. Круговые формы рельефа менее изучены, примеры их обнаружения по морфометрическим картам описаны для Крыма (Shary et. al, 2002), а также в Армении (Пилюян, Авакян, 2013). Визуально круговые формы рельефа обнаруживаются на всех перечисленных разновидностях карт, однако они наиболее наглядно выявляются на цветной карте экспозиций склонов. На такой карте цвет или интенсивность окраски показывает последовательную горизонтальную смену ориентации склонов, в целом слагающих круговую форму рельефа, а ее границы определяются линией, проходящей через точки перегиба рельефа в вертикальной плоскости, которая физически совпадает с речной долиной или водоразделом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ морфометрической изученности рельефа Армении позволил выделить приведенные ниже наиболее актуальные направления исследований на ближайшие годы.

1. Повышение качества (точности, горизонтального и вертикального разрешения) ЦМР территории Армении и ее отдельных частей, что необходимо для детализации морфометрических исследований, а также для построения крупномасштабных цифровых карт урбанизированных территорий и густонаселенных зон для решения геоэкологических задач. Составление крупномасштабных геоморфометрических электронных карт также является важной компонентой данного направления.
2. Изучение (на основе ЦМР высокого разрешения) статистического распределения абсолютных высот и его производных величин (углов наклона, экспозиций, кривизны склонов, горизонтальной и вертикальной расчлененности рельефа) в пределах геоморфологических единиц. Интерпретация результатов исследований с целью выявления особенностей рельефа и роли факторов рельефообразования, а также районирования территории РА по геомор-

фометрическим признакам с применением методов математической статистики.

3. Количественное изучение рельефа и формы водосборных бассейнов, а также структуры основных рек Армении с целью установления особенностей их развития. Составление справочника по морфометрическим индексам и показателям водосборных бассейнов изученных рек.
4. Морфотектонический анализ морфометрических карт с целью выделения и идентификации линейных морфоструктур.
5. Расширение применения морфометрических карт и закономерностей в решении научных и практических задач геоэкологии и природопользования.

Следует также отметить, что указанные направления представляются перспективными для межлабораторного сотрудничества в ИГН.

В заключение автор выражает благодарность сотрудникам лаборатории Геоинформатики А. Аракелян, Г. Ерицяну, А. Элбакян за помощь при подготовке статьи к печати, а также А. Пилюяну за предоставленную возможность использования выполненного им обзора публикаций по геоморфометрии территории Армении за 1960-ые и 1970-ые годы.

ЛИТЕРАТУРА:

- Авакян А.А., Ерицян Г.Г., Пилюян А.С.** О высотных характеристиках рельефа территории Армении и методах их вычисления на основе цифровой модели рельефа масштаба 1:200000. Известия НАН РА, Науки о Земле, 2010, №3, с. 48-58.
- Авакян А.А., Ерицян А.Г., Пилюян А.С.** Опыт исследования продольных профилей рек бассейна озера Севан как индикаторов новейших процессов рельефообразования. В кн.: "Геоморфологические процессы и их прикладные аспекты", VI Шукинские чтения – Труды. Географический факультет МГУ, М., 2010, с. 27 – 28.
- Болтрамович С.Ф., Жиров А.И., Ласточкин А.Н. и др.** Геоморфология. М., Изд. Центр "Академия", 2005, 528 с.
- Геворкян Ф. С.** Морфологический анализ погребенных морфоструктур западной части Араратской котловины. Известия АН Армянской ССР, Науки о Земле, 1975, № 5, с. 49–60.
- Ерицян Г.Г.** Сравнение цифровых моделей рельефа, полученных с топографических карт масштаба 1:50000, 1:100000 и 1:200000 с ЦМР SRTM. Известия НАН РА, Науки о Земле, 2013, №1-2, с. 48-58.
- Зограбян Л. Н.** О геоморфологических исследованиях в Армянской ССР. Известия АН Армянской ССР, Науки о Земле, 1975, №2, с. 50–55.
- Зограбян Л. Н. Геворкян Ф. С.** «Энергия рельефа», ее картирование и значение в процессе эрозии. Известия АН Армянской ССР, Науки о Земле, 1969, № 4, с. 80–86.
- Кошкарёв А.В., Мерзлякова Н.А., Чеснокова И.В.** Географические информационные системы в эколого-геоморфологических приложениях. Геоморфология, 2002, №2, с. 68-79.
- Ласточкин А.Н.** Идеология традиционного и современного (морфодинамического) геоморфологического картографирования. В кн.: "Геоморфология и картография", Материалы XXXIII Пленума Геоморфологической комиссии РАН, Саратов, Изд-во Саратов. Ун-та, 2013, с. 23-28.
- Погорелов А.В., Думит Ж.А., Куркина Е. В.** О расчете некоторых морфометрических показателей Земной поверхности в бассейне р. Кубани по данным спутниковых снимков. Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. 2008, № 4 (17), с. 10-16.
- Погосян Д. А.** О составлении карты эрозионного коэффициента территории Армянской ССР. Известия АН Армянской ССР. Науки о Земле, 1971, № 6, с. 80–84.

