

*География*

УДК 551.4

## О НЕКОТОРЫХ ГЕОМОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЯХ БАССЕЙНА Р. АГСТЕВ В ПРЕДЕЛАХ РА

А. С. ПИЛОЯН\*

*Кафедра картографии и геоморфологии ЕГУ, Армения*

Впервые на основе цифровой модели рельефа бассейна р. Агстев вычислены и закартированы некоторые геоморфометрические показатели земной поверхности – гипсометрия, угол наклона и экспозиция. Описаны и составлены карты (в масштабе 1:200000) пространственных закономерностей распределения геоморфометрических переменных, выявлены закономерности распределения углов наклона в зависимости от абсолютной высоты участков речного бассейна.

**Ключевые слова:** река Агстев, гипсометрия местности, экспозиция склонов, угол наклона земной поверхности, цифровая модель рельефа.

**Введение.** Моделирование рельефа, его анализ и изучение по построенным моделям постепенно становятся неотъемлемой частью исследований в науках о Земле, экологии, земельном кадастре и инженерных проектах. Анализ пространственных данных находит широкое применение при изучении распространения участков загрязнений, в моделировании месторождений, а также во многих проектах по устойчивому развитию территорий.

Количественные морфологические сведения о форме и структуре поверхности речного бассейна служат первичной процедурой, предшествующей содержательному исследованию динамических и временных аспектов функционирования бассейна и самой речной системы. Преимущество геоморфометрического подхода при изучении облика земной поверхности заключается в возможности абстрагироваться от неоднозначности и неопределенности в геоморфологическом описании и сосредоточиться на объективных геоморфометрических показателях.

**Объект исследования.** Бассейн р. Агстев в пределах Республики Армения, имеет площадь, согласно нашим расчетам, 1703,9 км<sup>2</sup>. Протяженность бассейна от с. Фиолетово до государственной границы РА составляет около 130 км, в наиболее широкой части – 126 км (учитывая бассейн притока Гетик). При достаточно хорошей физико-географической изученности бассейна р. Агстев

---

\* E-mail: [artakpiloyan@yahoo.com](mailto:artakpiloyan@yahoo.com)

[1–4] геоморфометрические сведения о поверхности бассейна и его водосборах низшего порядка, отвечающие уровню современной цифровой картографии и аналитическим возможностям цифровой модели рельефа (ЦМР), практически отсутствуют. Это делает невозможным применение количественных оценок влияния геоморфологического фактора на местные географические явления и процессы в целом и на структуру ландшафтов в частности.

*Исходные данные* абсолютных высот были взяты из ЦМР, построенной сотрудниками лаборатории геоинформатики ИГН НАН Армении, детальное описание которой дается в [5]. Заданное нами разрешение регулярной сети (*grid*) около 90 м устанавливает пределы детализации моделируемой топографической поверхности, а следовательно, и пространственные масштабы изучаемых морфологических элементов и структур, а также характеризует точность картометрических и морфометрических расчетов.

**Теоретические основы работы.** Рассматриваемые в данной работе геоморфометрические показатели представляют собой гипсометрию местности (статистики абсолютных высот), угол наклона земной поверхности и экспозицию склонов.

В результате анализа *гипсометрии* описывается высотное распределение площади земной поверхности. Содержательная сторона этой процедуры заключается, прежде всего, в изучении многообразных высотно-зависимых географических феноменов, включая рельефообразование. С анализом абсолютных высот связано изучение состава и строения земной поверхности посредством определения взаимного положения форм рельефа по вертикали.

От *угла наклона* поверхности склона зависит скорость перемещения материала вниз по склону под действием силы тяжести или с поверхностным стоком (почвенная, овражная эрозия, оползни, осыпи). Можно сказать, что угол наклона поверхности определяет скорость склоновых процессов. Анализ углов наклона необходим при оценке комплекса склоновых процессов и принимается во внимание в инженерно-геологических изысканиях, оценке земель и т.п. На практике это одна из наиболее важных переменных в расчетах дренажа и эрозии почвы.

