

**МЕТОД И РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ФОРМ
РЕЛЬЕФА ПО ДАННЫМ АНАЛИЗА ЦМР НА ПРИМЕРЕ
ЛЕВОБОЕРЕЖЬЯ БАССЕЙНА СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ АРАКС**

Авакян А.А.¹, Улоян А.Р.¹, Бойнагрян В.Р.², Тарасян Н.А.¹

DOI: 10.54503/0515-961X-2022.75.2-29

¹ *Институт геологических наук НАН РА
0019 Ереван, пр. Маршала Баграмяна 24а
e-mail: arshavir.avagyan@gmail.com*

² *Ереванский государственный университет
0025, Ереван, ул. Алека Манукяна 1
e-mail: vboynagryan@ysu.am
Поступила в редакцию 27.03.22*

В статье представлен метод анализа цифровой модели рельефа (ЦМР) и выделения региональных линейных морфологических единиц рельефа (морфографических линеаментов, linear morphological feature). Метод построен на последовательности следующих процедур: (1) выделение линейных элементов рельефа по формальным морфометрическим признакам, извлеченным из ЦМР, (2) геоморфологическая идентификация выделенных линейных элементов или определение линейных форм рельефа, (3) структурная идентификация выделенных линейных форм рельефа или обоснование их принадлежности к морфоструктурам по геологическим признакам и по данным опубликованных работ. Применение формальных операций обеспечивает объективность выделения линейных форм рельефа, исключая ошибки, присущие визуальным решениям. Описанным методом исследована левобережная часть Приараксинской геоморфологической зоны, где выделены линейные формы рельефа, принадлежность которых к морфоструктурам определена геоморфологическими, структурными и иными геологическими признаками. Выявлено сложное строение крупных морфоструктур, имеющих кавказское простирание СЗ 310⁰-320⁰.

Ключевые слова: морфометрия рельефа, цифровая модель рельефа, линейные формы рельефа, морфоструктуры, линеаменты.

Введение

При морфометрических исследованиях рельефа на территории Армении, наряду с описанными ранее кольцевыми структурами (Piloan, Avagyan, 2016), были установлены также системы линейных геоморфологических элементов, детальные исследования которых будет иметь важное значение для понимания сложной геометрии рельефа Армении и процессов ее возникновения. Целью данной статьи является описание разработанного авторами метода выделения линейных геоморфологических структур и представление результатов применения этого метода на изу-

ченной территории. Полученные новые научные данные о строении и пространственных взаимоотношениях известных и вновь выявленных морфоструктур представлены в статье и обобщены в ее заключении. Исследование выполнено на ограниченной территории, определяемой как левобережная часть Приараксинской геоморфологической области (Зограбян, 1979). Метод исследования составлен авторами статьи с использованием большого опыта исследователей, публикации которых рассмотрены ниже.

Анализ цифровой модели рельефа (ЦМР) является эффективным методом геоморфометрии, имеет многообразные приложения, детальный обзор которых выполнен Денгом (Deng, 2007). Теоретические основы анализа ЦМР и методические подходы к его приложению непрерывно совершенствуются. Одним из актуальных приложений является «морфотектонический анализ рельефа» (Grohmann et al., 2007; Sboras et al., 2010; Clauzionor et al., 2007; Jelínek, 2008; Lone, 2017; Della Seta et al., 2004; Urbano et al., 2017), который определяется также как «тектоническая геоморфология (или геоморфометрия)» и представляется как интеграция структурной геологии, геоморфологии и анализа ЦМР (Jordan et al., 2005). Одной из ключевых задач в указанной области является выделение морфоструктур по данным ЦМР. В публикациях, посвященных этому вопросу, авторы преследуя одну и ту же цель – установление тектонически контролируемых форм рельефа, используют различную по форме и содержанию морфометрическую информацию и различные методы анализа, обобщение которых приведено ниже.

А) Анализ ЦМР методом дифференциальной геометрии, при котором рассматриваются карты теневого рельефа, углов наклона и экспозиций склонов (Clauzionor et al., 2007; Jelínek, 2008; Pareta, Pareta, 2011; Grohmann et al., 2007; Jordan et al., 2005).

Б) Составление и анализ карты структурных или т.н. скелетных элементов рельефа – таких, как выровненные гребни и поверхности выравнивания, горные вершины, седловины, тальвеги различного порядка, базисы эрозии. Метод включает топологический анализ – определение пространственных взаимоотношений каркасных элементов рельефа, связанных с их тектоническим происхождением (Ласточкин, 2013), включая взаимопересекающиеся и однонаправленные серии структур, а также построение рисунка структуры рельефа (Silva, Morales et al., 2007; Jordan et al., 2005; Ласточкин, 2013; Clauzionor et al., 2007). При этом учитывается также наличие прямолинейных одинаково ориентированных отрезков речных долин, наличие сети долин с резкими изменениями их направлений (Jelínek, 2008; Suryawanshi, Golekar, 2014; Radaideh Omar, Grasemann et al., 2016; Grohmann et al., 2007), служащие признаками тектонически контролируемой морфологии речных долин.

Методы реализации данного подхода объединяются под общим названием «цифровой анализ дренажной сети» (digital drainage network analysis).

В) Структурно-статистический анализ формы речных бассейнов, формы и строения речной сети, использующий геоморфометрические индексы, включая показатели удлиненности и асимметрии, форму гипсометрической кривой и величину гипсометрического интеграла водосборного бассейна, а также коэффициенты бифуркации и извилистости, соотношение ширины и длины, коэффициент удлинения речных русел (Mandi, Soren, 2016; Sboras et al., 2010; Lone, 2017; Sharma et al., 2018, Dar et al., 2013).

Для анализа ЦМР используются различные комбинации множества описанных выше операций. Достаточно универсальным представляется алгоритм выделения линейных элементов рельефа, составленный совокупностью последовательно выполняемых операций (Jordan et al., 2005). Алгоритм включает следующие методы анализа ЦМР: визуальный анализ ЦМР, метод производных высот рельефа, цифровой анализ строения речной сети и формы речного бассейна, многомерный анализ ГИС-методами геологических критериев определяющих генезис выделенных геоморфологических структур, обработка (статистическая и фильтрация) цифровых (растровых) изображений.

При реализации описанных методов анализ рельефа в той или иной степени формализуется, вплоть до полной автоматизации процедуры выделения линеаментов (Ling et al., 2018; Chun Xue et al., 2013, Chandrasiri, Henkel, 2010).

Широко используются методы морфометрического анализа ЦМР, доступные в таких программах как Surfer, ArcGIS, Grass (Jelínek et al., 2013; Udhi, Arum, 2016). Преимущество формальных методов заключается в получении объективных результатов. Однако, опыт применения приложений ArcGIS, PCI Geomatica показывает, что достаточная точность таких моделей может быть обеспечена только при условии применения оптимальных входных параметров программных приложений (Kusák, Krbcová, 2017), которые напрямую или косвенно влияют на окончательные результаты – на форму и количество выделенных линеаментов. По указанной причине практически также применение частичной автоматизации выделения линеаментов, с последующим неформальным корректированием пространственных свойств выделенных структур.