- Погосян Д. А.** О составлении комплексной морфометрической карты рельефа Армянской ССР. Известия АН Армянской ССР. Науки о Земле, 1974, №2, с. 79–84.
- Симонов Ю.Г.** Морфометрический анализ рельефа. Изд. Смоленского гуманитарного университета, 1998, 271с.
- Трегуб А.И., Жаворонкин О.В.** Морфометрия современной земной поверхности и тектоническая структура территории ВКМ. Вестник Воронежского у-нта, Сер.Геол., 2000, вып. № 8, с.19-26.
- Философов В.П.** Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. Саратов, 1975, 232 с.
- Чернова И.Ю., Хасанов Д.И., Бильданов Р.Р., Каширина Т.С., и др.** Обнаружение и исследование зон новейших движений земной коры инструментами ГИС. Arc Review. 2005, №1(32), с. 6-7.
- Bhunja G.S., Samanta S., Pal B.** Quantitative analysis of relief characteristics using space technology. International Journal of Physical and Social Sciences, Vol.2, Issue 8, August 2012, p. 350-365.
- Centamore E., Ciccacci S.** Morphological and Morphometric approaches to the study of the structural arrangement of the North – Eastern Abruzzo (Central Italy). Geomorphology, 1996, v.16, p.127-137.
- Clark C.D., Wilson C.** Spatial analysis of lineaments. Computer and Geoscience. 1994, v.20, p.1237-1258.
- Geomorphometry. Concepts, Software, Applications. Edited by T.Hengl and H.I.Reuter. ELSEVIER, Amsterdam, 2009, 763p.
- Jordan G.** Terrain Modeling with GIS framework for morphotectonic Analysis – a case study. Proceeding 4th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems. Bologna, Italy. Procc., 2003, v.2, p.516-519.
- Jordan G., Meijninger B.M.L.** Extraction of morphotectonic features from DEMs: Development and applications for study areas in Hungary and NW Greece. International J. Applied Earth Observation and Geoinformation, 2005, v.7, p.163-182.
- Lima C. S., Corrêa A.C., Nascimento N. R.** Analysis of the morphometric parameters of the Rio Preto basin, Serra do Espinhaço (Minas Gerais, Brazil). São Paulo, UNESP, Geociência, 2011, v. 30, n. 1, p. 105-112.
- Parveen R., Kumar U., Singh V.K.** Geomorphometric Characterization of Upper South Koel Basin, Jharkhand: A Remote Sensing & GIS Approach. Journal of Water Resource and Protection, doi:10.4236/jwarp.2012.412120 Published Online December 2012 (<http://www.SciRP.org/journal/jwarp>). 2012, №4, p. 1042-1050.
- Piloyan A., Avagyan A.** Circular features of Armenia. In: “Geoinformation Monitoring of Environment: GNSS and GIS Technologies”. 18-th International Scientific and Technical Simposim, Alushta (Ukraine, Crimea), 2013, Sept. 10-15, p. 67-69.
- Seta M.D., Monte M.D., Fredi P., Palmeri E.L.** Quantitative morphotectonic analysis as a tool for detecting deformation pattern in self- rock terrians: a case study from the southern Marches, Italy. Geomorphologie: relief, processus, environment., 2004, v.4, p. 267-284.
- Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V.** Fundamental quantitative methods of land surface analysis. Geoderma, 2002, v.107, №1-2. p. 1-32.
- Zavoianu I.** Morphometry of drainage basins. Editora Academiei Bucharest: Elsevier, 1985, 238 p.

Рецензент В. Бойнагрян

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՌԵԼԻԵՖԻ ՁԵՎԱԶՄՓԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎԻՃԱԿԸ ԵՎ ԱՐԴԻԱԿԱՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԸ

Ա.Ա. Ավագյան

Ամփոփում

Հոդվածում ներկայացվում են Հայաստանի ռելիեֆի ձևաչափական (երկրաձևաչափական) ուսումնասիրությունների զարգացման փուլերը և պայմանները, ինչպես նաև առ այսօր ստացված կարևոր արդյունք-