*Экспозиция* склона характеризует его отношение к ориентированным в пространстве разнообразным процессам (инсоляционным, циркуляционным, гравитационным и пр.). Учет экспозиции склона представляет интерес при анализе влияния направленных лито-, гидро-, геохимических, аэродинамических потоков на ландшафтную дифференциацию (посредством прямого и опосредованного воздействия на экзогенные процессы, почвообразование, растительность и т.п.). Кроме того, ориентировка склонов через влияние на эрозионно-денудационную деятельность определяет морфологические свойства земной поверхности.

В гипсометрическом анализе наибольшее значение имеет точность высоты поверхности – координаты *Z*. Для установления точности данных ЦМР на конкретном участке желательно провести специальное сравнение с использованием местных контрольных измерений. Тем не менее понятно, что точность координаты *Z* распределена неодинаково в пространстве бассейна. Показатели ошибок приемлемы для предгорной и горной частей с большой амплитудой высот. Однако для исключительно плоских участков вертикальная

погрешность исходной ЦМР при некорректно выбранной степени детализации производных геоморфометрических показателей способна привести к ошибкам [6]. Исходя из того, что бассейн р. Агстев характеризуется как горный регион с большими амплитудами высот, результаты гипсометрических расчетов не подвергались дополнительному анализу.

Наиболее распространенный метод расчета угла наклона и экспозиции для растровых моделей основывается на вычислении первой производной  $Z'(X,Y)$  [7–9]. Здесь  $Z$  – абсолютная высота,  $X$  и  $Y$  – географические координаты. Угол наклона и экспозиция в произвольной точке растровой ЦМР рассчитываются с использованием соседних ячеек в окне  $3 \times 3$  (метод Кернела). В среде ArcGIS, где проводились наши расчеты, для пространственного анализа применяется алгоритм Хорна, рассчитывающий величины углов наклона и экспозиции для центральной ячейки  $Z_5$ , окруженной ячейками  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_6, Z_7, Z_8$ , и  $Z_9$  [10].

$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$
$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$
$Z_7$	$Z_8$	$Z_9$

Изменения в направлении  $X$  (запад–восток) и  $Y$  (север–юг) угла наклона ячейки  $Z_5$  рассчитываются по формуле

$$(dz/dy)^2 = ((Z_1 + 2Z_2 + Z_3) - (Z_7 + 2Z_8 + Z_9)) / (8 \text{ cellsize}).$$

Угол наклона в градусах ( $slope$ ) рассчитывается по формуле [8, 10]

$$slope = 57,29578 \arctan \sqrt{(dz/dx)^2 + (dz/dy)^2}.$$

При вычислении экспозиции изменения в направлениях  $X$  и  $Y$  для ячейки  $Z_5$  определяются по формулам

$$dz/dx = ((Z_3 + 2Z_6 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_4 + Z_7)) / 8, \quad dz/dy = ((Z_7 + 2Z_8 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_2 + Z_3)) / 8.$$

Экспозиция ( $aspect$ ) рассчитывается по формуле [8, 10]

