

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СТЕПЕНТА НА ГЕОЛОЖКА ОПАСНОСТ В ИЗТОЧНИТЕ РОДОПИ ЧРЕЗ ПРИЛАГАНЕ НА МЕТОДА НА РАЗМИТАТА ЛОГИКА (FUZZY LOGIC)

Георги Желев

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: gjelev@space.bas.bg

Ключови думи: геоложка опасност, Източни Родопи, размитата логика (Fuzzy Logic), ГИС-база данни

Резюме: Процесите, протичащи в литосферата, с чието действие пряко се застрашава животът на хората и изградените от тях материални ценности съставляват геоложката опасност.

Пространственото дефиниране на рисковите геоложки процеси в настоящото изследване се базира на многофакторен анализ и метода на размитата логика. Като главни фактори са изведени способността на геоложката основа на разрушаване, характеристиката на пространственото разпределение на земната покривка, речната мрежа, действителните наклони на склоновете, хоризонталното и вертикално разчленение на релефа, климатична обстановка, сеизмично райониране и др. Чрез прилагане на метода на размитата логика е определено тяхното комбинирано влияние и териториално съчетание, като основният критерий при определяне на райони с различна степен на геоложка опасност. Съставената ГИС-база данни за изследвания района в Източните Родопи включва референтен набор от растерни и векторни данни, данни от дистанционните изследвания и данните от теренни наблюдения. Генерирани са 16 растерни слоя, които участват като базови при прилагане на метода на размитата логика. Като краен резултат е съставена „Карта на потенциалните райони на геоложка опасност“ с три степени на геоложка опасност.

FUZZY LOGIC BASED METHOD FOR ASSESSMENT OF GEOLOGICAL HAZARDS IN THE EASTERN RHODOPE MOUNTAINS

Georgi Jeleu

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: gjelev@space.bas.bg

Keywords: geological hazard, Eastern Rhodope, Fuzzy logic, GIS-data base

Abstract: The processes in the lithosphere which directly threaten the lives of people and their property are referred to as geologic hazards. The spatial determination of geological risk in this study is based on multi-criteria analysis and fuzzy logic method. As major factors are derived: susceptibility of rocks to weathering, spatial distribution of land cover, river network, actual slope gradients, relief amplitudes, density of river network, climate conditions, seismic zoning and other factors. By applying fuzzy logic their combined influence and spatial combinations are determined as a main criterion for delineation of areas with varying degrees of geologic hazard. The GIS database generated for the area of the Eastern Rhodope includes a reference set of raster and vector data, data from remote sensing and data from field observations. Sixteen raster layers are generated, which act as base for applying the fuzzy logic. The final result is a map of areas of potential geological hazards with three degrees of geological hazards.

Природни рискови процесите, протичащи в литосферата, с чието действие пряко се застрашава животът на хората и изградените от тях материални ценности съставляват геоложката опасност.

В България са описани близо 100 вида природни опасности, 60 от които са геоложки опасности, като 24 от тях се наблюдават в района на изследване. Те са неравномерно разпределени както пространствено, така и времево и са с различна степен на въздействие.

Сложната геоложка обстановка, специфичните климатични условия и активната антропогенна дейност в района на изследване, предопределят развитието на почти целия спектър от природни бедствия. По начин на проявление геолого-геоморфоложките рискови фактори включват разрушителни процеси с внезапно действие или с периодично активиране, процеси и явления с непрекъснато действие и процеси и явления, водещи до внезапни рискови ситуации. Природните бедствия са обвързани помежду си и често едно води второ и трето след себе си (И. Бручев и др., 1994; Г. Мардиросян, 1993, 1995, 1999, 2006; *Geohazard Map of the Balkans*, 2008; Г. Мардиросян и др. 2010; Е. Иванова и др. 2010; Р. Берберова, 2012, 2012а и др.).

В Източните Родопи наличието на редица резервати („Вълчи дол“, „Женда“, „Чамлъка“ и „Борово“) и защитени местности („Юмрук скала“, „Рибино“ и др.), (Г. Железов, 2002) предопределят установяването на териториалния обхват и степените на геоложки опасности.

С прилагане на метода на размитата логика може да се определят райони с различна степен на геоложка опасност (проявата на различни видове рискови геоложки процеси) чрез анализиране на тяхното комбинирано влияние и териториално съчетание (P. Champati ray et al., 2007; В. Стоянов и др., 2007; Srivastava V. et al., 2010; L. Pashova, 2010; E. Sujatha et al., 2011; Pl. Zlateva et al., 2011a, 2011b и др.).

