

## РАЗНОМАЩАБНА МОРФОГРАФСКА КЛАСИФИКАЦИЯ НА АДА ТЕПЕ И ВОДОСБОРНИЯ БАСЕЙН НА РЕКА КРУМОВИЦА (ИЗТОЧНИ РОДОПИ)

*Емилия Черкезова*

### УВОД

Морфометричното и морфографското описание на релефа се различава от геоморфоложкото, което се извършва посредством характеристика на денудационните нива, речните/морските тераси и отделни форми на релефа с различен генезис. Морфометричният и морфографският анализ служи за количественото описание на морфометрични или морфографски единици (P i k e, 1988, 1993; K l e e f i s c h, K ö h t e, 1991; T c h e r k e z o v a, 2004; Ч е р к е з о в а, 2011a), поради което намират широко приложение в комплексните геоморфоложки изследвания.

До момента няма унифицирани и универсални методи за идентифициране на морфометрични променливи и морфографски единици чрез геоморфоложки анализ на цифров модел на релефа (ЦМР). Световен принос в развитието на цифровия морфометричен анализ имат E v a n s (1972), D i k a u (1989), S c h m i d t, D i k a u (1999), K ö h t e, L e h m e i e r (1991), M o o r e et al. (1991), W o o d (1996), T a r b o t o n (1997), E v a n s, M i n a r (2012) и др. Техните и на други автори разработки се базират на предишни морфометрични изследвания чрез картометричен анализ, като например изследванията на S t r a h l e r (1952, 1957, 1964) и др. Съществуват различни класификации на морфометричните параметри и променливи (K l e e f i s c h, K ö h t e, 1991; M o o r e et al., 1991), както и алгоритми за тяхното изчисление (T c h e r k e z o v a, 2004). Екстрахирането на морфографската структура на релефа обаче се явява едно от основните предизвикателства на параметризирането на ЦМР. Една от основните причини за това е, че релефът на земната повърхност се характеризира със сложна морфоскульптура, което усложнява нейното автоматизирано идентифициране и екстрахиране от ЦМР. Досегашните изследвания и резултати показват, че локалните морфометрични променливи на релефа (наклон и форма на склон) са в основата

на дефиниране на морфографските му елементи посредством автоматизиран геоморфоложки анализ на ЦМР (напр. S p r e i g h t, 1973, 1976; K l e e f i s c h, K ö h t e, 1991; D i k a u, F r i e d r i c h, 1999; K ö h t e, 2012 и др.). В световен мащаб понастоящем съществува неголям брой подходи и алгоритми за екстрахиране на морфографски елементи. Сред утвърдените от тях са на D i k a u et al. (1995), W o o d (1996), W i l l s o n, G a l l a n t (2000), F i s c h e r et al. (2004), J e n n e s s (2006), K ö h t e (2012).

Многомащабното екстрахиране и класифициране на формите на релефа е една от основните цели на морфометрията (E i s a n k et al., 2011). Една от основните причини за това е, че релефът на земната повърхност в глобален мащаб се характеризира с голямо разнообразие на форми както по генезис, така и по размер.

В настоящата статия е направена морфографска класификация с помощта на разномащабна квадратична апроксимация на локален движещ се прозорец. Получените резултати са използвани като класификационни критерии в извършената морфографска класификация с помощта на метода на размита логика (Ч е р к е з о в а, 2012).