$$aspect = 57,29578 \arctan 2((dz/dy) - (dz/dx)).$$

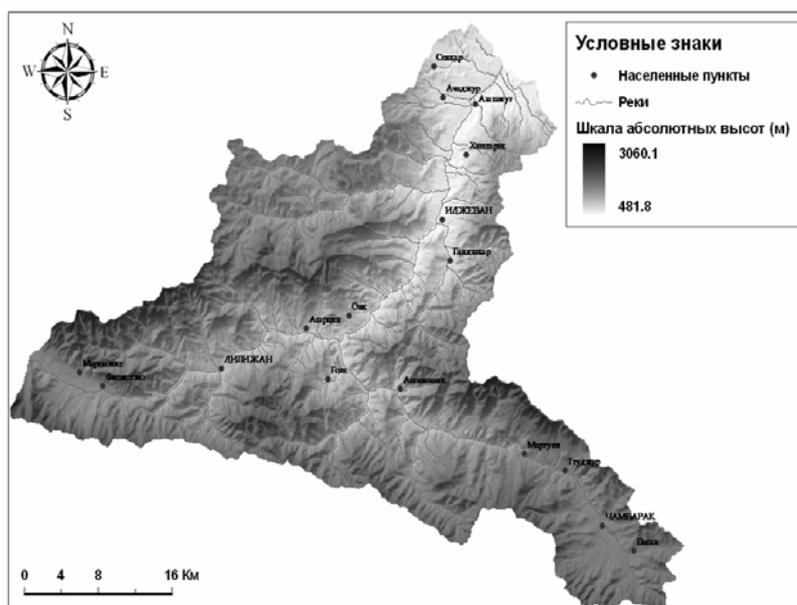


Рис. 1. Гипсометрическая карта бассейна р. Агстев.

**Основные результаты геоморфометрических расчетов.** На основе ЦМР для бассейна р. Агстев построена серия карт масштаба 1:200000 ключевых количественных показателей рельефа: гипсометрическая карта (рис. 1), карты углов наклона и экспозиций склонов, что позволило провести углубленный морфометрический анализ территории. Использование ЦМР при гипсометрическом анализе позволяет выявить характерные высотные ступени (яруса). Формирование таких ступеней и перепадов высот в водосборных бассейнах разного порядка может быть следствием действия разных факторов рельефообразования и наличия генетически неоднородных форм рельефа. Наиболее распространенный прием исследования высотной структуры – построение гистограмм распределения площадей высотных ступеней и гипсографических кривых [11].

Поверхность бассейна р. Агстев в геоморфологическом отношении весьма неоднородна. Амплитуда высот здесь достигает более 2,5 км. Средняя уравновешенная высота бассейна составляет 1694 м при стандартном отклонении 487 м, максимальная высота – вершина горы Тежлер, 3101 м, минимальная – 481 м, вблизи армяно-азербайджанской государственной границы.

Таблица 1

Гипсометрические показатели бассейна р. Агстев

Высотный интервал, м	Площадь		Нарастание площади с высотой	
	км <sup>2</sup>	%	км <sup>2</sup>	%
< 500	1,1	0,1	1,1	0,1
500–1000	185,5	10,9	186,6	11,0
1000–1500	348,3	20,4	534,9	31,4
1500–2000	690,5	40,5	1225,4	71,9
2000–2500	428,5	25,1	1654,0	97,1
<2500	49,9	2,9	1703,9	100,0

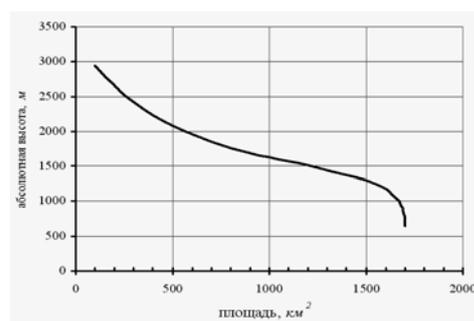
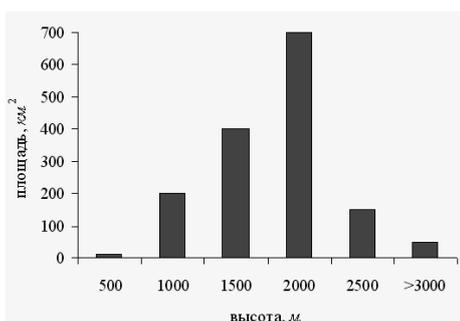


Рис. 2. Гистограмма высотного распределения (а) и гипсометрическая кривая (б) бассейна р. Агстев.

