

УДК 528.94:551.4.03

ОПЫТ КАРТИРОВАНИЯ ЛИНЕАМЕНТОВ И КОЛЬЦЕВЫХ
СТРУКТУР С ПОМОЩЬЮ ГИС
(на примере восточного Вайка)

С. А. НААПЕТЯН^{1*}, Р. С. МОВСЕСЯН^{2**}, А. Л. ГЮРДЖЯН^{2***}

¹ *Кафедра геоморфологии и картографии ЕГУ, Армения*

² *Кафедра поисков и разведки месторождений полезных ископаемых ЕГУ, Армения*

В статье рассмотрен опыт применения географической информационной системы (ГИС) для распознавания слабопроявленных на поверхности линейментов и кольцевых структур. Выделение последних имеет определяющее значение для обоснованного выделения рудных таксонов разных порядков – рудных узлов, полей и месторождений, что способствует повышению эффективности геологоразведочных работ. Результаты проведенных исследований позволили по-новому представить структурные особенности изученной территории.

Keywords: lineaments, ring structures, geomorphology, GIS, digital elevation models, raster images of shaded relief.

Введение. Все эндогенные рудные скопления приурочены и контролируются зонами крупных разрывных структур как линейного, так и кольцевого типа. Особо перспективными являются рудные таксоны, приуроченные к узлам пересечения кольцевых и дугообразных структур с зонами линейных разломов [1–5].

Отмеченные структуры на поверхности Земли проявляются в виде отдельных морфологических элементов. Разрывные нарушения в рельефе образуют уступы разных размеров, рвы, линейные зоны эрозионных понижений и др. Кольцевые структуры могут выражаться в виде куполов, кольцевых, купольно-кольцевых, поликольцевых сооружений, каждое из которых обусловлено генетическими особенностями образования [4]. При проведении полевых работ часто бывает трудно заметить и выделить зоны скрытых тектонических нарушений и кольцевые структуры. Решение этого вопроса – выявление слабо проявленных на поверхности структур – можно получить с помощью экспозиций склонов и оттененного рельефа, созданных в географической информационной системе (ГИС).

Использованные данные. Обычно при проведении подобных работ используется цифровая модель высот, полученная с помощью радарной

* E-mail: nahapetyan@ysu.am;

** rubmov@ysu.am;

*** gyurjyanarman@ysu.am

съемки SRTM с 30- и 90-метровым разрешением. Однако эти данные имеют свою ошибку. Они представляют собой цифровую модель не рельефа, а поверхности, в которой выражены высоты многочисленных объектов (деревьев, строений и др.), не отражающих истинный рельеф [6].

Используются также цифровые модели высот, полученные с помощью оптической стереосъемки Aster GDEM и Aster DEM с 20- и 30-метровым разрешением, которые также не лишены погрешностей [7, 8]. В указанных моделях высот плохо выражаются микроформы рельефа, которые имеют важное значение для выявления кольцевых структур и линеаментов – линейных разломов.

Учитывая недостатки отмеченных методов, в качестве исходных данных нами был использован векторный вариант топографической карты масштаба 1:10 000 в формате dwg, составленный ГНКО РА “Геодезия и картография”. Из нее в качестве вторичной информации был выделен слой горизонталей, отображающий рельеф в 5-метровом интервале, который был преобразован в формат shpfile. Цифровые модели высот использовались нами для наблюдений за исследуемой площадью в региональном фоне и выделения морфоструктур.

В работе использовались также изображения местности, полученные в результате съемки с разрешением 10 м со спутника “Sentinel 2”. Для визуального дешифрирования также использовались базовые спутниковые изображения ESRI WMS высокого разрешения.

Методы исследований. Для проведения работ использовался программный пакет ArcGIS Desktop. Предварительно, используя стандартный инструмент *Toro to Raster*, с горизонталей топографической карты масштаба 1:10 000, была получена цифровая модель рельефа (ЦМР) исследуемой территории с 10-метровым разрешением. С целью выделения линеаментов из ЦМР с помощью стандартного инструмента *Hillshade*, в основе которого положен нижеприведенный алгоритм, были получены растровые изображения оттененного рельефа:

$$H=255.0 \cos Z \cos S + \sin Z \sin S \cos (Az-A),$$

где H – значения оттенения; Z – зенитный угол освещения, который получается путем вычета из 90° угла высоты света; Az – азимут освещения; S – угол наклона склона; A – экспозиция склона; когда значение $H \leq 0$, то оно принимается равным 0 [9].