## РАЙОН НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Водосборният басейн на р. Крумовица има географски координати  $41^{\circ}16'32.22''$  и  $41^{\circ}37'32.72''$  сев. ш. и  $25^{\circ}25'17.80''$  и  $25^{\circ}47'20.91''$  изт. дължина, а Ада Тепе (община Крумовград)  $41^{\circ}25'15.70''$  и  $41^{\circ}27'13.77''$  сев. ш. и  $25^{\circ}38'25.27''$  и  $25^{\circ}40'35.34''$  изт. д. (Ч е р к е з о в а, 2012, фиг. 1). Южната граница на водосборния басейн на р. Крумовица съвпада с държавната граница с Република Гърция, а на север реката се влива в р. Арда, западно от стената на яз. „Студен кладенец“. Меридионално разположеният Стръмни рид и североизточното му разклонение „Св. Илия“ представляват западната вододелна граница на речния басейн. На изток вододелната граница се очертава от рида Голямо Каменяне, понижава се по вододела между Бююкдере (десен приток на р. Крумовица и Бяла река) – 430–480 m, и продължава до вр. Ирантепе (Иранов връх, 817 m). Оттук продължава в североизточна посока по вододела, откъдето извира притоците на р. Дюшун дере, десен приток на р. Крумовица. При вр. Казълтепе (616,2 m) вододелната линия завива на северозапад, пресичайки рида на вр. Кююкхисартепе (598,4 m), откъдето сменя посоката си на север, и пресичайки вододелни била със значително по-ниска надморска височина (468,1 m и 298,2 m), достига до брега на р. Арда.



## МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

1. В настоящата работа са използвани цифровите топографски данни SRTM (версия 4 – CIAT V4) с резолюция 90×90 m (J a r v i s et. al., 2008) за целия район на изследване и данни от въздушно лазерно сканиране (LiDAR) за района на Ада Тепе (община Крумовград). Те са основа за генериране на цифрови модели на релефа с пространствена резолюция съответно 30×30 m и 5×5 m (Ч е р к е з о в а, 2011б; 2012).

2. Едни от най-често използваните единици, екстрахирани от цифров модел на релефа, са понижения (*pits*), върхове (*peaks*), речни долини (*channels*), била и ридове (*ridges*), седловини, проходи/проломи (*passes*) и заравнености (равнини, полета и др.) (*planes*) (W o o d, 1996, стр. 112). Тези единици могат да бъдат интерпретирани от геоморфоложка гледна точка. Дефинирани са от W o o d (1996, p.113) по следния начин (табл. 1).

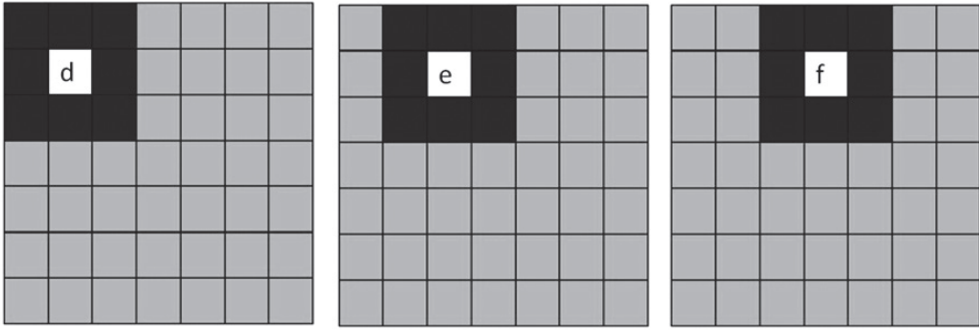
Т а б л и ц а 1

*Морфографски единици, екстрахирани от ЦМР (по W o o d, 1996, p. 113)*

Морфографска единица	Кратко описание
Връх (Peak)	Точка от топографска височина (напр. планина, хълм, могила), по-висока от съседните на нея точки.
Било/рид (Ridge)	Точка, която се намира на топографска височина ( <i>local convexity</i> ) перпендикулярно на линия без конвексен (изпъкнал) или конкавен (вдлъбнат) профил.
Проход, понижения в билата на планинските хребети, седловини (Pass)	Точка, която се намира на топографска височина ( <i>local convexity</i> ) перпендикулярно на точка на вдлъбнат профил ( <i>local concavity</i> ).
Заравнена топографска повърхност (Plane)	Точки, които не лежат на конвексни или конкавни профили на топографската повърхнина
Речен канал (Channel)	Точка, която се намира във вдлъбнат профил, перпендикулярно на права линия.
Понижение (Pit)	Точка, която се намира във вдлъбнат профил (точка на вдлъбнатата топографска повърхнина), по-ниска, от съседните на нея точки.