Пространственото дефиниране на рисковите геоложки процеси в настоящото изследване се базира на многофакторен анализ и метода на размитата логика. Като главни фактори са изведени способността на геоложката основа на разрушаване и дезинтеграция, сеизмичната активност, характеристика на пространственото разпределение на земната покривка, речната мрежа, действителните наклони на склоновете, хоризонталното и вертикално разчленение на релефа, климатична обстановка и др.

Определяне на теглото на членството на тези фактори се определя чрез използване на линейна функция на принадлежност и чрез експертна оценка, базираща се на три съображения: тежестта на последствията (загуба на човешки живот, телесни повреди, имуществени щети), честотата на възникване на събитието, както и трудностите при предотвратяване или намаляване на последиците от него. Най-големите тежести са на земетресения, свлачищата, следвани от ерозия, селени потоци и т.н.

1. Район на изследване

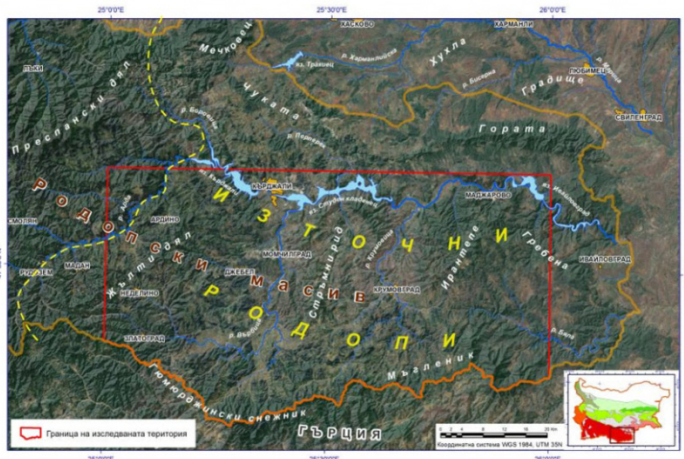
Източните Родопи заемат по-малка част от Рило-Родопския масив и обхващат 5 839 km². Изследваният район попада в южната част на Източни Родопи и е с площ – 3 365 km².

По-големи населени места са Кърджали, Крумовград, Момчилград, Джебел, Ардино, Маджарово, Неделено и др. Релефът е с нископланински (полупланински) (близо 43% от общата площта) и хълмист (53% от общата площта) характер. Средната надморска височина е едва 320 m, като от север на юг надморската височина се повишава. Главна река и с най-голямо значение за морфохиidroлогията на района е р. Арда с дължина (по талвега на язовирите) от около 150 km. В района изцяло попадат водосборите на нейните най-големи десните притоци - реките Върбица (дължина 98 km) и Крумовица (дължина 59 km). Язовирите *Кърджали*, *Студен кладенец* и *Ивайловград* са най-големите водни обекти в изследвания район (Фиг. 1.).

2. Цел и задачи.

Основната цел е:

Определяне на степента на геоложка опасност в изследваната територия чрез прилагане на метода на размитата логика.



Географски очертаващ правоъгълник



Фиг. 1. Местоположение и координати на изследвания район

Основни задачите са:

- ✓ Определяне и избор на източници и видове данни.
- ✓ Предварителна обработка на входните данни (геореферирание, орторектификация и трансформиране).
- ✓ Формиране на файлова ГИС-база данни в ArcGis среда.
- ✓ Прилагане на анализи и методи в среда на ArcGIS
- ✓ Избор на фактори, влияещи на геоложката опасност и определяне теглата им на влияние.
- ✓ Прилагане на метода на размитата логика (Fuzzy Logic).
- ✓ Интерпретация на получените резултати.

3. Методика на работа

За решаване на целите и задачите, настоящето изследване е базирано на научния метод, като систематичен начин за придобиване на знания. Изследването е проведено и организирано в ArcGIS среда. Използваните методи и анализи са част от ArcGIS платформата (Фиг. 2.).

Първата стъпка от методиката на работа е избор и източници на данни (Фиг. 3.). Основните критерии са:

- ✓ Да имат пряко или косвено влияние върху геоложката опасност;
- ✓ Да покриват изцяло района на изследване;
- ✓ Лесно да се обработват и извлича цифрова информация от тях;
- ✓ Да са актуални;
- ✓ Да са общодостъпни и максимално евтини;

Като **втора стъпка** от методиката на работа е събирането на входните данни и тяхната подготовка за въвеждане в ГИС-база данни. Входните данни основно са поделени на архивни, от външни източници и от теренни наблюдения (Фиг. 2.). В тази стъпка данните се трансформират изцяло в цифрови (топографските и тематични карти се сканирани).