Чтобы с помощью оттенения возможно было обнаружить линеаменты различного направления, азимут источника света приняли переменным [10], а высоту света – постоянной, 45° . В результате получили 8 изображений оттененного рельефа с изменением азимута освещения в 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 315° и 360° . На полученных изображениях последовательно векторизировали линеаменты в качестве линий разломов (рис. 1).

С целью обнаружения и картирования кольцевых структур с помощью 10-метровой резолуции ЦМР и инструмента ArcGIS “Aspect” была получена экспозиция склонов, в основу которой положена формула

$$\operatorname{tg} A = (dz / dx) / (dz / dy),$$

где A – экспозиция склона, выраженная азимутальным углом; z – увеличение высот по координатным направлениям осей x и y [9].

представлять из себя линии разломов или быть отдельными отрезками последних. Линеаменты в основном имеют широтное (субширотное), меридиональное, а также СЗ направления; сравнительно немногочисленными оказались линеаменты СВ простирания.

Кроме того, с помощью полученного изображения экспозиции склонов были выделены 11 кольцевых и дугообразных структур, диаметры которых колеблются в диапазоне 2–15 км. Есть исследования, в результате которых на территории РА выделены кольцевые структуры более крупных размеров [11].

Проведенные выборочные полевые геоморфологические наблюдения линеаментов всех отмеченных направлений, а также кольцевых и дугообразных структур, их морфологическое описание и составленные по отдельным их отрезкам геологические разрезы дали положительные результаты и подтвердили предположения, что они соответствуют зонам разломов и кольцевым структурам. Рассмотрим некоторые из них.

В районе с. Заритап выявлен сложный узел пересечения, состоящий из зоны двух параллельных субширотных линеаментов, которые пересекаются меридиональным линеаментом. Здесь же, между сс. Пор и Заритап, наблюдается сложное морфологическое взаимоотношение линеаментов отмеченного узла пересечения с расположенной здесь кольцевой структурой. Данный участок территории на поверхности ясно выражен интенсивными деформациями рельефа. Необходимо отметить, что нарушение меридионального направления совпадает с долиной р. Пшонк.

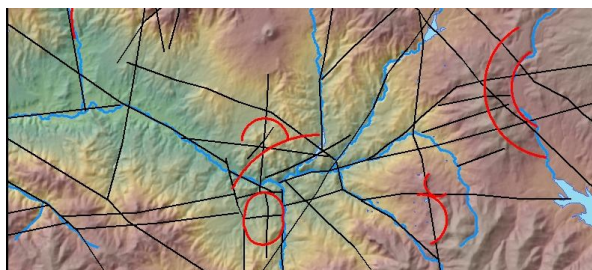


Рис. 3. Фрагмент карты линеаментов и кольцевых структур территории.

Выделяемая нами на исследуемой территории зона Хачик–Гнишик–Азатек–Артаван–Горайк параллельных парных разломов субширотного простирания, представленная на рис. 3, имеет протяженность около 60 км. Южный разлом пересекает указанную кольцевую структуру, расположенную между сс. Пор и Заритап, а северный – проходит по касательной. Одновременно кольцевая структура с запада и востока также оконтуривается меридиональными нарушениями.

Указанные парные разломы в нескольких участках пересекаются со смещением меридиональными и СЗ нарушениями. В результате на поверхности они выражаются в виде субширотных смещенных линий.

По долине реки, в 1,8 км на север от с. Заритап, южный разлом представлен зоной шириной 500–800 м, которая под углом пересекает долину реки. Наличие разлома подтверждается морфологией обнажающихся на разных гипсометрических уровнях (на правом и левом бортах долины) древних лавовых покровов.