3. Морфографската класификация в настоящото изследване е извършена по метода, описан от W o o d (1996), с геоморфоложкия софтуер LandSerf. Той се базира на разномасщабна квадратична апроксимация на локален движещ се прозорец (фиг. 2). Изчислението на всеки един централен пиксел в него (напр. локален прозорец от 3×3 пиксела) се извършва спрямо съседните му пиксели чрез придвижване на локалния прозорец по растера.

В настоящото изследване екстрахирането на горепосочените морфографски единици се осъществява по метода на W o o d (1996) чрез следните морфометрични променливи: наклон на склон (*slope*), напречна локална извитост на



Фиг. 2. Принцип на метода за изчисление на централен пиксел в „движещ се прозорец“ (*moving window*) (Примерът е за движещ се прозорец 3×3 пиксела, напр. за изчисление на пиксели „d“, „e“ и „f“ са привлечени съседните на него 8 пиксела. Придвижвайки се по този начин се изчислява стойността на всеки един пиксел от растера – в сив цвят.)

склон (*cross-sectional curvature – crossc*), надлъжна локална извитост на склон (*longitudinal curvature – longc*), максимална и минимална изпъкналост на склон (*maximum and minimum convexity values – maxic-minic*) (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Класификационни критерии за идентифициране на основни морфографски единици (по *Wood, 1996, p.117, Table 5.3*)

Морфографска единица	Наклон на склон ( <i>slope</i> )	Напречна локална извитост на склон ( <i>crossc</i> )	Максимална изпъкналост на склон ( <i>maxic</i> ) – конвексен склон	Минимална вдлъбнатост на склон ( <i>minic</i> ) – конкавен склон
Връх ( <i>peak</i> )	0	# <sup>1</sup>	+ <sup>2</sup>	+
Било, рид, хребет ( <i>ridge</i> )	0 +	# +	+ #	0 #
Проходи, седловина ( <i>pass</i> )	0	#	+	- <sup>3</sup>
Заравнена повърхност, напр. равнина ( <i>plane</i> )	0 +	# 0	0 #	0 #
Речна долина ( <i>channel</i> )	0 +	# -	0 #	- #
Негативна форма на релефа ( <i>pit</i> )	0	#	-	-

<sup>1</sup> недефиниран или неселектиран критерий

<sup>2</sup> положителна стойност

<sup>3</sup> отрицателна стойност

Напречната локална извитост на склоновете (*crossc*) се използва за идентифициране на изпъкналите склонове – ридовете например имат положителни, а речните долини – отрицателни стойности на тази променлива. Надлъжната локална извитост на склоновете (*longc*) се използва допълнително за идентифициране на морфографските единици върхове (*peaks*), проходи, седловини (*passes*) и понижения (*pits*). Последните имат отрицателни стойности на *crossc* и *longc*, върховете имат положителни стойности на *crossc* и *longc*, а при проходи и седловини напречната и надлъжната извитост на склоновете имат противоположни стойности (Wood, 1996, p. 114). Горепосочените морфометрични променливи предоставят заедно пълен и уникален набор от възможности за определяне на всичките шест морфографски характеристики (Wood, 1996, p. 115, tabl. 5.2). В настоящото изследване е използван опростен метод на Wood (1996, p. 115, tabl. 5.3) за идентифициране на основните морфометрични единици. Локалните пиксели (точки) на върховете и негативните форми на релефа имат по тези критерии нулеви стойности на наклон на склон, докато стойностите на наклона на склоновете за била и заравнености, както и за речни долини, може да бъдат нулеви или положителни. Речните долини обаче се идентифицират посредством отрицателни стойности на конкавните (вдлъбнати) форми на терена (табл. 2).

## РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

От цифровите модели на релефа на изследваните водосборни басейни са екстрахирани основните му морфометрични променливи, които са използвани като критерии за идентифициране на морфографските единици върхове, била/ридове, проходи/седловини, понижения, равнини/полета. Фиг. 3 представя получените резултати за района на Ада Тепе (община Крумовград).