Трета стъпка е формиране на файлова ГИС-база данни. Тя е създадена в среда на ArcGIS в координатна система WGS 84, проекция UTM, зона 35N. Състои се от референтен набор от растерни и векторни данни, данни от дистанционните изследвания и данните от теренни наблюдения (Г. Желев, 2002, 2006). Създадени и въведени са в ГИС-базата данни 18 векторни и 20 растерни слоеве с техните име, тип на обектите и атрибутивни данни, както и три слоя с космически изображения. Към ГИС-базата данни са добавени таблични и текстови данни от теренните наблюдения, както и фотоснимки на характерни обекти.

Четвърта стъпка е прилагане на анализи и методи в среда на ArcGIS. Използвани са редица инструменти и функции за трансформиране, привързване, векторизирне и генерирани на нови слоеве:

- ✓ 3D Analyst Tools – Raster Reclass;
- ✓ Analysis Tools – Extract; Overlay;
- ✓ Conversion Tools – To Raster;
- ✓ Data Management Tools – Database; Features; Fields; General; Generalization; Georeferencing; Joins; Projection and Transformation; Table; Topology;
- ✓ Spatial Analyst Tools – Surface; Extraction; Hydrology; Interpolation; Overlay.

Прилагане на метода на размитата логика (Fuzzy Logic)

От ГИС-базата данни са избрани 16 тематични слоя, които са определени като преки фактори за геоложка опасност. Допълнително 5 от тях са преработени и са генерирани нови тематични слоеве. За целите на прилагане на метода на размитата логика, всички слоеве са трансформирани в растерни с еднакъв размер на клетката – 30x30 m и пълно покритие на района на изследване (Фиг. 4.). Използвани са ортофото снимките и наземните данни за точното локализиране и разпознаване на обекти и за верифициране на резултатите. Използваните тематични слоеве отразяват влиянието на ендегенните и екзогенни процеси и антропогенното въздействие при определяне на степените на геоложката опасност.

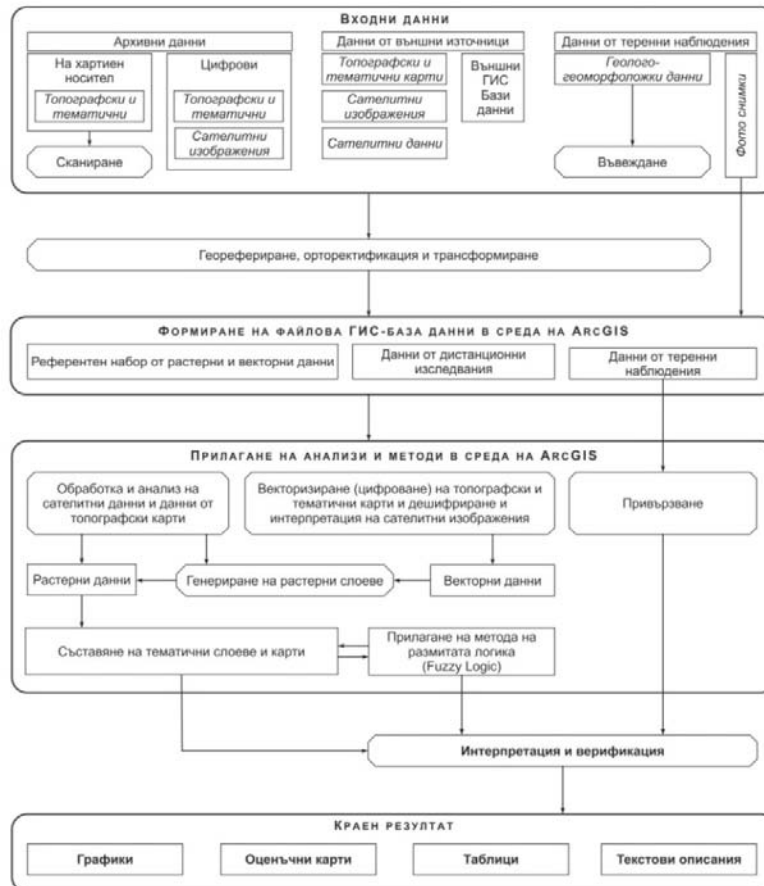
Като факторите, влияещи на степента на геоложка опасност са определени следните тематични слоя:

1) Литоложки единици. Те са генерирани от тематичния слой „Геология“ (Фиг. 4.) и са един от важните фактори за геоложката опасност. Разнообразието на литоложки единици и силната геоложка фрагментираност на района предопределят развитие на процеси и явления, водещи до висока степен на геоложка опасност.