Морфометрический анализ рельефа Армении проводился одним из авторов данной статьи с целью изучения кольцевых структур (Piloyan, Avagyan, 2016). Тогда же были выявлены линейные формы рельефа, однако эти результаты не были опубликованы. Рассматриваемому вопросу также посвящена публикация, в которой авторы описывают выделенные ими линейные и кольцевые структуры в бассейне р. Арпа (Напетян и др., 2018). Вопросу о формах проявления активных разломов в рельефе территории Армении посвящены детальные исследования А.В. Авагяна, выполненные с позиций геодинамики и кинематики разрывных движений (Авагян, 2019):

Данные исследования

В качестве исходных данных были рассмотрены доступные в интернете ЦМР следующих международных программ: Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER/GDEM), Advanced Land Observing Satellite (ALOS AW3D30). Пространственное разрешение указанных ЦМР равно одной дуговой секунде, линейный размер которой на территории Армении равен 24м. Исходя из этого, для построения морфометрических карт размеры грид-ячейки выбраны равными 24м x 24м.

Вертикальная точность ЦМР оценивается равной: SRTM - до 9м (Rodriguez et al., 2006), ASTER/GDEM - до 13м (Tachikawa et al., 2011), ALOS - до 5м (Takaku et al., 2016). Последняя ЦМР, как наиболее точная, была использована в данном исследовании.

Визуальные процедуры анализа выполнены по морфометрическим картам масштаба 1:100000, обычно используемого при региональных исследованиях подобных данному. При этом были учтены возможные искажения морфометрической модели и характеристик рельефа, таких как соотношение доли пологих и крутых склонов (Claessens et al., 2005), сглаживание сравнительно небольших деталей и других погрешностей (Wood, 1996; Albani et al., 2004; Hury et al., 2004; Roecker and Thompson, 2010). Выбранный масштаб позволил выявить как крупные протяженные морфологические единицы, так и небольшие элементы рельефа протяженностью 10-20км.

Методика исследования

Методика исследования составлена с учетом описанного выше опыта авторов, выполнявших морфометрический анализ рельефа, включая анализ дифференциальной геометрии рельефа, карты структурных элементов рельефа и структурный анализ строения речной сети. В частности, использована наиболее обобщенная схема анализа ЦМР и выделения линейных элементов, разработанная группой авторов (Jordan et al., 2005). Как показали наши исследования, для выделения протяженных региональных линейных морфологических структур достаточно эффективной является следующая схема анализа, использованная в данной работе:

1. Выбор и обоснование исходных данных для построения ЦМР.

2. Статистический анализ экспозиций склонов, определение преобладающих (и обратных по отношению к ним) экспозиций, идентификация соответствующих им форм рельефа и интерпретация очевидных отклонений от теоретического распределения.

3. Анализ карты экспозиций склонов (основная процедура выделения линейных элементов рельефа), в результате которой устанавливается пространственное положение сопряженных участков (склонов) рельефа, имеющих противоположные друг другу экспозиции. Смысл данного ана-

лиза основан на том, что линейные формы рельефа на карте экспозиций геометрически выражаются в виде линий соединения таких участков. Физически такие линии являются линиями перегиба земной поверхности (slope bend line), образующей положительные формы рельефа (в случае схождения склонов, имеющих противоположные экспозиции) или – отрицательные (при расхождении таких же склонов) (рис. 1). Линейные элементы рельефа, возникающие при существенном изменении угла наклона склона (ограничения террас) в данной статье не рассматриваются ввиду недостаточного вертикального разрешения ЦМР.

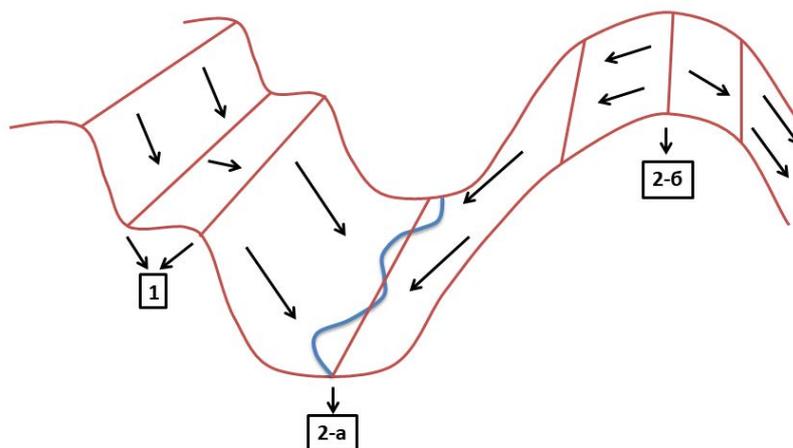


Рис. 1. Формальная модель линейных элементов рельефа:

1. линии, образованные резким изменением угла наклона склона (ограничения террас),
 2. линии перегиба земной поверхности (slope bend lines): а) при схождении экспозиций склонов (отрицательная форма рельефа), б) при расхождении экспозиций склонов (положительная форма рельефа).

4. Геоморфологическая идентификация выделенных линейных элементов выполнена с целью определения их соответствия реальным формам рельефа – речным руслам, террасам, водораздельным линиям.

5. Структурная идентификация установленных линейных форм рельефа – их определение как возможных морфоструктур по ряду геологических признаков. С этой целью составлены цифровые слои разломной тектоники (по данным карт Э.В. Ананяна, О.А. Саргсяна и опубликованным данным), а также эпицентров сильных землетрясений, рудных месторождений, бассейнов и родников подземных вод. Были использованы также специфичные структуры речной сети – резкое изменение направления русел рек, ортогональное расположение притоков рек относительно основных русел.

Территория исследования

Территория исследования выбрана исходя из опыта проведенного ранее морфометрического анализе ЦМР территории Армении, при кото-

ром, наряду с выделенными здесь кольцевыми структурами (Piloan, Avagyan, 2016), визуально были установлены отдельные линейные формы рельефа и их системы, требующие детального рассмотрения для полного представления общего структурного плана рельефа.

Изученная территория ограничена с северо-запада Вохчабердским хребтом, с северо-востока и востока - Гегамским, Вардениским, Зангезурским и Мегринским хребтами, с юго-востока - рекой Аракс, и включает также территорию Нахичеванской АР. Территория в геоморфологическом районировании Армении выделяется как левобережная часть единой области Приараксинских хребтов (Зограбян, 1979). Автор считает, что характерный структурный план рельефа создается системой взаимно параллельных морфографических линеаментов, представленных эрозионными или эрозионно-структурными горными хребтами и речными долинами, развивающимися по узким структурным котловинам (Зограбян, 1979). Изученная территория протягивается в юго-восточном направлении примерно на 210км, в том же направлении она расширяется от 25км до 90км на юге (рис.2). Здесь установлены системы разломов как северо-западного (кавказского) направления, так и северо-восточного (антикавказского, поперечного) и субмеридионального направления. При этом часть из них выделена по факту отчетливого проявления в рельефе (Габриелян и др., 1981, рис. 28 - схема разломов).