За изследваните водосборни басейни и Ада тепе е направена морфографска класификация чрез използване на критериите за класифициране, посочени в табл. 2. Фиг. 4 показва получените резултати за Ада Тепе и водосборния басейн на р. Крумовица. Те са използвани като критерии на разномасштабната квадратична апроксимация на локален движещ се прозорец. Използван е различен размер движещия се прозорец: 25, 9 и 5 пиксела, като получените резултати отразяват различна степен на генерализация.

За идентифициране на върхове, проходи/седловини и негативни форми на релефа са използвани прагове на наклон на склон  $1^\circ$  и за извитост на склон (изпъкнал/вдлъбнат) пропорция 0,1. Последният може да варира до 0,5, като по-голяма площ в такъв случай се класифицира като заравнена.

Получените резултати могат да послужат за по-прецизна геоморфоложка експертна класификация, физикогеографски изследвания, както и да бъдат комбинирани с други слоеве данни, като геология, геоморфоложка карта, почвена карта и др.

Получените резултати са използвани като класификационни критерии при извършване на морфографска класификация с помощта на размита логика и допълнени с екстрахиране на върхове на отделните позитивни геоморфоложки еди-

ници (Черкезова, 2012). Те показват, че за извършване на достоверна морфографска класификация е необходим подбор на верни входни параметри, който може да бъде подпомогнат именно посредством разномасщабна резолюция на локалния движещ се прозорец, както и чрез качествен цифров модел на релефа.

Сравнени с топографски карти и теренни изследвания, резултатите показват, че използваният метод на разномасщабна квадратична апроксимация на локален движещ се прозорец позволява класификация на мезорелефа в шест основни категории: а) върхове; б) била, ридове, хребети; в) проходи, седловини; г) заравнени повърхности (равнини, склонови стъпала, речни тераси и др.); д) речни долини и е) негативни форми на релефа. За по-детайлна класификация обаче е необходимо използване на конвенционални геоморфоложки методи, като напр. извършване на теренни изследвания и картиране.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНИ ИЗВОДИ

В статията е направено екстрахиране на морфографски единици във водосборния басейн на р. Крумовица чрез използване на разномасщабна квадратична апроксимация на локален движещ се прозорец. Тя се базира на класификационни критерии, създадени на базата на следните морфометрични единици: наклон на склон, напречна локална извитост на склон, максимална извитост на склон и минимална вдлъбнатост на склон.

Получените резултати са използвани като класификационни критерии за извършване на морфографска класификация с помощта на размита логика (Черкезова, 2012). Те са в растерен формат и могат да бъдат анализирани и комбинирани с други пространствени данни в ГИС-среда. Макар този вид класификации на релефа да се ограничават в екстрахиране на горепосочените морфографски единици, тяхната геоморфоложка и геоекологична стойност по нищо не се отличава от ръчно създаваните в миналото морфометрични и морфографски карти. Нещо повече, благодарение на възможностите на ГИС за пространствен анализ, тези резултати дават възможност да бъдат многократно използвани и/или комбинирани с различни видове тематични геоданни и да служат като базисна информация за теренни изследвания.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Изследването на Ада Тепе (община Крумовград) е в рамките на проект „Рамков договор между Балкан Минерал енд Майнинг ЕАД и Националния археологически институт с музей към БАН за спасително научно проучване на златодобивен рудник от късната бронзова и ранната желязна епоха в Ада Тепе (община Крумовград)“. Финансирането на въздушното лазерно сканиране на този район е финансирано от Балкан Минерал енд Майнинг ЕАД.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

