

О ВЫСОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ РЕЛЬЕФА ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ И МЕТОДАХ ИХ ВЫЧИСЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА МАСШТАБА 1:200000.

© 2010г. А.А. Авакян, Г.Г. Ерицян, А.С. Пилоян

*Институт геологических наук НАН РА
0019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а, Республика Армения
E-mail: avagyan@geosot.am
Поступила в редакцию 04.11.2010 г.*

Статья посвящена анализу высотных характеристик территории Республики Армения на основе цифровой модели рельефа м-ба 1:200000. Создана методическая среда, включающая необходимым образом организованные данные высот и способы их пространственного и статистического анализа. В результате исследования выявлены определенные связи между статистиками абсолютных высот, распределением площади Армении по высотным поясам и геоморфологическими особенностями рельефа.

Абсолютные высоты являются базовыми количественными данными, статистики которых в геоморфологии и ее практических приложениях используются как наиболее общие параметрические характеристики рельефа. Учитывая, что высотным характеристикам придается значимый описательный геоморфологический смысл, нами на новой количественной основе цифровой карты рельефа вычислены основные статистики, некоторые из которых не встречаются в опубликованной литературе. В статье описаны также методы определения и некоторые результаты анализа высотных характеристик.

Высотным характеристикам рельефа Армении посвящены публикации многих авторов (ՀԱՍՀ գեոմորֆոլոգիա, 1986; ՀԱՍՀ ֆիզ. աշխ..., 1971; Геология АрмССР, Геоморфология, 1986; Зограбян, 1979), однако последняя из них вышла в свет более 25 лет назад (ՀԱՍՀ գեոմորֆոլոգիա, 1986). Сравнительно новые статистические данные о высотных характеристиках содержатся в монографии Г. К. Габриеляна (Գաբրիելյան, 2000), однако они относятся к Армянскому нагорью в целом. Следует отметить, что в приведенных работах отсутствуют сведения, по которым можно оценить точность определения абсолютных высот и вычисления площадей высотных поясов. Однако очевидно, что используемые в те годы планиметрический и ручной грид способы могли привести к значительному разбросу результатов различных авторов. Об этом свидетельствует, например, тот факт, что приведенные в упомянутых выше публикациях значения средней абсолютной высоты рельефа республики, определенные по гипсометрической кривой, расходятся на десятки метров (ՀԱՍՀ ֆիզ. աշխ..., 1971; Геология АрмССР. Геоморфология..., 1986; Зограбян, 1979; Գաբրիելյան, 2000). Значения

максимальной и минимальной высот рельефа в тех же источниках также различны: минимальная (в долине р. Аракс, в Мегринском ущелье) – от 379 м (ՀԱՍՀ ֆրգ. աշխ..., 1971) до 400 м (Геол. АрмССР. Геоморфология..., 1986), а максимальная отметка (вершина г. Арагац) – 4090 (ՀԱՍՀ ֆրգ. աշխ..., 1971; Зограбян, 1979; Չափրիբեյշի, 2000) и 4095 м (Геол. АрмССР. Геоморфология..., 1986).

Из изложенного следует, что существует необходимость уточнения указанных и других основных высотных характеристик рельефа Армении. Однако не менее важным нам представляется создание методической среды, включающей необходимым образом подготовленные данные высот и способы их пространственного и статистического анализов, позволяющие трансформировать набор геодезических данных в тематическую геоморфометрическую, а затем и в геоморфологическую информацию (Берлянт, 1997; ДеМерс, 1999; Тикунов, 2005). В данной статье изложены результаты работ, выполненных с целью решения обеих задач.

Исходные значения абсолютных высот территории РА были получены цифрованием изогипс топографических планшетов масштаба 1:200000 с вертикальным разрешением 40м, которые предварительно были отсканированы, затем зарегистрированы в принятой (Пулково, 1942) координатной системе. Всего цифрованием получены значения абсолютных высот в более 4,2 млн. точек, нерегулярно распределенных на территории Армении. Методом интерполяции «Торо to Grid» в программе ESRI ArcGIS 9.2 векторные файлы были преобразованы в «грид» формат с размерами ячейки $100 \times 100 \text{ м}^2$, что обеспечивает площадное разрешение анализа высотных характеристик 0,01 кв. км. Интерполяция методом «Торо to Grid» основана на алгоритме ANUDEM, предложенном М. Хатчинсоном (Hutchinson, 1988), и используется для создания гидрографически корректных ЦМР. Метод трансформирует данные абсолютных высот в регулярную грид матрицу путем интерполяции на основе идентификации и обеспечения поверхностного стока и взвешивания сумм квадратов разностей данных высот. В результате интерполяции площадь Армении покрывается регулярной сеткой, состоящей из 2,97 млн. ячеек, центры которых методом Торо to Grid получают интерполированные значения абсолютных высот. Применено также условие «барьера», которое исключает участие в расчете точек, неприемлемых по своему расположению, например, находящихся за водоразделом.