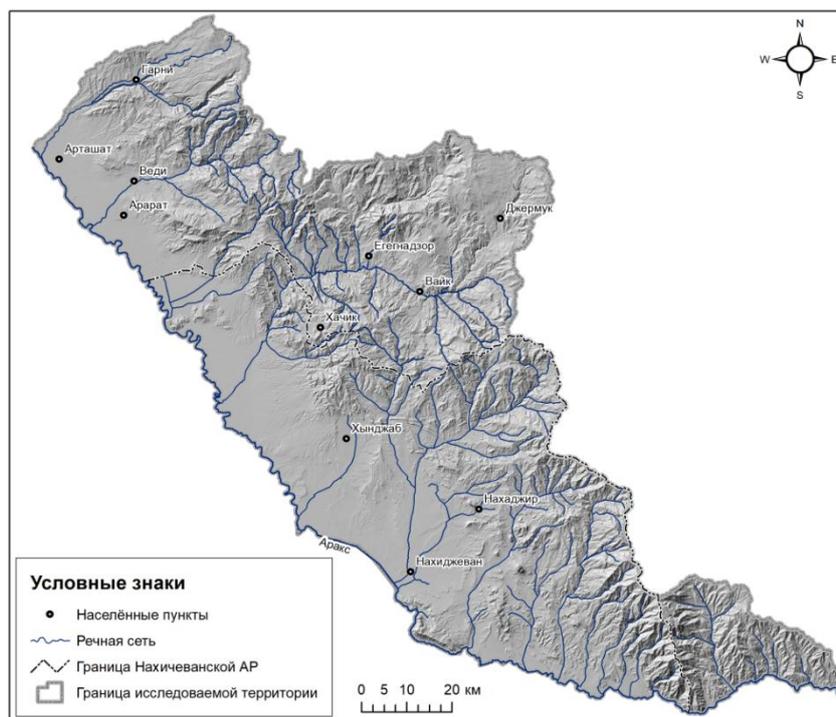


Рис. 2. Изученная территория, теневой рельеф.

Обсуждение результатов исследования

Результаты исследования представлены ниже в последовательности выполнения основных процедур метода исследования.

1. Статистический анализ распределения изученной площади по экспозициям склонов выполнен с целью выявления характерных особенностей строения рельефа. Для этой цели вся площадь была разделена на элементарные участки (грид ячейки) размером 24м x 24м, затем было вычислено их распределение по интервалам азимутов экспозиций равным 5° (рис.3). Статистическое распределение экспозиций интерпретировано на основе логической модели рельефообразования (рис.1), по которой должны превалировать экспозиции, соответствующие общей региональной ориентации эрозионного склона. В то же время поверхности с экспозицией обратной общему наклону склона будут занимать, по крайней мере, минимальную площадь. Существование значительной площади с «обратной» или близкой к ней экспозицией интерпретируется как наличие в рельефе линейных морфоструктур с соответствующим простиранием.

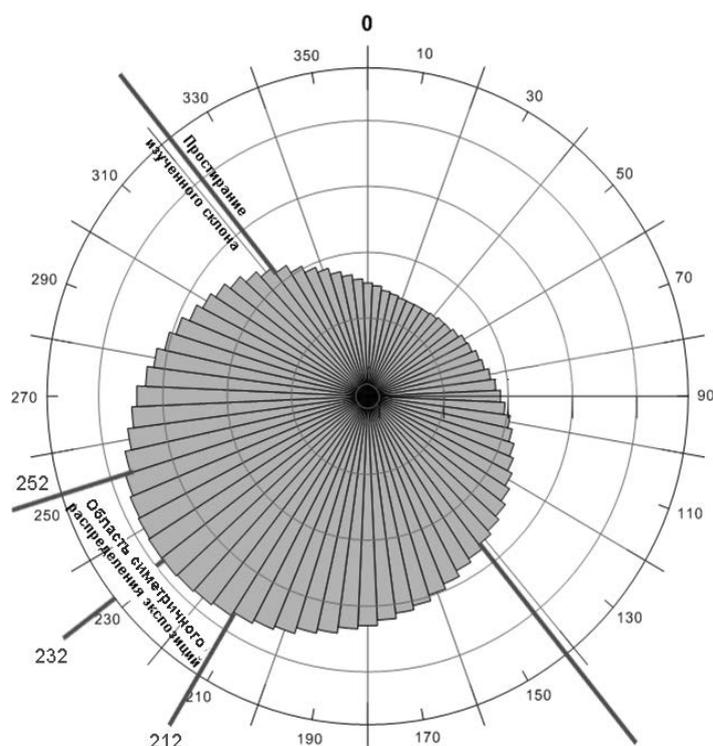


Рис.3. Диаграмма распределения экспозиций склонов изученной территории по интервалам азимутов в 2° (в процентах).

Изученный склон вдоль реки Аракс протягивается в направлении на ЮВ 142° на расстояние 135км, до р. Нахичеван-чай, затем – на ЮВ 105° на расстояние 67км и далее – на В 84° на расстояние 30км. В соответствии с

вышеописанной моделью и указанными направлениями следует ожидать преобладание экспозиций нормальных к направлению протяженности склона, т.е. ЮЗ 232⁰. В меньшей, но в сравнимой степени ожидаемы экспозиции ЮЗ 195⁰ и ЮВ 174⁰, соответствующие ориентациям склонов в южной части исследованной территории.

Наблюдаемые в реальности преобладающие экспозиции с высокой точностью совпадают с ожидаемым максимумом распределения экспозиций (ЮЗ 232⁰), с симметричным разбросом относительно этой величины – в диапазоне азимутов от ЮЗ 215⁰ (max - 17⁰) до ЮЗ 250⁰ (max + 18⁰) (рис. 3). В этих пределах ориентировано более 16%, а в каждом интервале в 5⁰ – не менее 2% изученной площади. Таким образом, установленные преобладающие экспозиции соответствуют общей ориентации изученной территории.

Минимальную площадь занимают склоны с экспозициями в пределах азимутов СВ 15⁰ - СВ 30⁰. В этом диапазоне каждому интервалу азимутов в 5⁰ соответствует около 0.8%, а всем интервалам вместе - 2,4% изученной площади. Отметим, что эти экспозиции не являются —обратными” по отношению к превалирующим СЗ 225⁰-235⁰.