- Балтаков, Г. Кендерова, Р. Сарфова, А., Е. Черкезова. 2010. Оценка на съвременните геоморфоложки (ерозионно-денудационни) процеси в Огражден, Малешевска и Влахина планини и тяхната връзка с промените в земеползването“. Научен финален доклад към проект № БМ – 9/2007 към МОН – Фонд „Научни изследвания“ / № ДО1-1234/2007 – МОН. 2010.
1. Черкезова, Е. 2011а. ГИС-базиран морфометричен анализ на българската част на Огражден и Югоизточна планина. – ГЕОграфия‘21, брой 6, 2011 г., VI (LIV), 3–11.
- Черкезова, Е. 2011б. Обработка на данни от въздушно лазерно сканиране. Генериране и анализ на цифрови модели на релефа и земното покритие с цел идентифициране и екстрахиране на геолого-геоморфоложки структури и археологически и геоморфоложки обекти за целите на археологическото изследване в района на Ада Тепе (общ. Крумовград). Доклад по проект „Рамков договор между Болкан Минерал енд Майнинг ЕАД и Националния археологически институт с музей към БАН за спасително научно проучване на златодобивен рудник от късната бронзова и ранната желязна епоха в Ада Тепе (общ. Крумовград)“.
2. Черкезова, Е. 2012. Морфографска класификация на водосборните басейни на реките Арда, Върбица и Крумовица (Източни Родопи) чрез метода на размита логика. –Проблеми на географията, бр. 3–4.
- D i k a u, R. 1989. The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology. – In: R a p e r, J. (ed.). Three dimensional applications in Geographical Information Systems. Taylor & Francis, London, NY, Philadelphia, 51-77.
- D i k a u, R., K. F r i e d r i c h. 1999. Digitale Reliefmodellierung. – In: Zepp, H., M.J. Müller [Hrsg.]. Forschungen zur deutschen Landeskunde. Band 244. Landschaftsökologische Erfassungstandards. Ein Methodenbuch. Deutsche Akademie für Landeskunde, Selbstverlag, 24937 Flensburg. 50-74.
- D i k a u, R., E. E. B r a b b, R. K. M a r k, R. J. P i k e. 1995. Morphometric landform analysis of New Mexico. – Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl-Bd 101, Berlin-Stuttgart, 109–126.
- E i s a n k, C., L. D r ä g u t, T. B l a s c h k e. 2011. A generic procedure for semantics-oriented landform classification using object-based image analysis. – Geomorphometry.org, accessed February, 2012.
- E v a n s, I. S. 1972. General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. – In: C h o r l e y, R. J. (ed.). Spatial Analysis in Geomorphology, Methuen, London, 17–90.
- E v a n s, I. S., J. M i n a r. 2011. A classification of geomorphometric variables. – Geomorphometry.org. Accessed February, 2012.
- F i s c h e r, P., J. W o o d, T. C h e n g. 2004. Where is Helvellyn? Fuzziness of multi-scale landscape morphometry. – In: Transactions of the Institute of British Geographers, NS 29 106–128. ISSN 0020-2754, © Royal Geographical Society (with The Institute of British Geographers).
- J a r v i s, A., H. I. R e u t e r, A. N e l s o n, E. G u e v a r a. 2008. Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database. (<http://srtm.csi.cgiar.org>).
- J e n n e s s, J. 2006. Topographic Position Index (tpi\_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.3a. Jenness Enterprises. Available at: <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>
- K l e f f i s c h, B., R. K ö h t e. 1991. Wege zur rechnergestützten bodenkundlichen Interpretation digitaler Reliefdaten. – Geol. Jb. Hannover, 119.