Разнообразните гнайси, шисти, амфиболити и ултрабазити, изграждащи метаморфната рамка са здрави, издръжливи на ерозия скали, но при наличие на напуканост предопределят развитието на свлачища, срутища и каменопади. В териториите заети от различните

палеовулкански комплекси, лавовите потоци и различните субвулкански тела и дайки са по-издржливи на ерозия и образуват позитивни форми на релефа, по периферията, на които се развиват скални венци, срутища и каменопади. Развитите между тях пирокластични, епикластични и различни седименти определят територии със силна степен на площна и линейна ерозия, а заедно със съвременните алувиални, делувиални, колувиални и пролувиално-делувиални наслаги, генерирани от силната водна ерозия в района, водят до бързо затлачване на разположените в района язовири – яз.Кърджали, яз.Студен кладенец и по течението на р.Арда, разположения извън изследваната територия яз.Ивайловград.

Теглото на влияние на литоложките единици е определено на базата на експертна оценка и е показано в Табл.1.

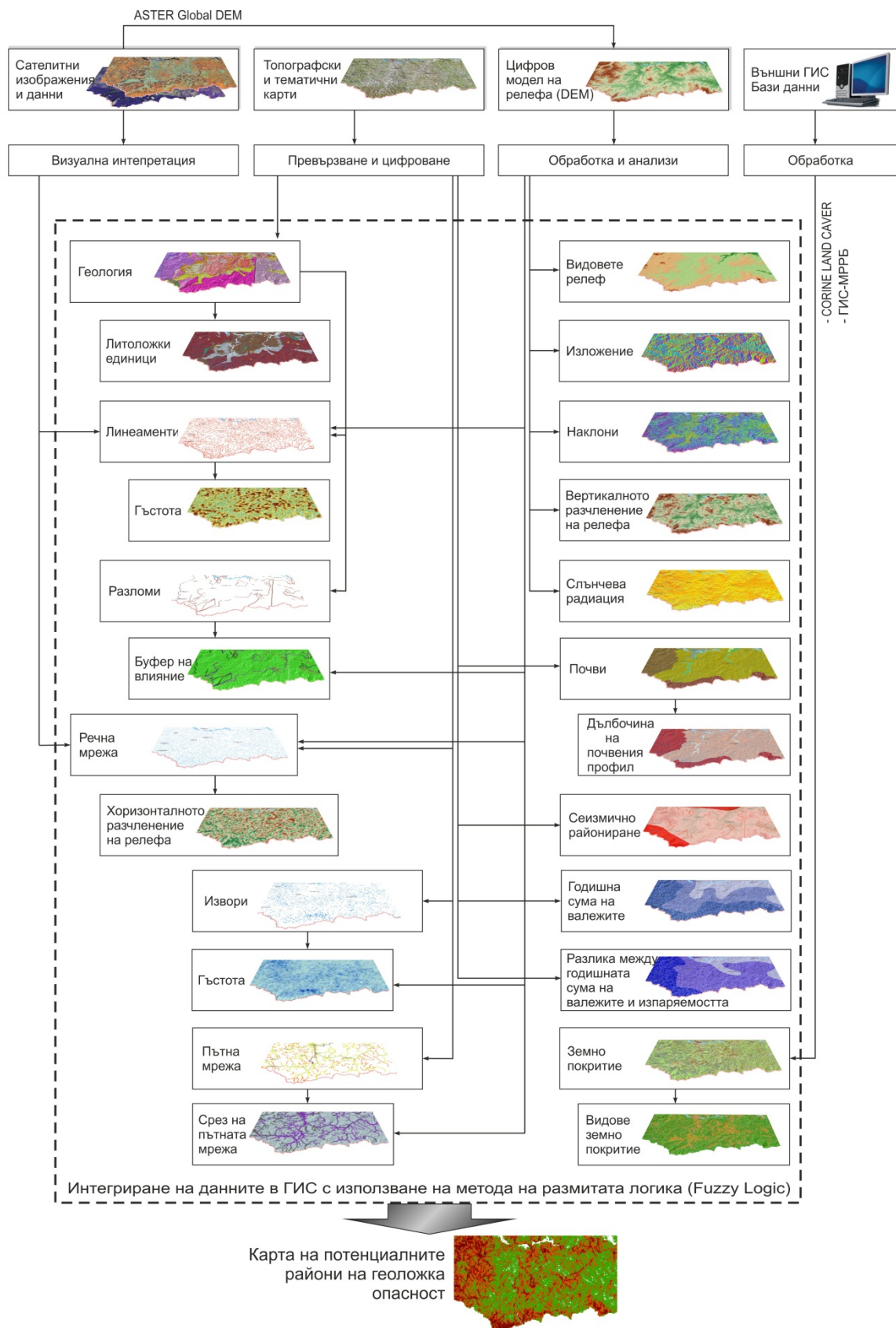


Фиг. 2. Схема на методиката на изследване



Фиг. 3. Видове данни и източници¹

¹ Наличните данни са от Научно информационен комплекс (НИК) към ИКИТ, създаден по договор: НИК-03/2007 сключен между фонд "Научни изследвания" към МОН и ИКИТ – БАН, „Изграждане на научно-информационен комплекс за аерокосмически полигони на територията на Р България.“, р-л проф. д-р Евгения Руменина, 2007-2009.



Фиг. 4. Структурна схема на използваните тематични слоеве от ГИС-базата данни при прилагане на метода на размитата логика (Fuzzy Logic)

Табл. 1. Теглата на влияние (членството) за всеки от факторите като оператори в метода на размитата логика (Fuzzy Logic)

№	Оператори в метода на размитата логика (Fuzzy Logic)	Членство	
1	Литоложки единици		
	1	Водни площи	0
	2	Нespoени седименти (Алувий и делувий)	0.1
	3	Гранити и диорити	0.2
	4	Субвулкански тела и дайки	0.3
	5	Ултрабазити, гнайси, шисти	0.4
	6	Пирокластити	0.6
	7	Седименти	0.7
2	Буфер около разломите (m)		
	1	Останала територия	0
	2	Отсед, разсед (200)	0.8