Поверхности с —обратной” экспозицией по отношению к общей ориентации склона (СВ 52⁰) занимают большую площадь, чем наблюдаемый минимум, что возможно лишь при наличии морфоструктур с простираанием СЗ 320⁰ - ЮВ 140⁰ и с близкими к ним азимутами простираания. Таким образом, анализ распределения экспозиций позволяет предположить наличие морфоструктур и определять вероятный азимут их простираания. Также можно считать, что в общем случае по соотношению площадей склонов с превалирующей и —обратной” экспозициями можно судить о степени влияния тектонических факторов на процесс рельефообразования.

Отметим также другие особенности распределения экспозиций, отражающие строение рельефа.

Как отмечено выше, наблюдается строго симметричное распределение азимутов относительно превалирующей экспозиции, соответствующей общей ориентации территории. Симметричное распределение произвольной природной характеристики относительно ее максимума соответствует случайным процессам, протекающим в отсутствие направленных факторов. Наблюдаемая особенность распределения экспозиций характеризует склоны с преобладающим развитием эрозионных процессов.

За пределами области симметричного разброса, по мере удаления от нее, наблюдается постепенное увеличение ассиметрии распределения экспозиций, при которой поверхности с восточной экспозицией занимают большую площадь, чем поверхности с западными и юго-западными экспозициями. Преобладание восточных экспозиций частично обусловлено изменением простираания (отклонением к северу) восточного окончания изученной территории. Возможной причиной отмеченной особенности распределения экспозиций может быть также ассиметрия формы бас-

сейнов рек Азат, Веди, Арпа, Нахичеван-чай, западные борта которых имеют большую площадь по сравнению с восточными.

2. Анализ карты экспозиций склонов, выделение и идентификация линейных форм рельефа.

Анализом упомянутой карты выделены линии перегиба рельефа, геометрически представляющие оси положительных или отрицательных элементов рельефа. С целью геоморфологической идентификации выделенных линейных элементов выполнено их сопоставление в пространстве (наложением цифровых слоев) с двумя типами структурных точек рельефа – локальными максимумами, в совокупности слагающими гребни горных хребтов, и локальными минимумами, составляющими тальвеги речной сети. Цифровые карты структурных точек рельефа составлены по алгоритму, основанному на методе расчета индекса топографической позиции (Guisan et al., 1999).

Структурная идентификация выделенных линейных форм рельефа является завершающим шагом для их отнесения к морфоструктурам. Для такой оценки привлечены критерии пространственного совпадения положения линейных форм рельефа с особыми гидрологическими линиями и узлами (ортогональными притоками рек, резкими изменениями направления тальвегов), пространственная близость к ним вулканических аппаратов, эпицентров землетрясений, рудных месторождений и проявлений. Выделенные нами линейные формы рельефа сверены также с опубликованными данными и рукописными тектоническими картами.

Ниже описаны наиболее крупные и протяженные линейные элементы и их системы, морфологически и структурно идентифицированные как линеаменты.

2.1. Наиболее протяженная система линейных элементов рельефа на изученной территории протягивается на расстояние примерно 140 км, и имеет простирание СЗ 315°. Она прослежена начиная с западной границы исследованной территории – в районе с. Гарни, однако проявлена и за ее западными пределами. Система имеет сложное строение - состоит из выдержанного по простиранию отрицательного линейного элемента и, параллельной ему, серии прерывистых кулисообразно расположенных положительных и отрицательных линейных элементов. Ширина и строение системы по простиранию изменчивы (рис.4). На левобережьи р. Азат система образована двумя выдержанными линейными элементами – положительной и отрицательной. Здесь ее наиболее узкая часть имеет ширину порядка 1 км и проявлена в месте слияния рек Гохт и Воскеджур, образующих р. Азат. Далее по простиранию система постепенно расширяется, и в долине р. Веди достигает ширины 8 км, затем строение и ширина системы сохраняются до русла р. Арпа. На левобережье р. Арпа, в пределах выделенной ранее кольцевой структуры (Pilouan, Avagyan, 2016), строение системы заметно изменяется. Здесь линейные элементы, слагающие систему, заметно ограничены по длине, а сама система имеет меньшую ширину, но ее направление в целом сохраняется. Южнее, за

пределами кольцевой структуры, строение системы восстанавливается и выдерживается до р. Нахичеван-чай. На левом берегу этой реки система проявляется значительно слабее – в виде одной пары линейных форм рельефа и прослеживается еще на протяжении около 20км, до р. Ахинджа-чай, где отклоняется к северу и в своем окончании приобретает близширотное простираение.

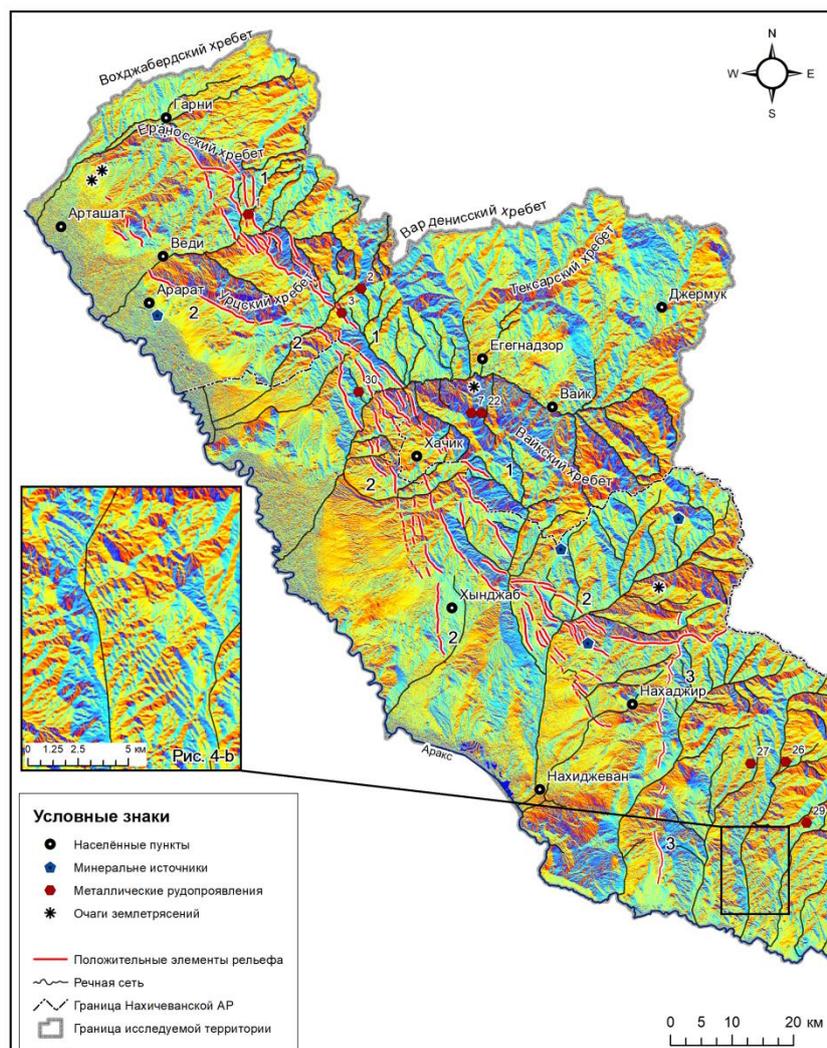


Рис.4. Карта экспозиций склонов изученной территории с выявленными линейными формами рельефа. Масштаб 1:100.000 (уменьшено).