Вопрос об оптимальном соотношении размеров грид ячеек, объема исходных данных и масштаба цифровой модели рельефа в данной статье не рассматривается. Однако значительное преобладание объема оцифрованных данных (более чем на 30%) по сравнению с числом грид ячеек, на наш взгляд, обеспечивает достаточную точность результатов.

Полученные интерполяцией данные высот для последующего анализа были разбиты на высотные пояса с интервалом 100м. Следует отметить, что данные оцифровки позволяют также рассмотреть высот-

ные пояса с интервалом до 40м и вычислить статистики абсолютных высот с таким же вертикальным разрешением.

Анализ статистических параметров абсолютных высот

Статистики абсолютных высот вычислены по интерполированным не сгруппированным значениям грид ячеек. В результате этого каждое значение взвешено по площади, т.е. каждому значению абсолютной высоты в совокупности данных соответствует одинаковая по размеру единичная площадь. По этой причине статистики информативны в отношении величины площади в том смысле, что частота встречаемости некоторой высотной отметки пропорциональна суммарной площади, на которой эта отметка встречается. По сравнению с указанным способом статистики, вычисленные по исходным оцифрованным данным менее представительно характеризуют рельеф ввиду того, что точки цифрования распределены в пространстве неравномерно. В частности, играет большую роль то обстоятельство, что территории с крутым рельефом, гипсометрически большей частью расположенные выше, по необходимости цифруются значительно большим количеством точек, т.е. представлены большим числом данных, чем ровные и подогие, в результате чего статистики завышаются по сравнению с реальными.

По совокупности интерполированных значений абсолютных высот вычислены два набора статистических параметров – для всей территории Армении и с исключением площади оз. Севан (табл. 1).

Таблица 1

Статистические параметры абсолютных высот территории Армении.

Статистические параметры		
Наименование	Величина ¹⁾ , м	Величина ²⁾ , м
Минимальное	375	375
Максимальное	4053	4053
Среднее	1851.09	1853.00
Среднее квадратичное отклонение	604.50	591.60
Модальное	2022	1898
Медианное	1885	1898

¹⁾ Параметры вычислены без учета площади оз. Севан.

²⁾ Параметры вычислены с учетом площади оз. Севан.

Минимальное (375м) и максимальное (4053м) значения абсолютных высот отличаются от соответствующих геодезически измеренных (379 и 4090м). Очевидно, что эти величины не могут иметь практического применения.

Средняя высота вычислена как средняя арифметическая всего множества интерполированных значений абсолютных высот в центрах грид ячеек. Исходя из способа вычисления, средняя высота является взвешенной по величине площади, поскольку число слагаемых в сумме значений высот равно сумме единичных площадей грид ячеек или всей изучаемой площади, в данном случае - территории Армении. В публикациях приводятся следующие значения средней высоты рельефа РА: 1830м (ՀԱՍՀ ֆիզ. աշխ..., 1971), 1800м (Геол. Арм. ССР. Геоморфология..., 1986; Зограбян, 1979), 1850м (Կարրիբյան, 2000).

Модальное значение – превалирующая абсолютная высота без учета площади оз. Севан, равно 2022м, включая площадь озера - 1898м. Соответственно способу вычисления, модальное значение может быть интерпретировано как высота, на которой расположена наибольшая площадь по сравнению с другими значениями абсолютных высот. Модальное значение больше среднего, что свидетельствует о преобладании на территории Армении площади средних и низменных морфоструктур.

Медианное значение интерпретируется как абсолютная высота, ниже и выше которой располагаются равные части площади Армении. Без учета площади оз. Севан эта статистика равна 1885м, включая площадь озера - 1898м. В обоих случаях медианное значение на 35-45м больше среднего. Для всей площади Армении модальное и медианное значения одинаковы.