	3	Пластична зона на срязване (500)	0.7
3	Гъстота на линеаменти (бр./km²)		
	1	0	0
	2	1	0.1
	3	2	0.2
	4	3	0.3
	5	4	0.4
	6	5	0.5
	7	6	0.7
4	Релеф (надморска височина в m)		
	1	Равнинен (0-200)	0
	2	Хълмист (200-600)	0.3
	3	Планински (600-1000)	0.6
5	Изложение на склона (°)		
	1	Равно	0.1
	2	Север (0-22.5), (337.5-360)	0.8
	3	Североизток (22.5-67.5)	0.5
	4	Изток (67.5-112.5)	0.3
	5	Югоизток (112.5-157.5)	0.2
	6	Юг (157.5-202.5)	0.1
	7	Югозапад (202.5-247.5)	0.2
	8	Запад (247.5-292.5)	0.4
6	Наклон на склона (°)		
	1	0-3	0.1
	2	3-7	0.2
	3	7-15	0.3
	4	15-20	0.5
	5	20-25	0.6
	6	25-30	0.8
7	Вертикалното разчленение на релефа (m/km²)		
	1	<50	0
	2	51 -100	0.1
	3	101 -150	0.2
	4	151 - 200	0.4
	5	201 - 250	0.5
	6	251 - 300	0.6
	7	301 - 400	0.7
	8	401 - 500	0.8
8	Хоризонталното разчленение на релефа (km/km²)		
	1	< 0.50	0.1
	2	0.51 -1.00	0.2
	3	1.01 -1.50	0.3
	4	1.51 - 2.00	0.4
	5	2.01 - 2.50	0.6
	6	2.51 - 3.00	0.7
	7	3.01 - 3.50	0.8
9	Слънчева радиация (WH/m²)		
	1	66 856 - 316 299	0
	2	316 299 - 365 717	0.1
	3	365 717 - 403 369	0.2
	4	403 369 - 433 961	0.3
	5	433 961 - 462 200	0.4
	6	462 200 - 488 085	0.6
	7	488 085 - 513 971	0.7
	8	513 971 - 542 210	0.8
	9	542 210 - 572 802	0.9
10	Дълбочина на почвения профил (cm)		
	1	Плитки (0-25)	0.6
	2	Средни (25-50)	0.4
11	Сеизмично райониране (степен по Медведев-Шпонхойер-Карник)		
	1	VII	0.7
12	Гъстота на изворите (бр./km²)		
	1	0	0
	2	1	0.1
	3	2	0.2
	4	3	0.3
	5	4	0.4
	6	5	0.6
	7	6	0.7
	8	7	0.8
	9	8	0.9
13	Наклон на склона, срязан от пътната мрежа (°)		
	1	0-3	0
	2	3-15	0.3
	3	15-25	0.7
14	Земно покритие		
	1	Изкуствено създадени, неселскостопански зелени площи	0
	2	Водни площи	0.1
	3	Селскостопански площи	0.2
	4	Горски и полуестествени площи	0.3
	5	Хетерогенни селскостопански площи и трайни насаждения	0.4
	6	Течащи потоци	0.5
	7	Антропогенни площи	0.6
	8	Открити площи	0.7
9	Мини, сметища и строежи	0.8	
15	Годишна сума на валежите (mm)		
	1	600-700	0.5
	2	700-800	0.6
	3	800-1000	0.7
16	Разлика между годишната сума на валежите и изпаряемостта (mm)		
	1	> 0	0.3
	2	0 до -200	0.5
3	-200 до -300	0.8	