2.1.1. Геоморфологическая идентификация системы.

Описанная система линейных элементов физически представляет собой зону, составленную совокупностью взаимно параллельных линейных форм рельефа-речных долин и коротких хребтов или их отрогов. На

всем протяжении зоны отчетливо и практически без прерываний проявляется ее северное ограничение, проходящее через с. Гарни, которое затем составлено средним течением реки Воскеджур (имеющей в этой части СЗ направление), и далее составлено долинами ортогональных притоков рек в следующей последовательности: приток Армик (р. Веди), притоки Елпин и Гнишик (р. Арпа) и приток Джаук (р. Нахичеван). Сочетание двух наблюдаемых фактов: ортогонального расположения притоков различных рек к основному руслу и их нахождения на одной прямой является общепризнанным критерием того, что они совместно составляют единую линейную морфоструктуру.

Вдоль описанной линейной морфоструктуры, полосой переменной ширины, с СЗ на ЮВ последовательно располагаются горные хребты, их отдельные части и отроги (рис.5): центральная часть Ераносского хребта (1), его отроги направленные на Ю-ЮВ (2-5), гора Хосровасар и его западные склоны (6-8), отроги Урцского хребта на левобережье р. Веди (9-13), непротяженные хребты в междуречьи рр. Армик и Азизкенд (14, 15), отроги Урцского хребта на правобережье р. Арацогет (16, 17), отроги Урцского хребта, проходящие на северо-востоке (18, 19, 20), и с юго-востока (21-26) перевала Тух-Манук на правобережье р. Арпа, отроги Вайкского хребта, параллельно протянутые с левой стороны р. Гнишик (27, 28, 29), юго-восточный отрог Вайкского хребта (30).

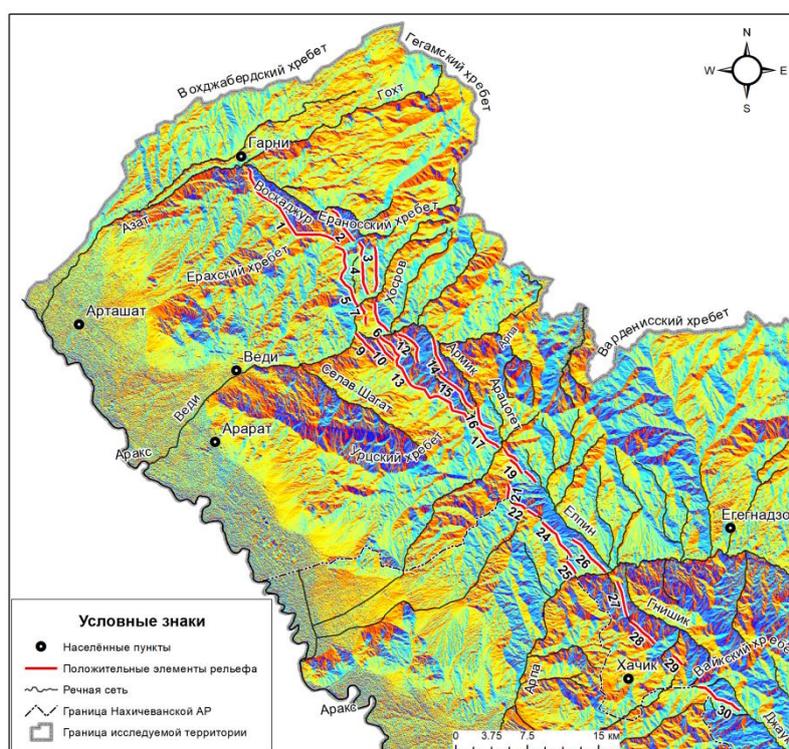


Рис.5. Геоморфологическая идентификация линейных форм рельефа северо-западной части исследованной территории. Номера на карте соответствуют описанию в тексте.

2.1.2. Описанная выше линейная морфоструктура, представляющая собой северное ограничение выделенной нами зоны, ранее описана как —наиболее крупное тектоническое нарушение” в Приараксинской геоморфологической зоне (Габриелян и др, 1981). В той же работе на схематической карте разломов (рис.28) данная морфоструктура авторами представлена как глубинный разлом, установленный по геофизическим данным. Эта же морфоструктура на более поздней рукописной тектонической карте Армении (автор Э.В. Ананян) показана в виде двух разобщенных в пространстве разрывных структур. К описываемой зоне пространственно приурочены эпицентры исторических землетрясений и многочисленные рудопроявления: ртути (1, 3), молибдена (2, 26, 29), марганца (7), полиметаллов (22, 27), меди (25, 28), а также источники минеральных вод (рис.4).

2.2. Вторая по протяженности система линейных элементов рельефа, обнаруженная на изученной территории, имеет дугообразную конфигурацию и общую протяженность более 70км (рис.4). Ее западная часть проявляется на правом берегу р. Веди, где составлена тремя взаимно параллельными линейными элементами с общим направлением на г. Веди. Эта часть системы детально описана А.В. Авагяном как система тектонических блоков и разрывных нарушений (Авагян, 2019). Средний по положению элемент рельефа прослеживается по линии г. Веди – с. Двин и далее на СЗ. На восточном склоне центральной части Урцского хребта и далее в восточном направлении (В-ЮВ 87°), описываемая система прослеживается на расстоянии примерно 40км, затем вблизи с. Зангакакатун, в водораздельной части между бассейнами рек Арацогет и Арпа смыкается с описанной выше системой (см. 2.1). Обе системы совместно на протяжении 22км образуют единую зону, составленную взаимно параллельными, прерывистыми по простиранию положительными и отрицательными формами рельефа. Общая ширина зоны двух линейных систем в долине р. Арпа достигает порядка 12км. Вблизи с. Хачик описываемая система (2.2) меняет направление, отделяясь от системы 2.1, и делится на две ветви, из которых – южная ветвь, меняя направление до близ меридионального (СЗ 345°), в виде гряды невысоких гор протягивается на юг от Вайкского хребта более, чем на 30км до нахиджеванского села Хынджаб. Северная ветвь проходит юго-восточнее с. Хачик в направлении среднего течения р. Джаук (СЗ 326°), затем, в свою очередь, вблизи среднего течения р. Нахичеван-чай, делится на две ветви, из которых южная ветвь протягивается примерно на 30км в том же направлении до нахиджеванского села Нахаджир. Северная ветвь, представленная отрогом Зангезурского хребта, протягивается в восточном направлении.