- K ö h t e, R. 2012. A new System of Terrain Classification. – In: e-SOTER FP7-project. Accessed 2012: <http://www.esoter.net/?q=category/files/files>.
- K ö h t e, R., F. L e h m e i e r. 199. „Digitale Reliefanalyse“ – Ein Projekt zur geomorphologischen Auswertung digitaler Geländemodelle (DGM). – Freib. Geogr. Hefte, 34, Freiburg, 99–109.
- M o o r e, I. D., G r a y s o n, R. B., A. R. L a d s o n. 1991. Digital Terrain Modelling: a Review of Hydrological, Geomorphological and Biological Applications. – Hydrological Processes 5(3), 3-30.
- P e u c k e r, T. K., D. H. D o u g l a s. 1974. Detection of surface specific points by local parallel processing of discrete terrain elevation data. – Computer Graphics and Image Processing 4, 375-387.
- P i k e, R. 1988. The geometric signature: quantifying landslide terrain types from digital elevation models. – Mathematical Geology, 20, 491-511.
- P i k e, P. 1993. A bibliography of geomorphometry. – In: United States Geological Survey Open-File Report 93-262-A, Menlo Park, CA. 132 p.
- S p e i g h t, J.G. 1973. A parametric approach to landform regions. – Institute of British Geographers Special Publication 7: Progress in Geomorphology, 213–230.
- S p e i g h t, J.G. 1976. Numerical classification of landform elements from air photo data. – Zeitschrift für Geomorphologie, 154–168.
- S c h m i d t, J., R. D i k a u. 1999. Extracting geomorphometric attributes and objects from digital elevation models – semantics, methods, future needs. – In: D i k a u, R., S a u r e r (eds.). GIS for Earth Surface Systems. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart, 153-173.
- S t r a h l e r, A.N. 1952. Dynamik Basis of Geomorphology. – In: K i n g, C.A.M. [Ed.] (1976): Landforms and Geomorphology. Concepts and History. —Benchmark Papers in Geology/28, Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. Stroudsburg, Pennsylvania. 322–327.
- S t r a h l e r, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. — Transactions American Geophysical Union, 38. 1957, 913–920.
- S t r a h l e r, A.N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. – Handbook of applied hydrology, McGraw-Hill Book, Co., New York.
- T a r b o t o n, D.G. 1997. A New Method for the Determination of Flow Directions and Contributing Areas in Grid Digital Elevation Models. – In: Water Resources Research, 33(2), 309-319.
- T c h e r k e z o v a, E. 2004. GIS-gestützte geomorphologische Untersuchungen an Beispielen aus dem nördlichen Teil der Bucht von Burgas (Schwarzmeerküste, Bulgarien). – Berliner Geographische Studien. Band 52. D 83. Berlin. 191 Seiten mit CD-Rom.
- W i l l s o n, J.P., J.C. G a l l a n t. 2000. Terrain Analysis. Principles and Applications. John Wiley & Sons, New York. 479 p.
- W o o d, J. 1996. The geomorphological characterisation of Digital Elevation Models. PhD Thesis Department of Geography, University of Lancaster, UK. Available: <http://www soi.city.ac.uk/~jwo/phd/>.