2) **Буфер на влияние около разломите (m).** Наличието на различни разломни нарушения в района предопределят разхлабени зони податливи на ерозия и хоризонтални и вертикални движения. Влиянието на тези зони е отразено със създаване на буфер на

влияние около разломите. Този фактор е генериран от тематичния слой „*Линеаменти*“ от ГИС-базата данни (Фиг. 4.). Определени са буфери на влияние за отседите и разседите - 200 m, за пластичните зони на срязване - 500 m и Разлом с неизяснен характер – 150 m, като тегловите коефициенти са определени на базата на експертна оценка и са показани в Табл.1.

3) Гъстота на линеаменти (бр./km²). От космическите изображения са дешифрирани линейности между цветовете контрасти, между тексурните характеристики, както и праволинейни речни долини и линейности в релефа, праволинейни геоложки и литоложки граници и др. Гъстота на линеаментите определя разхлабени, рискови зони, а концентрация на различни по вид линейности определя зони на геоложка опасност. Този фактор е генериран от тематичния слой „*Линеаменти*“ от ГИС-базата данни (Фиг. 4.). Теглото му на влияние е определено чрез използване на функции за принадлежност - Fuzzy Membership от инструмента Spatial Analyst Tools и е показано в Табл.1.

4) Видовете релеф (планински среднопланински, хълмист и равнинен) влияят върху проявата на геоложка опасност. Надморска височина играе роля върху регионалното изменение на средния многогодишен отток в района, който е един от най-високите в страната (*География на България, ч.3, 2002*). Този фактор е генериран от тематичния слой „*Цифров модел на релефа*“ от ГИС-базата данни (Фиг. 4.). Теглото му на влияние е определено на базата на експертна оценка и е показано в Табл.1.

5) Изложение на склоновете (°). Изложението е важен морфометричен показател, който отразява влиянието на слънчевото греене, евапорацията, наличната влажност, регионални и локални ветрове и др., като по този начин се явява един от факторите, влияещи на геоложка опасност. Генериран е от тематичния слой „*Цифров модел на релефа*“ от ГИС-базата данни (Фиг. 4.). Теглото му на влияние е определено чрез използване на функции за принадлежност - Fuzzy Membership от инструмента Spatial Analyst Tools и е показано в Табл.1.

6) Наклон на склоновете (°) заедно с изложението играе значителна роля при оценката на стабилността на склоновете и са важни морфометрични показателя. Той е генериран от тематичния слой „*Цифров модел на релефа*“ от ГИС-базата данни (Фиг. 4.). Теглото му на влияние е определено чрез използване на функции за принадлежност - Fuzzy Membership от инструмента Spatial Analyst Tools и е показано в Табл.1.

В табл. 2. са дадени характерните форми на релефа и процеси, протичащи при различните наклони на склона.