Приведенные данные показывают, что статистики абсолютных высот территории Армении и их соотношение отражают сложный неоднородный рельеф, состоящий из множества морфоструктур. Становится очевидным, что для более полного понимания особенностей рельефа Армении необходим анализ высотных характеристик составляющих его отдельных морфоструктур и водосборных бассейнов.

Анализ распределения площади Армении по высотным поясам

Распределение площади Армении по высотным поясам вычислено по сгруппированным значениям абсолютных высот и представлено ниже в виде таблицы (табл. 2), гистограммы (рис. 1; 2) и кумулятивной гипсометрической кривой (рис. 3). Каждый из двух видов графиков более наглядно демонстрирует определенную специфику распределения высот.

Гистограмма представляет график распределения частоты величин абсолютных высот по заданным интервалам ее значений, на котором частота встречаемости заменена пропорциональной ей величиной – суммарной площадью высотного пояса. По форме гистограммы можно судить о том, что теоретическая кривая распределения абсолютных высот Армении возможно соответствует нормальному закону. Аналитическое определение соответствия между указанным теоретическим и статистическим распределением нами не проведено ввиду отсутствия

Распределение территории Армении по высотным поясам.

Высотные пояса, м	Площадь пояса, км ²	Площадь пояса, %	Площадь пояса, км ²	Площадь пояса, %
	Включая площадь оз. Севан		Без учета площади оз. Севан	
3500-4100	30.9	0.10	30.9	0.11
3400-3500	31.5	0.11	31.5	0.11
3300-3400	60.5	0.20	60.5	0.21
3200-3300	147.4	0.50	147.4	0.52
3100-3200	273.1	0.92	273.1	0.96
3000-3100	369.1	1.24	369.1	1.30
2900-3000	419.7	1.41	419.7	1.48
2800-2900	531.5	1.79	531.5	1.87
2700-2800	632.6	2.13	632.6	2.22
2600-2700	732.7	2.47	732.7	2.58
2500-2600	869.4	2.93	869.4	3.06
2400-2500	1049.9	3.53	1049.9	3.69
2300-2400	1290.4	4.34	1290.4	4.54
2200-2300	1536.4	5.17	1536.4	5.40
2100-2200	1802.3	6.07	1802.3	6.34
2000-2100	2075.5	6.99	2075.5	7.30
1900-2000	2130.5	7.17	2130.5	7.49
1800-1900	2768.6	9.32	1513.0	5.32
1700-1800	1555.2	5.24	1555.2	5.47
1600-1700	1581.5	5.32	1581.5	5.56
1500-1600	1689.6	5.69	1689.6	5.94
1400-1500	1284.7	4.33	1284.7	4.52
1300-1400	1010.9	3.40	1010.9	3.55
1200-1300	1052.2	3.54	1052.2	3.70
1100-1200	911.9	3.07	911.9	3.21
1000-1100	878.7	2.96	878.7	3.09
900-1000	850.8	2.86	850.8	2.99
800-900	1515.8	5.10	1515.8	5.33
700-800	275.9	0.93	275.9	0.97
600-700	201.7	0.68	201.7	0.71
500-600	105.8	0.36	105.8	0.37
375-500	35.5	0.12	35.5	0.12
Всего	29700	100.00	28500	100.00

достаточного опыта содержательной интерпретации тех или иных формальных результатов. В то же время некоторый имеющийся опыт геоморфологического анализа особенностей распределения абсолютных высот по аналогии с другими территориями позволяет сделать предположение о причинах отрицательной асимметрии гистограммы распределения абсолютных высот Армении, выраженной в том, что ее левая

часть пологая, правая - крутая. Ю. Г. Симонов (1998) такое распределение объясняет наличием высоко поднятых выровненных поверхностей с невысокими останцами, расчлененными отрицательными формами рельефа. При этом они распределены по территории так, что чем глубже врез, тем реже он встречается.