ները: Նախահամակարգչային փուլում կատարվել է մեծ ծավալի աշխատանք. հաշվարկվել են երկրաձևաչափական ցուցանիշներ և գործակիցներ, կազմվել են լանջերի թեքությունների, կողմնադրությունների, ռելիեֆի էներգիայի, հորիզոնական և ուղղաձիգ կտրտվածության և այլ բովանդակության քարտեզներ: Այդ քարտեզների տվյալներով կատարվել է նաև ՀՀ տարածքի շրջանացում ըստ գյուղատնտեսական օգտագործման նպաստավորության աստիճանի: Սակայն այն ժամանակաշրջանում հնարավոր է եղել կազմել միայն ցածր լուծելիության (1կմ x1կմ) և փոքր մասշտաբի քարտեզներ:

1990-ական թվականներից սկսված համակարգիչների և ԱՏՀ մեթոդների տարածման շնորհիվ հնարավոր եղավ ստեղծել միջին և, այնուհետև, մեծ լուծելիության (100մx100մ մինչև 30մx24մ) ՀՀ ռելիեֆի թվային մոդելներ (ՌԹՄ), 1:100 000 և ավելի մեծ մասշտաբի երկրաձևաչափական քարտեզներ, իրականացնել ՀՀ տարածքի բարձրությունների և նրանց ածանցյալ մեծությունների (լանջերի թեքությունների, դիրքադրությունների, կորությունների) վիճակագրական վերլուծություն: Այժմ ԵԳԻ Երկրատեղեկատվության լաբորատորիայի կողմից ստեղծված ՌԹՄ և մշակված մեթոդները թույլ են տալիս սահմանել և մոտակա տարիների ընթացքում լուծել երկրաձևաչափության ժամանակակից ուղղությունները ներկայացնող հետևյալ, Հայաստանի համար արդիական, խնդիրները. 1. ՀՀ տարածքի ՌԹՄ որակի՝ ճշտության և լուծելիության շարունակական բարձրացում, երկրաձևաչափական քարտեզների մասշտաբի մեծացում, 2. բացարձակ բարձրությունների և դրանց ածանցյալ երկրաձևաչափական փոփոխականների վիճակագրական վերլուծություն՝ ռելիեֆագոյացման պրոցեսների պարզաբանման և երկրաձևաչափական միավորների տարանջատման նպատակով, 3. ՀՀ գլխավոր գետավազանների երկրաձևաչափական ինդեքսների և գործակիցների հաշվարկում, վիճակագրական տեղեկատուի կազմում, գետավազանների համեմատական ուսումնասիրություն և համակարգում, 4. մորֆոկառուցվածքների տարանջատում երկրաձևաչափական քարտեզների մորֆոտեկտոնական վերլուծության եղանակով, 5. երկրակառուցիչի և բնական ռեսուրսների օգտագործման տեսական և գործնական խնդիրներում երկրաձևաչափական քարտեզների և օրինաչափությունների կիրառման ընդլայնում:

CURRENT STATE AND OBJECTIVES OF GEOMORPHOMETRIC RESEARCH IN ARMENIA

A.A. Avagyan

Abstract

This article discusses the stages, the conditions of development, and the results of the geomorphometric study of relief of Armenia. Before the introduction of computers and modern methods of geodata processing, a number of

important morphometric studies were implemented, such as mapping of morphometric variables and zoning of territory of Armenia for morphogenetic and agricultural applications. But all of these researches were carried out at a smaller scale and low resolution (1km x 1km).

Since 1990s, because of availability of computers and GIS technology, as well as remote sensing data, it has become possible to create DEMs and morphometric maps (slopes, aspects, and curvatures) at 1:100000 and larger scales with varying resolution (100x100m up to 30mx24m).

The article deals with the current state of geomorphometric research in the country mainly based on the experience of Geoinformatics Laboratory and other specialists of IGS of NAS. Analysis of the achievements and gaps of foreign and local scientists on current geomorphometry studies has been carried out and the following main objectives of quantitative study of relief are defined for the coming year in Armenia: 1. Improvement of the quality (accuracy, horizontal, and vertical resolution) of DEM of Armenia and its parts for detailed morphometric studies and large-scale morphometric mapping of urbanized and densely populated areas to address the geo-ecological objectives; 2. Study of statistical distribution of earth surface elevations and its derivative morphometric parameters in order to identify terrain features and processes of relief formation for territory of Armenia; Consistent increase of scale of slopes, aspects, curvatures mapping, and statistical analysis of the distribution of these variables within river basins and other geomorphological units; Delineation of areas according to geomorphometric characteristics using mathematical statistics methods; 3. Calculation of morphometric indices and ratios for major river basins of Armenia, analysis of their geological formation and classification by morphometric variables, compilation of a handbook. 4. Morphotectonic analysis of earth surface for identification and delineation of linear and circular morphostructures; 5. Application of geomorphometric methods in land use, management of water and other natural resources, analysis and evaluation of geo-environmental hazards and natural hazards.

It should be noted that the development of geomorphometric studies may be spurred by establishment of spatial data infrastructure (SDI), which will integrate spatial data and software processing services in a network environment.