Табл. 2. Типове процеси и форми на релефа спрямо наклона на склона
(*География на България, ч.3, 2002*)

Наклон на склона (°)	Форми на релефа	Типове процеси
0-3°	равнина, речни тераси, билни заравнености и техногенни заравнености	Без ерозионни процеси , акумулационни процеси; (равнина, речни тераси, билни заравнености и техногенни заравнености).
3-7°	подножие	Долна граница на подножието, браздова (струйчатата) ерозия (начало на подножието)
7-15°		Горна граница на подножието, (ровини)
15-20°	склоп	Гравитационно-аквални процеси (флувиални (постоянно течащи води) и склонови процеси)
20-25°		
25-30°		стръмен
>30°		много стръмен изключително стръмен

7) Вертикалното разчленение на релефа (m/km²) дава възможност за определяне на типа и характера на релеф, очертава територии с различна скорост на вертикално издигане, глобалните или регионални блокови структури. Пространствено очертава различните релефни форми (долини, котловини, депресии, плата, ридове и др.). Полето на вертикалното разчленение представлява пластиката на релефа като функции от различията в типа и знака на вертикалните деформации на отделните земекорни блокове, които изграждат изследвания район, както и от литологията на скалите, които изграждат водосборните басейни. Този фактор също е генериран от тематичния слой „*Цифров модел на релефа*“ от ГИС-базата данни (Фиг. 4.). Теглото му на влияние е определено чрез използване на функции за принадлежност - Fuzzy Membership от инструмента Spatial Analyst Tools и е показано в Табл.1.

8) Хоризонтално разчленение на релефа (km/km²). Изучаването на интензивността на ерозионното разчленение на релефа на база морфометричните методи има важно значение за прогнозни оценки за възможното проявление на съвременните морфогенетични процеси и представлява обективен морфометричен фактор, позволяващ

отделянето на площи, подложени на различни видове геопасности. Картата представлява графичен израз на пластиката на релефа като функция от скулптурните (екзогенните) процеси. Та отразява и гъстотата на речната и/или овражна мрежа. Генерирана е от тематичния слой „Речна мрежа“ от ГИС-базата данни (Фиг. 4.). Теглото на влияние на този фактор е определено чрез използване на функции за принадлежност - Fuzzy Membership от инструмента Spatial Analyst Tools и е показано в Табл.1.

9) Слънчева радиация (слънчево греене) (WH/m^2). Карта на глобалната слънчева радиация представлява слънчево греене на определен район и се изчислява въз основа на метода и алгоритъма на полусферична видимост (Hemispherical Viewshed Algorithm), разработен от P. M. Rich през 1990 г., и доразвит през 2000-2002 г. (ArcGIS Help). Картата на глобалната слънчева радиация пространствено очертава и дава възможност да се анализира въздействието на слънчевите лъчи за дадена географска област за определени периоди от време. Общият размер на радиация, изчислена за определено място, или район се дава като глобална радиация. Изчисляването на директното, дифузното и глобално слънчево греене се прави за всяко характерно място или за всяко място от топографската повърхност и представлява карта на глобалната слънчевата радиация за цялата географска област. В настоящата работа е изчислена глобалната слънчева радиация от тематичния слой „Цифров модел на релефа“ от ГИС-базата данни (Фиг. 4.) за цялата територия, за цялата 2012 година. Теглото на влияние на този фактор е определено също чрез използване на функциите за принадлежност (Табл.1.).

10) Дълбочина на почвения профил (cm). В изследваната територия преобладават предимно плитки излужени канелени горски почви, по-малко плитки кафяви горски. По протежението на речните долини преобладават алувиални и алувиално-ливадни, пясъчливи и пясъчливо-глинести почви. Те са образувани при по-сух климат. Върху тях има нискостеблена горска и храстова растителност (кафяв габър, космат дъб, драка и др.). В обезлесените терени почвите са ерозирани. Плитките ерозирани почви благоприятстват за по-бързото проникване на повърхностните води в дълбочина като по този начин се засяга стабилността на склона. Пясъчните почви често се влагонаситени поради относително висока порьозност и пропускливост, което води до високо налягане на водата в порите и приплъзване при по-стръмните склонове. Дебелината на неконсолидирани седименти също е важен параметър.

Този фактор е генериран от тематичния слой „Почви“ от ГИС-базата данни (Фиг. 4.). Теглото му на влияние е определено на базата на експертна оценка и е показано в Табл.1.