Левая и правая части гистограммы резко различны и по другому признаку распределения. От минимальных абсолютных отметок до преобладающего по площади высотного пояса площади высотных поясов увеличиваются не последовательно, а резкими скачками. В особенности по площади выдаются высотный пояс в интервале 800-900 м, соответствующий Араратской долине, и пояс в интервале 1400-1600 м, в пределах которого расположены две относительно обширные долины – Лорийская (1400-1700 м, 200 км²) и Ширакская (1550-1600 м, 60 км²). Очевидно, что и другие нарушения последовательного возрастания площадей отражают наличие реальных геоморфологических единиц. Наоборот, от максимальных отметок до преобладающей высоты 1900-2000 м площади высотных поясов последовательно экспоненциально возрастают. Возможно, это связано с тем, что на территории Армении отсутствуют большие, относительно ровные площади, расположенные выше отметки 2250-2300 м. Самые высокие межгорные котловины (Акнадаштская и Аргичинская) расположены на абсолютных высотах 2200-2250 м.

Основываясь на данных гистограммы, можно сказать, что Республика Армения представляет собой средневысотную горную страну, где доминируют высоты от 1500 до 2300 м.

Гипсометрическая кривая построена по принципу кумулятивного графика и представляет последовательно суммированные - накопленные частоты распределения высот по интервалам. Как указано выше, каждому значению абсолютной высоты соответствует единичная площадь, поэтому гипсометрическая кривая представляет собой распределение территории Армении по высотным поясам (% от всей площади), начиная от высокогорных поясов к низменным. Гипсометрическая кривая является одной из наиболее употребительных графических способов описания рельефа, а также используется в практических целях. По свидетельству Ion Zavoianu (1985), Strahler и Schumm впервые установили зависимость формы гипсометрической кривой от стадии геоморфологического развития водосборного бассейна и показали возможность интерпретации ее формы с целью анализа процесса рельефообразования. В частности, установлена определенная связь между морфологическими особенностями рельефа, формой гистограммы и гипсометрической кривой. Когда в рельефе преобладает широкий диапазон больших высот, то гистограмма имеет левую асимметрию, а гипсометрическая кривая имеет вогнутую форму. При преобладании в рельефе средних и малых высот рассматриваемые графики соответственно имеют правую асимметрию и выпуклую форму. Гистограмма абсолютных высот рельефа Армении имеет левую асимметрию и «нейтральную» по форме среднюю (по тер-