2.2.1. Геоморфологическая идентификация системы.

На левобережье р. Веди система отчетливо ограничивается с севера руслом притока р. Веди - Селав-Шагап, а с юга - водораздельной линией Урцского хребта. В пространстве между ними, на северном склоне Урцского хребта, вдоль нее протягивается цепь коротких невысоких гор (рис.4).

Описываемая система в восточном направлении, начиная от центральной части Урцского хребта, составлена последовательно расположенными короткими горными хребтами, протягивающимися южнее сс. Ланджар и Урцаландж. В месте смыкания зоны совместно представлены чередованием взаимно параллельных невысоких прерывистых горных хребтов.

Восточнее с. Хачик с изменением направления изменяется также форма рельефа: преобладают невыдержанные по простиранию короткие, невысокие гребни без отчетливо выраженных отрицательных форм между ними. Здесь северная ветвь системы составлена последовательно расположенными отрогами Зангезурского хребта. Южная ветвь составлена отрогами Вайкского хребта.

2.2.3. Структурная идентификация.

Описанная структура пространственно совпадает с глубинным разломом, установленным по геофизическим данным и зоной взбросо-надвиговых движений (Габриелян и др., 1981, рис.28 —Схем разломов Армянской” ССР).

2.3. Меридиональная система линейных элементов прослеживается от русла р. Аракс на север до верховьев р. Ахинджа, затем продолжается за пределами изученной площади, на территории Армении. Ее протяженность на изученной территории составляет более 60км (рис.4). Следует отметить, что система проявляется также на правом берегу р. Аракс.

Описываемая линейная система составлена последовательно, а местами кулисообразно расположенными положительными формами рельефа, представленными короткими до 10км длиной невысокими горными грядами, а также отдельными изометричными, куполовидными формами рельефа. Ширина системы – примерно 6-8км. В верховье р. Нахичеван и севернее на территории Армении структура описанной системы изменяется: она проявляется на широкой площади в виде мелких, слабо выраженных невысоких гор, в совокупности сохраняющих меридиональное простирание. Для уточнения подробностей строения системы и выяснения ее структурного взаимоотношения с другими описанными системами необходимо проведение крупномасштабного морфометрического исследования.

2.4. С целью оценки разрешающей способности метода выделена и описана система линейных элементов обнаруженная в бассейне притока р. Аракс – Гиланчай. Система составлена небольшим числом чередующихся строго прямолинейных взаимно параллельных положительных и отрицательных форм рельефа. Последние лишены признаков, свойственных элементам эрозионной сети (рис.4-б). Относительное превышение высот гряд над пониженными участками достигает 50-60м. В большинстве случаев превышение составляет около 30м. Ширина отрицательных форм в большинстве случаев составляет менее 100м. Простирание системы СЗ 326⁰, а ее протяженность – примерно 11км, ширина составляет 2-3км. Система проявляется на карте м-ба 1:200000, однако ее строение доступно

анализу в масштабе 1:50000. Система под углом 60° - 90° пересекает притоки р. Гиланчай, при этом прямолинейное строение системы и непрерывная геометрия ее элементов не искажается.

Заключение и выводы

Данное исследование показало эффективность предлагаемого метода для анализа морфометрических карт масштаба 1:100000 с целью выделения региональных линейных морфологических единиц рельефа (морфографических линеаментов, linear morphological feature). На примере ограниченной территории показано также, что методика применима и для крупномасштабного морфометрического анализа с целью детального изучения строения морфоструктур.

Таким образом, основным методическим результатом данного исследования следует считать разработку нового рационального – достаточно чувствительного и, в то же время, не трудоемкого метода, доведенного до алгоритма выполнения совокупности последовательных процедур выделения морфоструктур по данным ЦМР и их идентификации по геологическим признакам.

Выделенные предлагаемым методом морфоструктуры согласуются с данными предыдущих исследователей. В то же время, метод позволил выделить не описанные ранее морфоструктуры и, что не менее важно, получить новые данные о строении и пространственных взаимоотношениях наиболее значимых морфоструктур на изученной территории. Основные новые сведения, полученные по указанным вопросам, приведены ниже.

Крупные морфоструктуры имеют сложное строение, помимо разломов, описанных (как установленных или предполагаемых) и опубликованных ранее, также включают взаимно параллельные чередующиеся вкрест простирания, прерывистые по простиранию положительные и отрицательные формы рельефа. Описанная совокупность линейных форм рельефа составляет зону переменной ширины до 10км и более. Такое строение в свою очередь представляется признаком морфоструктуры. Наиболее протяженная морфоструктура имеет кавказское простирание СЗ 310° - 320° , она с севера ограничена Гарнийским разломом, который по результатам данного исследования имеет большую протяженность, чем описано предыдущими исследователями. Следует отметить сложное структурное взаимоотношение данной морфоструктуры с кольцевой структурой, выделенной ранее одним из авторов данной статьи, выраженное в том, что часть линейной структуры продолжается в кольцевой структуре без изменения простирания, однако заметным образом изменяется ее строение. Вторая часть (южная ветвь) огибает кольцевую структуру с постепенным изменением простирания до широтного.

Ввиду того, что основной целью исследования была оценка предлагаемого метода, оно было выполнено в среднем картографическом масштабе

на ограниченной площади. По этой же причине мы ограничились описанием части результатов и не ставили задачи полного выделения всех возможных морфоструктур исследованной территории. Такую задачу целесообразно поставить в дальнейшем для всей территории Армении, конечной целью которой будет построение карты линейных морфоструктур масштаба 1:100000.

Авторы выражают признательность член-корр. НАН РА Р.Л. Мелконяну за ознакомление с рукописью статьи и полезные советы.