Тем не менее, как видно из рис. 2 и табл. 1, Агстев в большей степени горная река, 68,5% площади бассейна которой расположено на отметках выше 1500 м, 88,9% – на отметках выше 1000 м, на высотах ниже 500 м (условно – низменность) расположено всего 0,1% площади бассейна. Гистограмма высотного распределения с интервалом 500 м показывает эту характерную асимметрию (рис. 2, а). При этом площадь бассейна на высотах более 2500 м составляет всего 2,9%. Считается, что функции распределения высот

на гистограммах выявляют закономерности строения поверхности и условия рельефообразования [9]. Наблюдаемое распределение высот, свойственное всему бассейну р. Агстев, относится к мономодальному, выраженному право-асимметричному, то есть в бассейне преобладают территории с абсолютной высотой выше средней уравниваемой высоты (1694 м).

Гипсометрическая кривая и гистограмма служат важными источниками обнаружения ярусности (ступенчатости) рельефа. На рис. 2, б показана гипсометрическая кривая бассейна р. Агстев, построенная традиционным способом. Как видно, она имеет плавные очертания, что в целом свидетельствует о невыраженности ярусного строения рельефа в масштабе всего бассейна. Для подтверждения данного явления нами использован метод сопоставления высотного распределения со средним углом наклона поверхностей.

Таблица 2<sup>1</sup>

*Распределение углов наклона поверхности в бассейне р. Агстев по суммарным площадям*

Угол наклона	<5 <sup>0</sup>	5–10 <sup>0</sup>	10–15 <sup>0</sup>	15–20 <sup>0</sup>	20–25 <sup>0</sup>	25–30 <sup>0</sup>	30–40 <sup>0</sup>	>40 <sup>0</sup>
Площадь, км <sup>2</sup>	98,8	286,4	393,0	383,1	302,5	174,2	62,9	3,0
Площадь, %	5,8	16,8	23,1	22,5	17,8	10,2	3,7	0,2

Согласно построенной нами карте углов наклона поверхности и выполненным расчетам (см. табл. 2) в бассейне р. Агстев поверхности крутизной до 10<sup>0</sup> занимают 22,6% или 385,2 км<sup>2</sup> суммарной площади. С увеличением крутизны склонов занимаемая ими площадь закономерно уменьшается, так на поверхности с углами наклона более 40<sup>0</sup> приходится всего 0,2%. Средний угол наклона поверхности для всего бассейна р. Агстев составляет 16,3<sup>0</sup> при стандартном отклонении 7,6<sup>0</sup> и положительной асимметрии (коэффициент асимметрии равен 1,38). Левосторонняя асимметрия в распределении показателей крутизны свидетельствует о преобладании на территории бассейна поверхностей с углом наклона ниже среднего. На равнинных участках речных долин обычно наблюдается определенная взаимосвязь между абсолютными высотами и углами наклонов. Причиной, по-видимому, является то, что уступы террас как правило находятся на одних и тех же абсолютных отметках [9]. Для проверки этой гипотезы в горных условиях был выполнен пространственный анализ гипсометрической карты по углам наклона.

Таблица 3

*Распределение средних углов наклона в зависимости от абсолютной высоты*

Высотный интервал, м	< 500	500–1000	1000–1500	1500–2000	2000–2500	>2500
Средний угол наклона	5,5 <sup>0</sup>	12,9 <sup>0</sup>	18,9 <sup>0</sup>	16,8 <sup>0</sup>	18,4 <sup>0</sup>	20,0 <sup>0</sup>

Анализ результатов расчета (табл. 3) позволил выделить два явных уступа рельефа со средними углами наклона более 18<sup>0</sup>. Относительно небольшой угол наклона на абсолютных отметках до 1000 м объясняются преобладанием поло-

<sup>1</sup> Табличные данные существуют также в виде карт и могут быть предоставлены автором.