На левом борту склона долины в относительно опущенном блоке разлома выделяются три выхода лавовых покровов (рис. 4, а), интенсивно раздробленные и деформированные. На правом борту долины на поверхности обнажаются только два верхних лавовых выхода (рис. 4, б). Вне зоны разлома они имеют близгоризонтальное залегание, а в зоне разлома их выходы раздроблены и под разными углами смещены и опущены.

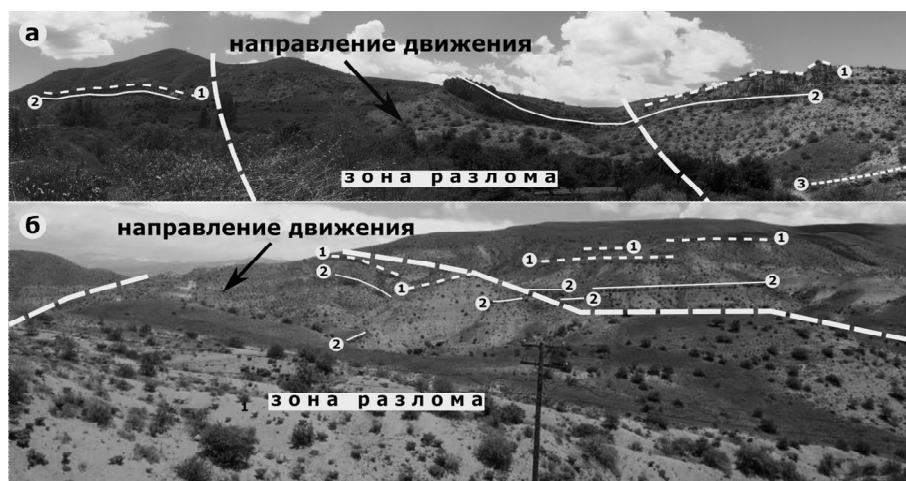


Рис. 4. Южное нарушение Хачик–Гнишик–Азатек–Артаван–Горайкской зоны парных разломов.

Другим пунктом полевых исследований явился участок пересечения вышеотмеченной зоны широтных разломов с Артаван–Сараван–Кечутским меридиональным нарушением. Он расположен в 700 м к западу от населенного пункта Сараван по левой стороне автомобильной дороги Вайк–Сисиан. Последний на территории РА имеет протяженность 50 км, на рассматриваемом участке он проявлен в виде зоны шириной 500 м. Наличие разлома протяженностью 300 м и высотой 10–15 м хорошо видно на разрезе склона, образованного вследствие дорожностроительных работ (рис. 5).



Рис. 5. Разрез Артаван–Сараван–Кечутского меридионального нарушения.

В разрезе можно видеть отрезок, представленный глиной притирания, далее на запад обнажаются гидротермально измененные породы с интенсивно проявленными трещинами скалывания. С геоморфологической точки зрения стороны разлома представлены в виде эрозионных долин, между которыми незэродированный участок имеет вид вытянутого холма. Зона разлома на ландшафтном фоне проявлена в виде опущенного участка. Морфологическим доказательством наличия разлома является также морфология русла р. Дарб, где река резко на 90° меняет направление своего течения.

Полевые контрольные наблюдения были проведены также в участке слияния рек Арпа и Дарб, в нижней части Кечутской плотины. Результаты вновь доказали, что закартированные линеаменты представляют собой линии разломов.

Заключение. Полученные результаты позволяют отметить следующее. Изображения, полученные под различными азимутами освещения рельефа и экспозиций склонов, позволили выявить и закартировать линеаменты, а также кольцевые и дугообразные морфоструктуры рельефа. Выборочные полевые наблюдения подтвердили, что выделенные морфоструктуры рельефа являются зонами разломов и кольцевыми структурами, причем среди последних появляется возможность выделить куполовидные, купол-кольцевые, поли-кольцевые сооружения.

Результаты проведенных исследований позволяют по-новому представить структурные особенности изученной территории, что положительно скажется на эффективности предстоящих геологоразведочных работ.