*Департамент География на НИГГГ – БАН*

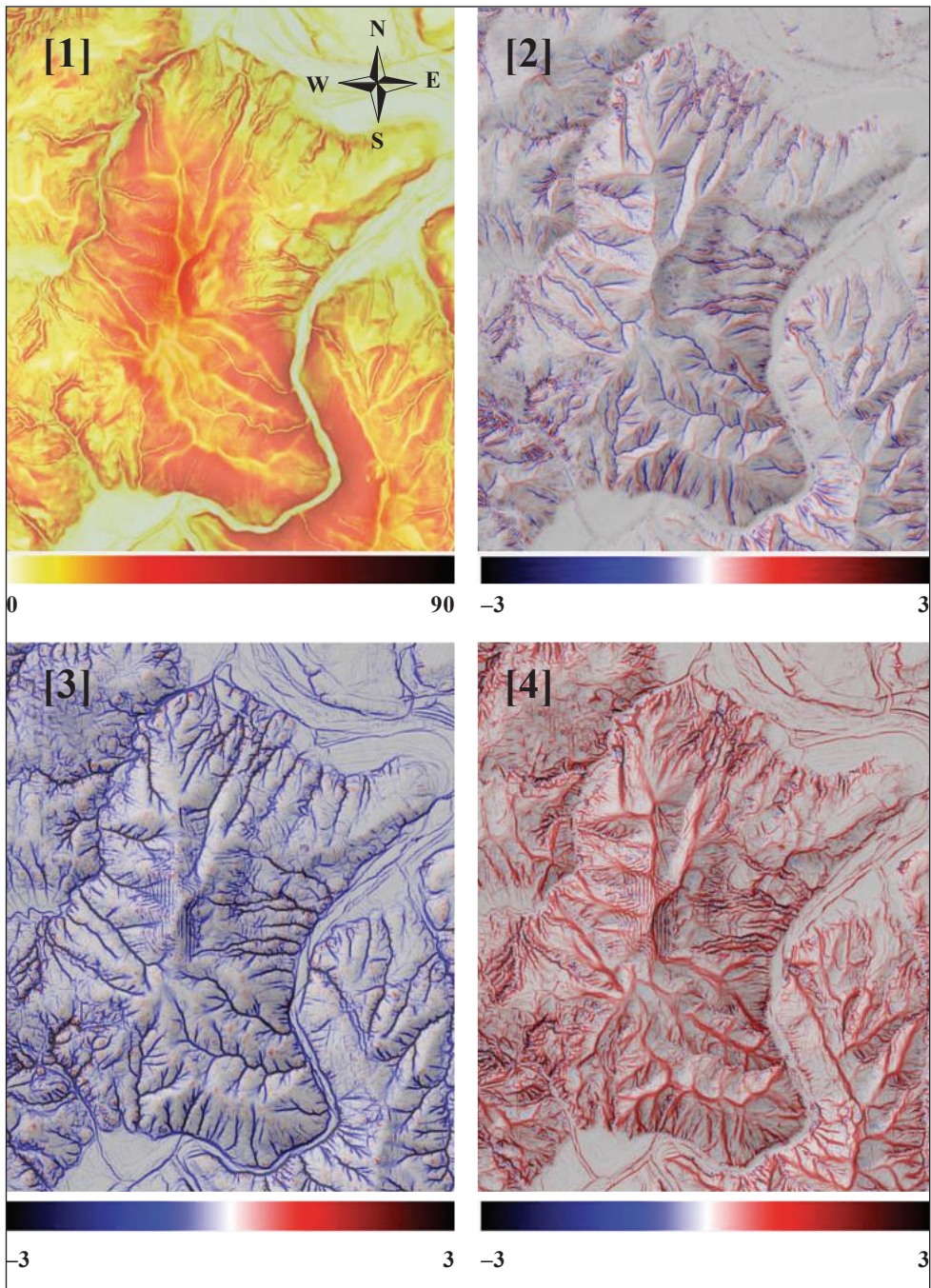
MULTI-SCALE LANDFORM CLASSIFICATION OF KRUMOVITSA  
WATERSHED BASIN (EASTERN RHODOPE MOUNTAINS,  
SOUTHERN BULGARIA)