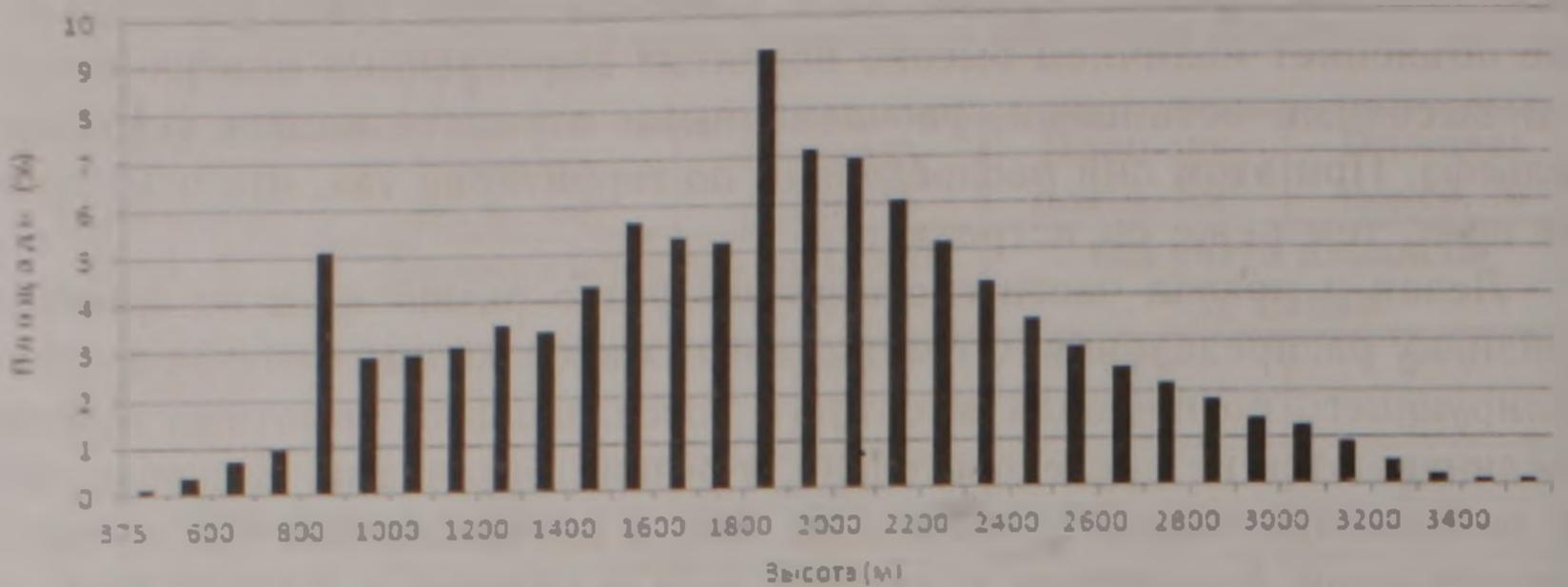


Рис. 1. Гистограмма частот высотных поясов Армении, включая площадь оз. Севан

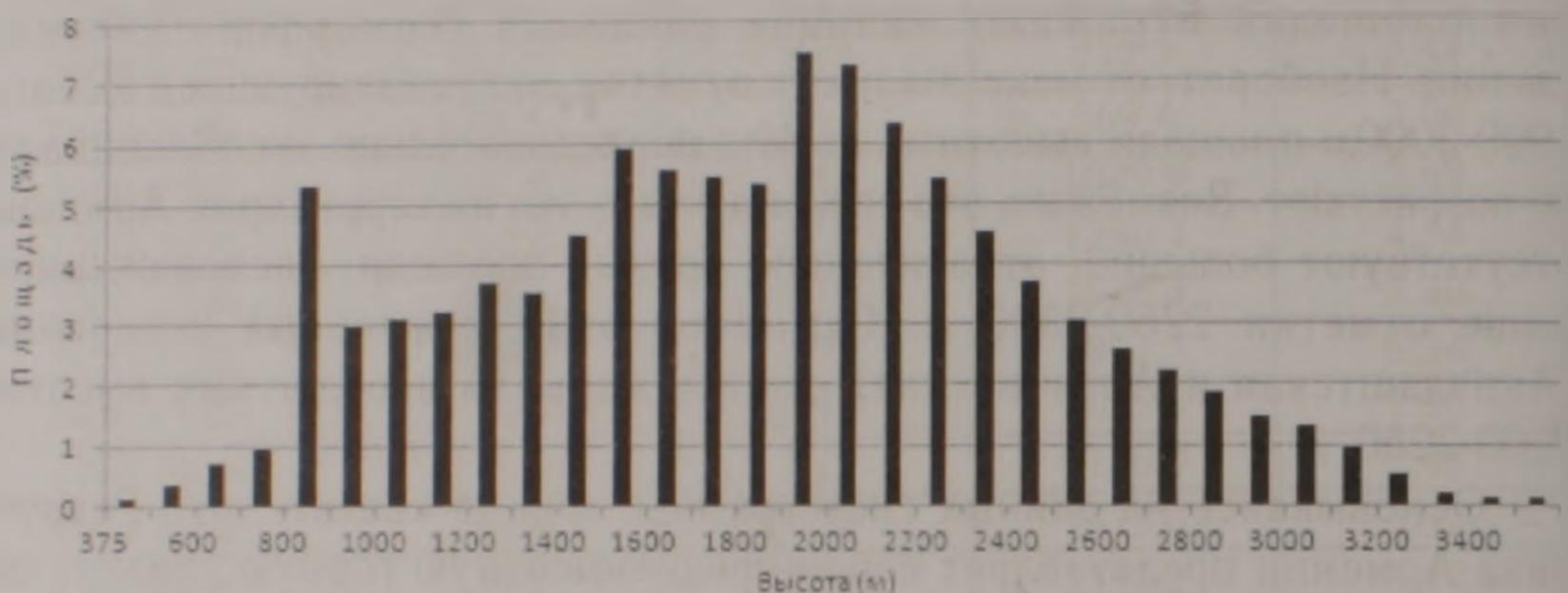


Рис. 2. Гистограмма частот высотных поясов Армении без учета площади оз. Севан
 минологии Strahler и Schumm) гипсометрическую кривую, что не противоречит тому, что преобладающие высоты на территории страны – более 60% находятся в пределах 1700 – 4000 м.