Литература

- Авагян А.В.** 2019. Приповерхностные проявления активных разломов, НАНА, Ереван (на армянском языке).
- Габриелян А.А., Саркисян О.А., Симонян Г.П.** 1981. Сейсмоструктура Армянской ССР, Изд. ЕГУ, Ереван, с. 198.
- Зограбян Л.Н.** 1979. Орография Армянского нагорья, Изд. АН Арм. ССР, Ереван, с. 118.
- Ласточкин А. Н.** 2013. Идеология традиционного и современного (морфодинамического) геоморфологического картографирования, В кн.: "Геоморфология и картография", Материалы XXXIII Пленума Геоморфологической комиссии РАН, Изд-во Саратов. Ун-та, Саратов, с. 23-28.
- Наапегян С. А., Мовсесян Р. С., Гюрджян А. Л.** 2018. Опыт картирования линейных элементов и кольцевых структур с помощью ГИС (на примере восточного Вайка), ԵՊՀ գիտական տեղեկագիր, Երկրաբանություն և աշխարհագրություն, հ. 52, #3, էջ 167-173.
- Albani M., Klinkenberg B., Andison D. W. and Kimmins J. P.** 2004. The Choice of Window Size in Approximating Topographic Surfaces from Digital Elevation Models, *International Journal of Geographical Information Science*, 18 (6), p. 577–593.
- Chandrasiri T., Henkel H.** 2010. Interactive spatial analysis of lineaments, *Journal Computers & Geosciences*, v. 36 Issue 8, p. 1081-1090.
- Chun Xue L., Liang T., Chun Z.** 2013. Automatically Extraction of Lineaments from DEM, *Applied Mechanics and Materials*, v. 391, p. 394-397, DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.391.394>
- Claessens L., Heuvelink G. B. M., Schoorl J. M. and Veldkamp A.** 2005. DEM Resolution Effects on Shallow Landslide Hazard and Soil Redistribution Modelling, *Earth Surface Processes and Landforms* 30 (4): p. 461–477.
- Clauzionor L. et al.** 2007. Analysis of tectonic-controlled fluvial morphology and sedimentary processes of the western Amazon Basin: an approach using satellite images and digital elevation model, *Annals of the Brazilian Academy of Sciences* 79(4).
- Dar R.A., Chandra R., Romshoo Sh. A.** 2013. Morphotectonic and Lithostratigraphic Analysis of Intermontane Karewa Basin of Kashmir Himalayas, India, *Journal of Mountain Science*, v. 10, N 1.
- Della Seta M. et al.** 2004. Quantitative morphotectonic analysis as a tool for detecting deformation patterns in soft-rock terrains: a case study from the southern Marches, Italy, *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, vol. 10, N 4, p. 267-284.
- Deng Y.** 2007. New trends in digital terrain analysis: landform definition, representation, and classification, *Progress in Physical Geography*, 31(4), p. 405-419.
- Grohmann C.H., Riccomini C., Alves F.M.** 2007. SRTM-based morphotectonic analysis of the Poços de Caldas Alkaline Massif, southeastern Brazil, *Computers & Geosciences*, 33: p. 10-19.
- Hupy C.M., Schaetzel R. J., Messina J. P., Hupy J. P., Delamater P., Enander H., Hughey B. D., Boehm R., Mitroff M. J. and Fashoway M. T.** 2004. Modeling the Complexity of Different, Recently Glaciated Soil Landscapes as a Function of Map Scale, *Geoderma* 123: p. 115–130.

- Jelínek J. et al.** 2013. The application of morphostructural analysis and its validation by comparison with documented faults within the zlaté hory ore district (the northeastern part of the Bohemian massif), *Acta Geodyn. Geomater.*, v. 10, No. 1 (169), p. 5–17.
- Jelínek J.** 2008. Morphotectonic analysis of digital relief model – a suitable means of searching for zones of rock mass brittle failure, Volume LIV, No 3, p. 1-13.
- Jordan G. et al.** 2005. Extraction of morphotectonic features from DEMs: Development and applications for study areas in Hungary and NW Greece, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 7, p. 163–182.
- Kusák M., Krbcová K.** 2017. Analysis of the relationship of automatically and manually extracted lineaments from dem and geologically mapped tectonic faults around the main ethiopian rift and the Ethiopian highlands, *Ethiopia, AUC Geographica*, v. 52 No 1, p. 5-17.
- Ling H., Zhiheng L., Zhongyang Z.** 2018. Extraction and analysis of geological lineaments combining a DEM and remote sensing images from the northern Baoji loess area. *Advances in Space Research*, v.62, Iss.9, 1, p. 2480-2493.
- Lone A.** 2017. Morphometric and Morphotectonic Analysis of Ferozpur Drainage Basin Left Bank Tributary of River Jhelum of Kashmir Valley, NW Himalayas, India, *J Geogr Nat Disast*.
- Mandi S., Soren K.** 2016. Morphotectonic analysis of the Chel river basin, northern west bengal, India, *IOSR Journal Of Humanities And Social Science (IOSR-JHSS)*, v. 21, Issue 6, Ver. 7, p. 01-06.
- Pareta K., Pareta U.** 2011. Quantitative Morphometric Analysis of a Watershed of Yamuna Basin, India using ASTER (DEM) Data and GIS, *International journal of geomatics and geosciences*, v. 2, No 1, p. 248-269.
- Piloyan A., Avagyan A.** 2016. The Circular Structures of the Republic of Armenia Based on a Digital Elevation Model, *European Journal of Geography*, v. 7, Number 3: p. 58 – 70.
- Radaideh Omar M.A., Grasmann B. et al.** 2016. Detection and analysis of morphotectonic features utilizing satellite remote sensing and GIS: An example in SW Jordan, *Geomorphology*, v. 275, p. 58–79.
- Rodriguez E., Morris C. S. and Belz J. E.** 2006. A Global Assessment of the SRTM Performance, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72(3), p.249-260.
- Roecker S.M. and Thompson J. A.** 2010. Scale Effects on Terrain Attribute Calculation and Their Use as Environmental Covariates for Digital Soil Mapping, In *Digital Soil Mapping: Bridging Research, Environmental Application, and Operation*, edited by J. L. Boettinger, D. W. Howell, A. C. Moore, A. E. Hartemink, and S. Kienast-Brown, p.55–66. New York: Springer.
- Sboras S., Ganas A., Pavlides S.** 2010. Morphotectonic analysis of the neotectonic and active faults of Beotia (central Greece), Using G.I.S. Techniques, *Bulletin of the Geological Society of Greece, Proceedings of the 12th International Congress*, p. 1607-1678.
- Sharma G., Champati ray P.K, Mohanty S.** 2018. Morphotectonic analysis and GNSS observations for assessment of relative tectonic activity in Alaknanda basin of Garhwal Himalaya, India, *Geomorphology*, v. 301, p. 108-120.
- Silva C.L., Morales N. et al.** 2007. Analysis of tectonic-controlled fluvial morphology and sedimentary processes of the western Amazon Basin: an approach using satellite images and digital elevation model, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.79, no. 4.
- Suryawanshi R.A., Golekar R.B.** 2014. Morphotectonic and Lineament analysis from Bhatia and Jaigarh Creek, Ratnagiri, MS, India: Neotectonic Implication, *International Research Journal of Earth Sciences*, v. 2(10), p. 16-25.
- Tachikawa T., Hato M., Kaku M. and Iwasaki A.** 2011. Characteristics of ASTER GDEM version 2. *Proc. IEEE IGARSS*, p. 3657-3660.
- Takaku J., Tadono T., Tsutsui K., Ichikawa M., Toranomom T. R.** 2016. Validation of "AW3D" Global DSM Generated from ALOS PRISM.
- Udhi C. N., Arum T.** 2016. Lineament Density Information Extraction using Dem Srtm Data to Predict The Mineral Potential zones, *IJReSES*, v. 13, No 1, DOI: <http://dx.doi.org/10.30536/j.ijreses.2016.v13.a2704>

Urbano T. et al. 2017. Morphotectonics of the Pescara River basin (Central Italy), Journal of Maps, v. 13.
Wood J. 1996. The geomorphological characterisation of digital elevation models, Ph.D. diss., University of Leicester, Leicester, UK.