*E. Tcherkezova*

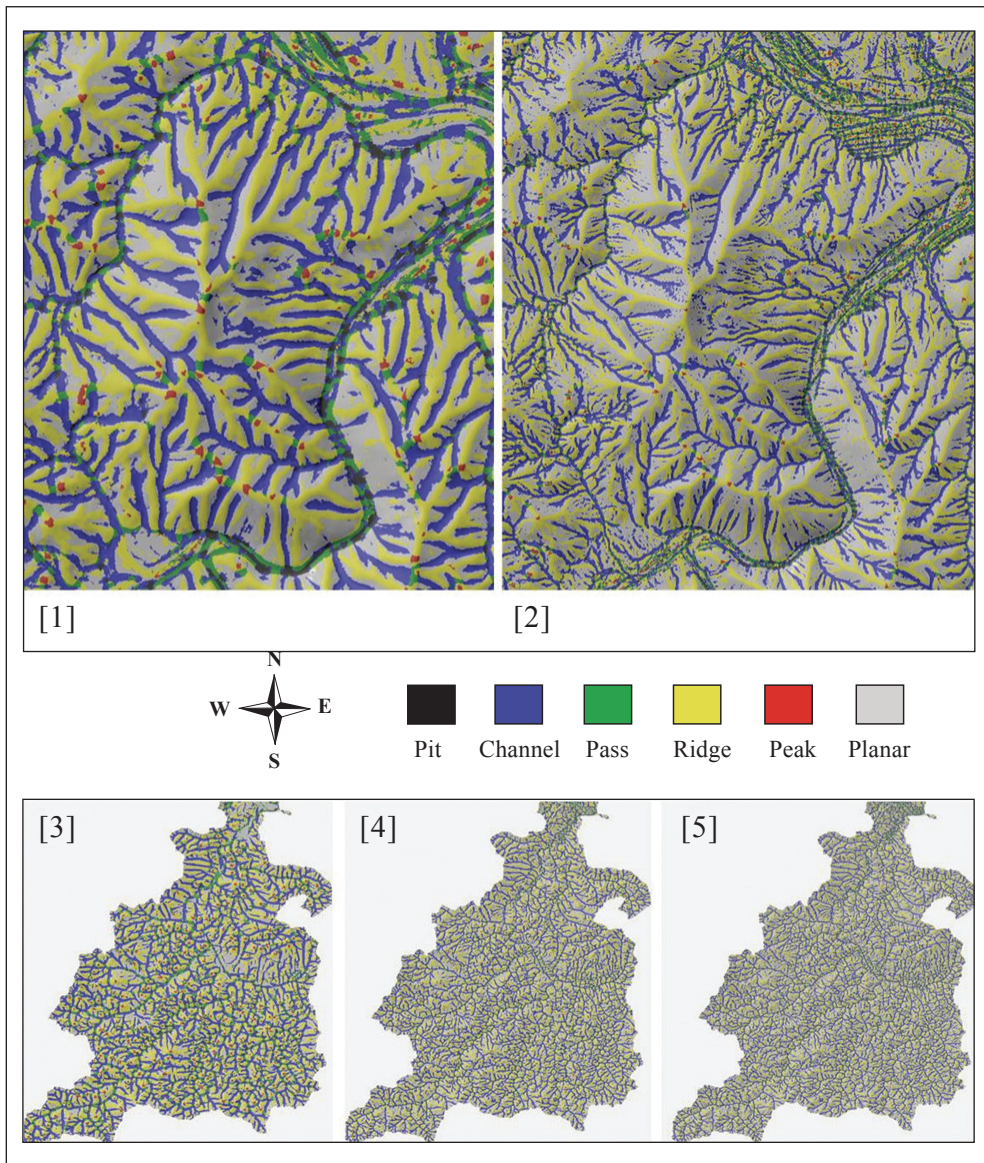
(S u m m a r y)

In this paper a landform classification of the watershed basin of Kroumovitsa is presented. The landform feature extraction is based on multi-scale quadratic approximation of some local moving windows. First, some geomorphometric derivatives were spatially delineated in the study areas: slope, cross-sectional curvature, maximum convexity values and minimum convexity values. These are used as criteria for the multi-scale quadratic approximation of some local moving windows. The result represents the landform units peaks, ridges, channels, plains and pits. This information can be used to determine the fuzzy membership of those landforms that indicate the degree of peakness, ridgeness, channeless etc. The results of applying this process are grids. They can be analyzed together with other relevant spatial data. The classification methods are useful for the extraction of landform units in the investigation mountain areas in different scales. They can be combined with other geomorphological methods.

*Key words:* Digital terrain Models (DTM), landform classification, geomorphometry, fuzzy logic, SRTM – Shuttle Radar Topography Mission, Airborne Laser Scanning (ALS) – LiDAR.



Фиг. 3. Критерии за морфографска класификация на примера на Ада Тепе (общ. Крумовград): 1 – наклон на склон, изчислен по метода алгебрична регресия (по Wood, 1996); 2 – напречна локална извитост на склон; 3 – конкавни форма на склон; 4 – конвексна форма на склон; размер на локалния двицещ се прозорец – пет пиксела



Фиг. 4. Морфографска класификация на релефа на Ада Тепе (общ. Крумовград) и водосбора на р. Крумовица: размер на прозореца в пиксели: 1 – 25; 2 – 9; 3 – 25; 4 – 9; 5 – 5