Надо отметить, что гипсометрия складчато-глыбовых гор обычно складывается неотектоническими движениями, которые в Армении являются дифференцированными (Зограбян, 1979). В пределах отдельных блоков земной коры они выражены неодинаковой степенью интенсивности и разными амплитудами. Это создает для молодых гор уровни рельефа разной высоты. При образовании же гипсометрии неовулканического рельефа наряду с неотектоническими движениями участвуют также лавовый и туфовый покровы. Однако, на территории Армении их мощность невелика (максимально несколько сотен метров), поэтому главные гипсометрические уровни в этом рельефе также выражают гипсометрию подлавого рельефа (Зограбян, 1979).

Гипсометрии Армении свойственно чередование (с севера на юг) четырех крупных областей с разными предельными и характерными уровнями высот: 1) область северных складчато-глыбовых хребтов и межгорных котловин, 2) область вулканического нагорья, 3) область южных складчато-глыбовых хребтов и межгорных котловин, 4) среднеараксинская впадина.

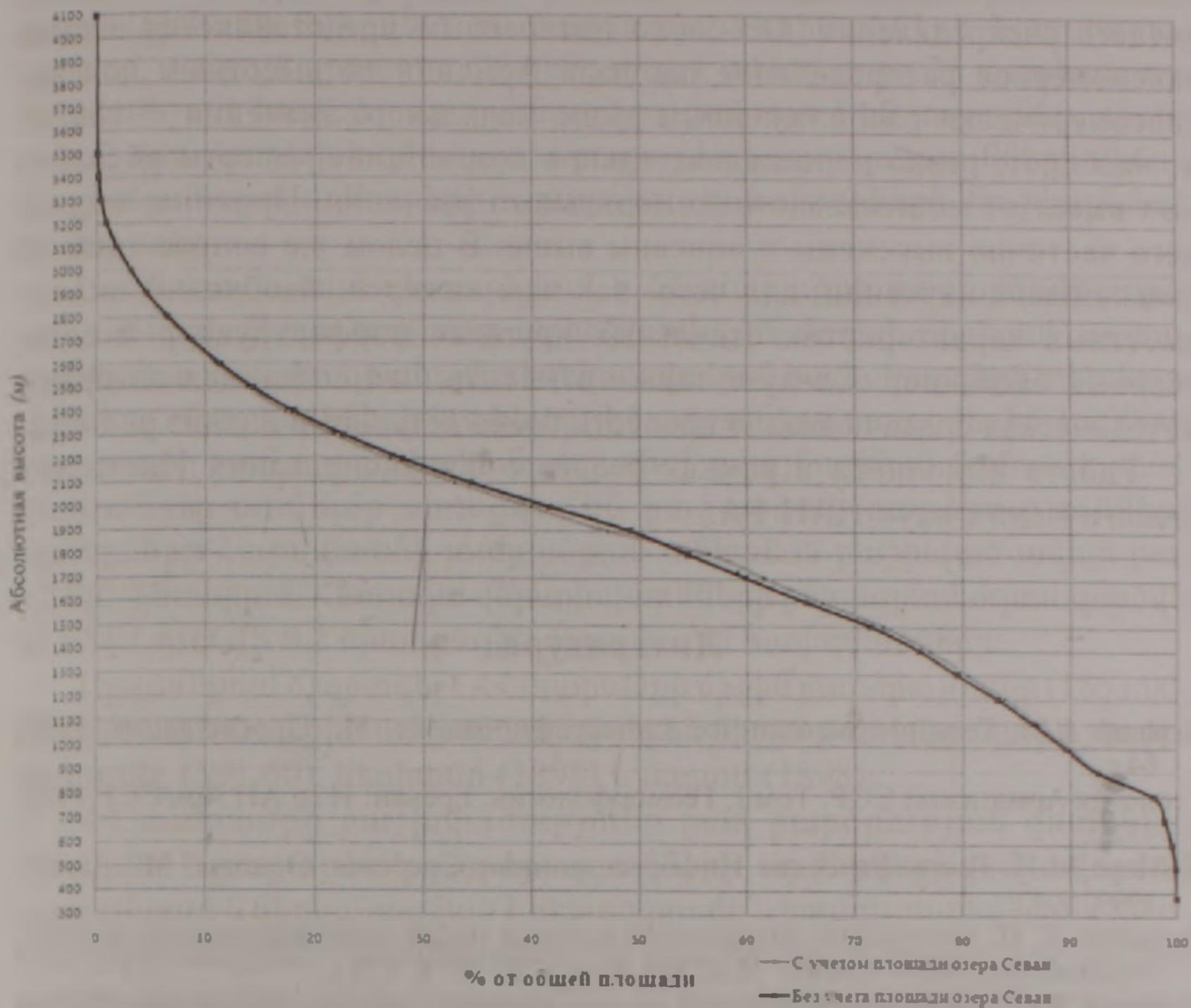


Рис.3. Гипсометрическая кривая территории Армении

Выводы

Анализ таблицы, гистограммы и гипсометрической кривой (с учетом площади оз. Севан) показывает, что 10.49 % территории Армении находятся на высоте до 1000 м, а почти половина (47.84 %) – от 1000 до 2000 метров. Территория, расположенная выше 2500 м, составляет всего 14.41 %. По орографическим и морфографическим зонам (номенклатура по Л. Зограбяну, 1979) площадь республики распределяется следующим образом: 68.23 % территории занимают средневысотные горы (1500-3000 м), более четверти (28,56 %) – низкие горы (500-1500 м). Небольшую долю площади Армении составляют предельные высоты: лишь 3.21 % – высокие горы, являющиеся наиболее приподнятыми вершинами, и 0.12 % - низменные территории высотой до 500 метров. Средняя абсолютная высота поверхности республики составляет 1851.09 м над уровнем моря.

Изложенные результаты показывают эффективность статистического анализа абсолютных высот для общей высотной характеристики сложного рельефа Армении, а также указывают на некоторые его