Поступила 20.11.2018

ЛИТЕРАТУРА

1. **Томсон И.Н., Фаворская М.А.** Рудоконцентрирующие структуры территории СССР и принципы локального прогнозирования эндогенного оруденения. // Сов. геология, 1968, № 10, с. 5–15.
2. Сквозные рудоконцентрирующие структуры (под ред. И.Н. Томсона). М.: Наука, 1986, 217 с.
3. **Кац Я.Г.** Линеаментная тектоника. М.: Недра, 1987, 120 с.
4. **Судариков В.Н., Лисов А.С., Черных Н.В.** Кольцевые структуры, выявленные в Восточной складчатой части Оренбургской области и приуроченность к ним металлических полезных ископаемых. // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. OSU, 2016, с. 957–967.
5. **Гуревич Д.В.** Кольцевые структуры: важнейшие механизмы образования. // Региональная геология и металлогения, 2009, № 39, с. 14–23.
6. **Rodríguez E., Morris C.S., Belz J.E., Chapin E.C., Martin J.M., Daffer W., Hensley S.** An Assessment of the SRTM Topographic Products. Jet Propulsion Laboratory D-31639, 2005, 143 p.
7. ASTER Global DEM Validation, Summary Report. Prepared by ASTER GDEM Validation Team: METI/ERSDAC NASA/LPDAAC USGS/EROS in Cooperation with NGA and Other Collaborators, 2009, 28 p.
8. **Bolten A., Waldhoff G.** Error Estimation of Aster GDEM for Regional Applications – Comparison to Aster DEM and Als Elevation Models. 3rd ISDE Digital Earth Summit 12–14.06.2010.
https://cartography-gis.com/pdf/14_Bolten-Waldhoff_Germany_paper.pdf

9. **Burrough P.A., McDonell R.A.** Principles of Geographical Information Systems. NY: Oxford University Press, 1998, 190 p.
10. **Muhammad M.M., Awdal A.H.** Automatic Mapping of Lineaments Using Shaded Relief Images Derived from Digital Elevation Model (DEM) in Erbil–Kurdistan, Northeast Iraq. // *Advances in Natural and Applied Sciences*, 2012, v. 6, № 2, p. 138–146.
11. **Piloyan A., Avagyan A.** The Circular Structures of the Republic of Armenia Based on a Digital Elevation Model. // *European Journal of Geography*, 2016, v. 7, № 3, p. 57–69.

Ս. Ա. ՆԱՀԱՊԵՏՅԱՆ, Ռ. Ս. ՄՈՎՍԵՍՅԱՆ, Ա. Լ. ԳՅՈՒՐՅԱՆ

ԱՏՀ ՕԳՆՈՒԹՅԱՄԲ ԼԻՆԵԱՄԵՆՏՆԵՐԻ ԵՎ ՕՂԱԿԱԶԵՎ
ԿԱՌՈՒՅՑՆԵՐԻ ՔԱՐՏԵԶԱԳՐՄԱՆ ՓՈՐՁԸ
(արևելյան Վայքի օրինակով)

Ա մ փ ո փ ո մ

Հոդվածում դիտարկված է աշխարհագրական տեղեկատվական համակարգի (ԱՏՀ) կիրառման փորձը մակերևույթի վրա թույլ արտահայտված լինեամենտների և օղակաձև կառույցների վերծանման համար: Վերջիններիս առանձնացումն ունի որոշիչ նշանակություն տարբեր կարգերի հանքային միավորների՝ հանքային հանգույցներ, դաշտեր և հանքավայրեր, հիմնավորված առանձնացման համար, ինչը նպաստում է երկրաբանահետախուզական աշխատանքների արդյունավետության բարձրացմանը: Իրականացված հետազոտությունների արդյունքները թույլ տվեցին նորովի ներկայացնել ուսումնասիրված տարածքի կառուցվածքային առանձնահատկությունները:

S. A. NAHAPETYAN, R. S. MOVSESYAN, A. L. GYURJYAN

THE EXPERIENCE OF MAPPING LINEAMENTS AND
RING STRUCTURES USING GIS
(on the example of Eastern Vayk)

Summary

The article describes the experience of using the geographical information system (GIS) for recognizing lineaments and ring structures that are weakly developed on the surface. The selection of the latter is crucial for the reasonable selection of ore taxon of different orders – ore knots, fields and deposits, which contributes to the efficiency of geological exploration work. The results of the research allowed us to present the structural features of the studied territory in a new way.