**ՌԵԼԻԵՖԻ ԹՎԱՅԻՆ ՄՈՂԵԼԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅԱՄԲ ՌԵԼԻԵՖԻ
ԳԾԱՅԻՆ ՁԵՎԵՐԻ ՏԱՐԱՆՁԱՏՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆ ՈՒ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԸ՝
ԱՐԱՔՍ ԳԵՏԻ ՄԻՋԻՆ ՀՈՍԱՆՔԻ ԱՎԱԶԱՆԻ ՁԱԽ ԱՓԻ ՕՐԻՆԱԿՈՎ**

Ավագյան Ա. Ա. , Ուլոյան Հ. Ռ. , Բոյնագրյան Վ. Ռ. , Տարասյան Ն. Հ.

Ամփոփում

Հողվածում նկարագրվում է հեղինակների կողմից մշակված ռելիեֆի թվային մոդելի (ՌԹՄ) ձևաչափական վերլուծության միջոցով ռելիեֆի տարածաշրջանային գծային ձևաբանական միավորների բացահայտման մեթոդը, ինչպես նաև ներկայացվում են Հայաստանի և Նախիջևանի ԻՀ տարածքում՝ Արաքս գետի ավազանում տվյալ մեթոդի կիրառմամբ ստացված արդյունքները:

Մեթոդը հիմնված է տվյալ խնդրին նվիրված մեծ թվով ուսումնասիրությունների փորձի վրա և ներառում է հետևյալ հաջորդաբար կատարվող գործողությունները. 1) ՌԹՄ-ից ստացված ձևաչափական ֆորմալ հատկանիշների՝ առավելապես լանջերի թեքությունների և կողմնադրությունների հիման վրա ռելիեֆի գծային տարրերի բացահայտում; 2) բացահայտված գծային տարրերի գեոմորֆոլոգիական նույնականացումը կամ դրանց բնորոշումը որպես ռելիեֆի իրական գծային ձևեր; 3) Բացահայտված գծային տարրերի կառուցվածքային նույնականացումը ըստ երկրաբանական հատկանիշների՝ հաշվի առնելով դրանց տարածական կապակցվածությունը պատմական երկրաշարժերի էպիկենտրոնների, մետաղական հանքավայրերի և երևակումների, ինչպես նաև հանքային ջրերի աղբյուրների հետ:

Նկարագրված մեթոդով իրականացվել է Մերձարաքսյան գեոմորֆոլոգիական գոտու ձախափնյա հատվածի 1:100000 մասշտաբի մորֆոմետրիական քարտեզների վերլուծություն: Ուսումնասիրված տարածքում բացահայտվել են ռելիեֆի գծային տարրեր, որոնց պատկանելությունը մորֆոկառուցվածքներին հիմնավորված է գեոմորֆոլոգիական, կառուցվածքային հատկանիշներով, երկրաշարժերի էպիկենտրոնների, տաբեր մետաղական հանքայնացումների, հանքային ջրերի աղբյուրների հետ դրանց տարածական կապակցվածությամբ:

Բացահայտված առավել խոշոր մորֆոկառուցվածքը 140կմ երկարությամբ ռելիեֆի գծային տարրերի համակարգ է և տարածվում է ՀսԱրմ 315° ուղղությամբ: Այն դիտարկվում է սկսած հետազոտված տարածքի հս-արևմտյան սահմանից՝ Գառնի գյուղի շրջանում, սակայն դրսևորվում է նաև տարածքի արևմտյան սահմաններից դուրս:

Համակարգը կազմված է ձգվող բացասական գծային տարրից և դրան զուգահեռ, ընդհատվող, կուլիսաձև տեղակայված մի շարք դրական և բացասական գծային տարրերից:

Համակարգի լայնությունը և կառուցվածքը տարածման ուղղությամբ փոփոխվում են:

Կառուցվածքով նման ռելիեֆի գծային տարրերի երկրորդ երկար համակարգը, որը հայտնաբերվել է ուսումնասիրության տարածքում, ունի աղեղանման կոնֆիգուրացիա և ավելի քան 70կմ ընդհանուր երկարություն: Հայտնաբերվել են նաև այլ կառուցվածք և տարածում ունեցող ռելիեֆի գծային տարրեր, այդ թվում՝ միջօրեականի ուղղությամբ ձգվող, որը շարունակվում է տարածվել ուսումնասիրված տարածքի սահմաններից դուրս դեպի հյուսիս:

THE METHOD AND RESULTS OF THE LINEAR LANDFORMS EXTRACTON USING DEM ANALYSIS DATA, ON THE LEFT BANK EXAMPLE OF ARAKS RIVER MIDDLE STREAM BASIN

Avagyan A.A., Uloyan H.R., Boynagryan V.R., Tarasyan N.H.

Abstract

The article describes the method developed by the authors for revealing Earth surface regional linear morphological features (morphographic lineaments) by morphometric analysis of a digital elevation model (DEM). It also presents the results of the method application on the territory of Armenia in the Araks river basin.

The method is based on the experience of a large number of studies devoted to this issue and includes the following successively performed procedures: 1) revealing of Earth surface linear features by formal morphometric indices extracted from the DEM, mainly based on the analysis of slope and aspect maps; 2) geomorphological identification of the revealed linear elements or their definition as real linear landforms; 3) structural identification of the revealed linear landforms, i.e. proving their identity with morphostructures according to geological features – their coincidence with the spatial localization of the epicenters of the historical earthquakes, ore deposits, mineral water springs, as well as the consistency of the identified morphostructures with the data of previously published articles and maps.

The described method was used to analyze morphometric maps at a scale of 1:100.000 for the left-bank part of Araks river geomorphological zone. Using the described method, linear landforms were identified in the studied area.

The largest morphostructure revealed in the research area is a system of linear landform elements which is 140 km long and has a stretch of NW 315⁰. It has been traced starting from the western border of the studied territory - in the

area of the village of Garni, however, it was also discovered beyond the western border of the studied area. The system consists of a negative linear landform, and, parallel to it, of a series of discontinuous, echelon-located positive and negative linear elements.

The width and structure of the system along its stretch are variable. Along the entire length of the system, its northern border can be traced clearly and practically without interruption. This morphostructure was previously described as “the largest tectonic fault” in the Araksian geomorphological zone.

The second-longest system of linear landform elements, found in the study area, has an arcuate configuration and a total length of more than 70km. It spatially coincides with a deep fault established from geophysical data and a zone of reverse-thrust movements.

Morphostructures of a different structure and orientation were also found, including extended meridional structures penetrating northward beyond the boundaries of the study area.