особенности, выразившиеся в асимметричной форме кривых статистического распределения. Особенно интересным представляется весьма закономерное распределение площади Армении по высотным поясам, гипсометрически расположенным выше модального значения – 1898 м. и, наоборот, резко непоследовательное возрастание частоты абсолютных высот от минимального до модального значения. Причины последнего частично выяснены и описаны выше. В целом же вопрос требует дальнейшего изучения, для чего, как нам кажется, необходим анализ высотных характеристик отдельных крупных морфоструктур и водосборных бассейнов. Следует также отметить, что созданная авторами методическая среда позволит провести более детальный анализ рельефа.

Работа выполнена в рамках базового финансирования Института геологических наук НАН РА.

Литература

- Берлянт А.М. Геоинформационное картографирование. М.: Просвещение, 1997, 64 с.
- Геология Армянской ССР. Том I, Геоморфология. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1986, 432 с.
- ДеМерс М.Н. Географические Информационные Системы. Основы. М.: Дата+, 1999, 504 с.
- Зограбян Л. Н. Орография Армянского нагорья (опыт орографического анализа морфоструктуры). Ереван: Изд. АН АрмССР, 1979, 119 с.
- Симонов Ю.Г. Морфометрический анализ рельефа. Москва-Смоленск: Изд-во СГУ, 1998, 272 с.
- Тикунов В.С. Геоинформатика. М.: Академия, 2005, 400 с.
- Գաբրիելյան Հ. Կ. Հայկական լեռնաշխարհ: Ուսումնական ձեռնարկ, Երևան՝ ԵՊՀ հրատ., 2000, 376 էջ:
- Հայկական ՍՍՀ գեոմորֆոլոգիա: Երևան՝ ՀՍՍՀ ԳԱ հրատ, 1986, 237 էջ
- Հայկական ՍՍՀ ֆիզիկական աշխարհագրություն: Երևան՝ ՀՍՍՀ ԳԱ հրատ., 1971, 471 էջ
- Ion Zavoian. Morphometry of Drainage Basins. Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo, 1985, 251p.
- Hutchinson. M.F. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. Third International Symposium on Spatial Data Handling, International Geographical Union, Columbus, 1988, pp.117-133.

Рецензент В. Р. Бойнагрян

**ՀՀ ՌԵԼԻԵՖԻ ԲԱՑԱՐՉԱԿ ԲԱՐՉՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ԲՆՈՒԹԱԳՐԻՉՆԵՐԸ ԵՎ ՆՐԱՆՑ ՀԱՇՎԱՐԿՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐԸ
1:200000 ՄԱՍՇՏԱԲԻ ՌԵԼԻԵՖԻ ԹՎԱՅԻՆ ՄՈԴԵԼԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ**

Ա.Ա. Ավագյան, Հ.Հ. Երիցյան, Ա.Ս. Փիլոյան

Ա մ փ ո փ ու մ

Տարածքի բացարձակ բարձրությունները հանդիսանում են այն հիմնարար քանակական տվյալները, որոնք ամենից շատ են օգտա-