гонаклонных поверхностей на прирусловых участках (поймы рек, днища межгорных котловин). На абс. высотах 1000–1500 м наблюдается резкое увеличение среднего угла наклона, связанное, по-видимому, с уступами надпойменных террас разного порядка. На абсолютных высотах 1500–2000 м вновь наблюдается уменьшение среднего угла наклона. Это связано с преобладанием на таких высотах поверхностей эрозионно-денудационного выравнивания. Значительное увеличение среднего угла наклона на абс. высотах выше 2000 м свидетельствует о гребнях и уступах привершинных участков. В бассейне р. Агстев такая структура нарушается на трех участках: два в долине р. Агстев (1 – между с. Фиолетово и устьем р. Блдан; 2 – от устья р. Гетик до г. Иджеван) и один в долине р. Гетик (у с. Мартуни вплоть до ее падения в р. Агстев).

Таким образом, в бассейне р. Агстев выделяются четыре высотных яруса с характерными углами наклона – до 1000, 1000–1500, 1500–2000 и выше 2000 м. Их окончательная дифференциация должна обязательно проводиться с учетом материалов полевых исследований, карты четвертичных отложений, описаний геологических скважин и данных дистанционного зондирования. Надо отметить, что механизм образования ярусности включает в себя два процесса. Во-первых, в простейшем случае ярусность рельефа может формироваться или в результате одного блокового поднятия сразу всей территории, или в один сложный морфоцикл при неоднократных валообразных поднятиях участка, относительно быстро следующих один за другим. Во-вторых, ярусность рельефа может образоваться в несколько морфоциклов в результате неоднократных поднятий одного и того же района без расширения площади, но с достаточно длительными временными интервалами тектонической стабилизации между актами поднятия [12].

Таблица 4

Распределение поверхностей с разной экспозицией в бассейне р. Агстев

Экспозиция	Азимут падения, град	Площадь	
		км <sup>2</sup>	%
Г	–	0,1	0,04
С	337,5–22,5	255,7	15,0
СВ	22,5–67,5	238,9	14,0
В	67,5–112,5	220,1	12,9
ЮВ	112,5–157,5	207,9	12,2
Ю	157,5–202,5	209,0	12,3
ЮЗ	202,5–247,5	197,2	11,6
З	247,5–292,5	166,1	9,7
СЗ	292,5–337,5	208,9	12,3

Примечание: Г – горизонтальные поверхности бассейна р. Агстев.

При анализе распределения поверхности по экспозициям учитывались 8 основных румбов, а также площади, приходящиеся на горизонтальные участки. Ориентация склона, прежде всего, определяет количество получаемой солнечной радиации. В сочетании с углом наклона этот показатель играет основополагающую роль в дифференциации радиационно-термических контрастов между склонами, тем самым позволяя выделить элементарные изопотенциальные поверхности. Вопрос об анализе изопотенциальных поверхностей в данной статье не рассматривается. Стоит только отметить, что понятие

изопотенциальности в данном случае предполагает изначальное равенство вещественно-энергетических условий в границах выделяемых участков при формировании местных геосистем.

Табл. 4 иллюстрирует распределение склонов разной экспозиции в бассейне р. Агстев. Как видно из таблицы, почти половину общей площади (41,3%) составляют склоны, обращенные на север (северные, северо-западные и северо-восточные). Склоны с южной ориентацией (южные, юго-западные, юго-восточные) имеют более скромную общую площадь – 36,1 %.

**Заключение.** Подводя итог, можно отметить, что применяемая методика позволяет выполнить детальный анализ ключевых геоморфометрических показателей бассейновых геосистем. Проведенный региональный морфометрический анализ с широким использованием ГИС-технологий позволил на количественном уровне установить несколько параметров рельефа бассейна р. Агстев. Результаты взаимного пространственного анализа карт гипсометрии и углов наклона в бассейне р. Агстев подтверждают вывод о тесной взаимосвязи абсолютной высоты участков долины с их средним углом наклона. Типы рельефа, выделенные для бассейна по историко-генетическому признаку, имеют также четкие различия и геоморфометрические характеристики.