գործվում ռելիեֆը բնութագրելիս: Հայաստանի ռելիեֆի բարձրությունների բնութագրմանը նվիրված են բազմաթիվ հեղինակների հրապարակումներ, սակայն դրանցից վերջինը լույս է տեսել շուրջ 25 տարի առաջ: Անհրաժեշտ է հավելել, որ դրանցում բացակայում են տվյալներ, որոնց հիման վրա կարելի է գնահատել բացարձակ բարձրությունների վիճակագրական պարամետրերի և բարձրության գոտիների հաշվարկման ճշտությունը:

Սույն հոդվածում դիտարկվում է ՀՀ տարածքի բացարձակ բարձրությունների վերլուծությունը ռելիեֆի թվային մոդելի միջոցով՝ օգտագործելով աշխարհագրական տեղեկատվական համակարգերի տեխնոլոգիաները: Հաշվարկների ելակետային տվյալները ստացվել են 1:200000 մասշտաբի տոպոգրաֆիական քարտեզի թվայնացման ճանապարհով: Ընդհանուր առմամբ ստացվել են բացարձակ բարձրությունների արժեքները Հայաստանի տարածքում անկանոն բաշխված ավելի քան 4.2 մլն. կետերում: Հետագա վերափոխումների ընթացքում օգտագործվել են ESRI ArcGIS 9.2 ծրագրային միջավայրի հավելվածները:

Արդյունքում ճշգրտվել է ՀՀ տարածքի միջին բարձրությունը (1853.00), ինչպես նաև առաջին անգամ ստացվել են միջին բառակուսային շեղվածությունը (591.60), մեդիանը (1898) և մոդան (1898):

ՀՀ տարածքի բաշխվածությունը ըստ բարձրության գոտիների ստացվել է բացարձակ բարձրությունների արժեքների խմբավորման արդյունքում և ներկայացված է հիստոգրամի և կումուլյատիվ հիպսոմետրիկ կորի տեսքով: Բացահայտվել են նաև որոշակի կապեր բացարձակ բարձրությունների վիճակագրության, ՀՀ տարածքի բաշխվածության ըստ բարձրության գոտիների և ռելիեֆի գեոմորֆոլոգիական առանձնահատկությունների միջև:

Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ ՀՀ տարածքի 10.49 % գտնվում է մինչև 1000 մ բարձրության, 47.84 % – ը 1000–ից 2000 մ բարձրության, իսկ 14.41 %–ը գտնվում է 2500 մ բարձր: Ըստ օրոգրաֆիական և մորֆոգրաֆիական գոտիների, ՀՀ տարածքի 68.23 % են կազմում միջին բարձրության լեռները (1500-3000 մ), 28.56 % են կազմում ցածրադիր լեռները (500-1500 մ):

ON ELEVATION CHARACTERISTICS AND METHODOLOGY OF ITS CALCULATIONS OF TERRAIN OF REPUBLIC OF ARMENIA BASED ON 1:200000 SCALE DIGITAL ELEVATION MODELS

A. A. Avagyan, H.H. Yeritsian, A.S. Piloyan

Absolute elevations are one of the basic quantitative data which are used for description of terrain. Many authors have had publications on the description of Armenia's relief, however the latest of them was published 25 years ago. It should be also mentioned that these publications miss some facts, which would allow assessing the accuracy of calculation of absolute elevation values and elevation zones.

This article discusses the analysis of absolute elevations based on the Digital Elevation Models and use of GIS. DEMs were derived from 1:200000 scale topographic maps by digitization of contours and elevation spots. In total 4.2 million absolute elevation values irregularly distributed in the territory of Armenia were digitized and processed using ArcGIS 9.2 software from ESRI.

As a result, the average altitude (1853 m) has been adjusted and for the first time standard deviation (591.6), median (1898) and mode (1898) have been calculated.

Distribution of Armenia's territory by elevation zones was done by grouping of elevation values and is presented by histograms and cumulative hypsometric curve. At the same time certain relationships have been revealed among the elevation statistics, distribution of elevation zones and geomorphological features of the terrain.

The obtained results show that 10.49% of Armenia's territory is below 100m elevation, 47.84% is between 1000 and 2000 and 14.41% is higher than 2500 m. By orographical and morphological zones 68.23% of the territory are mid-elevation mountains (1500-3000m), 28.56% are low-elevation mountains (500-1500m).