Поступила 01.12.2011

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Հայկական ՍՍՀ ֆիզիկական աշխարհագրություն: Եր., ՀՍՍՀ ԳՍ հրատ., 1971, 471 էջ:
2. Геология Армянской ССР. Т. I, Геоморфология. Ер.: Изд-во АН Арм. ССР, 1962, 432 с.
3. **Зограбян Л.Н.** Орография Армянского нагорья (опыт орографического анализа морфоструктуры. Ер.: Изд-во АН Арм. ССР, 1979, 119 с.
4. **Չափրիելյան Հ.Կ.** Հայկական լեռնաշխարհ (ուս. ձեռնարկ): Եր., ԵՊՀ հրատ. 2000, 376 էջ:
5. **Авакян А.А., Ерицян Г.Г., Пилоян А.С.** // Изв. НАН РА. Науки о Земле, 2010, т. 63, № 3, с. 48–58
6. **Rodriguez E., Morris C., Belz J., Chapin E., Martin J., Daffer W., Hensley S.** An Assessment of the SRTM Topographic Products. Technical Report JPL D-31639. Jet Propulsion Laboratory. Pasadena, California, 2005, 143 p.
7. **Carter J.** Some Effects of Spatial Resolution in the Calculation of Slope Using the Spatial Derivative. ASPRS-ACSM Annual Convention. Technical Papers, 1990, v. 1, p. 43–52.
8. **Burrough P.** Principles of Geographic Information Systems. New York: Oxford University Press, 1998, 333 p.
9. Геоморфология (под ред. А. Н. Ласточкина, Д. В. Лопатина). М.: ИЦ “Академия”, 2005, 528 с.
10. **Horn B.** // Proceedings of the IEEE, 1981, v. 69, p. 14–47.
11. **Симонов Ю.Г.** Морфометрический анализ рельефа. М.–Смоленск: Изд-во СГУ, 1998, 272 с.
12. **Костенко Н.П.** Развитие рельефа горных стран (на примере Средней Азии). М.: Мысль, 1970, 368 с.

Ա. Ս. ՓԻԼՈՅԱՆ

ՀՀ ՍԱՀՄԱՆՆԵՐՈՒՄ ԱՂՍՏԵՎ ԳԵՏԻ ԱՎԱԶԱՆԻ ՈՐՈՇ  
ԳԵՈՄՈՐՖՈԼՈԳԻԱ ԵՎ ԳԵՄՈՐՖՈՄԵՏՐԻԱ

Ա մ փ ո փ ո մ

Աղստև գետի ավազանի ռելիեֆի բնութագրի մոդելի հիման վրա առաջին անգամ հաշվարկվել են երկրի մակերևույթի մի շարք մորֆոմետրիկ ցուցանիշներ:

Նկարագրվել և 1:200000 մասշտաբով քարտեզագրվել են դրանց տարածական տեղաբաշխման առանձնահատկությունները:

Ելնելով այն փաստից, որ հարթավայրային գետավազաններում սովորաբար որոշակի փոխկապակցվածություն է նկատվում բացարձակ բարձրությունների և լանջերի թեքության միջև, փորձ է կատարվել տվյալ մորֆոմետրիկ ցուցանիշների միջև փոխադարձ կապ հայտնաբերել նաև լեռնային պայմաններում:

A. S. PILOYAN

ON SOME GEOMORPHOMETRIC PARAMETERS OF THE AGHSTEV RIVER BASIN OF THE RA

Summary

Based on digital elevation model of the Aghstev River basin, some morphometric parameters of the earth's surface (hypsometry, slope and aspect) were calculated for the first time. Spatial distribution patterns of morphometric variables at scale 1:200000 were described and mapped. Taking into account the fact that within flat areas of the river basin there is a certain relationship between the altitudes and slopes, an attempt was made to find relationship between those morphometric parameters in mountain conditions, too.