11) Сеизмично райониране (степен по Медведев – Шпонхойер - Карник). Земетръсната активност на територията на страната и близките ѝ околности е една от най-изявените прояви на съвременната регионална геодинамика. Неотектонските движения на Балканския полуостров са контролирани от екстензионния колапс на късно алпийския ороген и са под влиянието както на процесите протичащи зад Егейската дъга, така и на сложните вертикални и хоризонтални движения в Панонския регион (*Сеизмично райониране..., 2009*). Сеизмичната активност е важен фактор при определяне на геоложката опасност. Районът на изследване попада в зони с седма и осма степен по данни от картата на „*Сеизмично райониране на основните индустриални зони в България по области и райони за развитие*“, 2004 г. (Фиг. 4.). Теглото му на влияние е показано в Табл.1. и е определено на базата на експертна оценка.

12) Гъстота на изворите ($бр./km^2$). Броят на изворите на km^2 дава косвена информация за подпочвените води и тяхното пространствено разположение. Този фактор е използван поради сравнително лесното му получаване от разположението на изворите (тематичен слой „Извори“), отцифровани от топографските карти (Фиг. 4.). Гъстотата на изворите заедно с хоризонталното разчленение на релефа са факторите, отразяващи влиянието на повърхностните и подпочвени води в района. Теглото му на влияние е определено чрез използване на функции за принадлежност - Fuzzy Membership от инструмента Spatial Analyst Tools (Табл.1.).

13) Наклон на склона, срянзан от пътната мрежа ($^{\circ}$) Този фактор и донякъде фактора *земното покритие* са единствените фактори отразяващо антропогенното влияние в района. Пътната мрежа е врязана в склоновете и по този начин нарушава естествения им наклон като предизвиква свлачища, срутища и каменопади. За да се отрази това въздействие е определен срез на склона в една буферна зона около пътя. Ширината на буферната зона зависи от класа път и е: 1 000 м за I^{вн} клас път, 500 м за II^{вн} клас и БДЖ линия, 300 м за III^{вн} клас, 250 м за IV^{вн} клас и 200 м за V^{вн} клас. За калкулирането на този

фактор са използвани тематичните слоеве „Пътна мрежа“ и „Наклон на склона“ (Фиг. 4.). Теглото му на влияние е определено на базата на експертна оценка и е показано в Табл.1.

14) Земно покритие. Този фактор единствен е получен от външна ГИС-база данни – „Corine Land Cover“ (Фиг. 4.). Данните са обобщени по отношение антропогенното натоварване на района от една страна и природната компонента – от друга. Като главни характеристики на фактора са изкуствено създадени неселскостопански зелени площи, водни площи, селскостопански площи, горски и полуестествени площи, хетерогенни селскостопански площи и трайни насаждения, течащи потоци, антропогенни площи, открити площи и площи заети с мини, сметища и строежи. Теглото му на влияние е определено чрез използване на функции за принадлежност - Fuzzy Membership от инструмента Spatial Analyst Tools (Табл.1.).

15) Годишна сума на валежите (mm). Този фактор отразява влиянието на климатичните условия в района. Дава пространственото разпределение и количеството на падналите валежи, които са основен източник на подхранване на повърхностните води. Те от своя страна са фактор при генериране на част от георисковите процеси, като селеви потоци, срутища, свлачища, водна ерозия и др. Теглото на влияние е определено чрез използване на функции за принадлежност - Fuzzy Membership от инструмента Spatial Analyst Tools (Табл.1.). Данните са взети от картата на годишната сума на валежите в България за периода 1931-1970 г. - Агроклиматичен атлас на България /1982 г./ от сайта <http://www.vodite.com>.

16) Разлика между годишната сума на валежите и изпаряемостта (mm). Този фактор отразява количеството останала в повърхностния вода. Тя е фактор при активиране на свлачищни процеси, карстови процеси, водна и мразова ерозия и др. Теглото на влияние е определено чрез използване на функции за принадлежност (Табл.1.). Данните са взети от картата на разликата между годишната сума на валежите и изпаряемостта в България за периода 1931-1970 г. - Агроклиматичен атлас на България /1982 г./ от сайта <http://www.vodite.com>.

Краен резултат

Като краен резултат е определена степента на геоложка опасност (Табл.3.) и е създадена карта на потенциалните райони на геоложка опасност (Фиг.5.) чрез използване на метода на размитата логика (Fuzzy Logic).

При определяне на степента на геоложка опасност е анализирана връзката на взаимодействие между всичките по-горе изброени 16 фактора с помощта на функцията за наслагване Fuzzy Overlay от инструмента Spatial Analyst Tools в ArcGIS среда. Отделните слоеве се комбинират чрез подхода FuzzySum, който се основава на теория на множествата и е един от специфичните подходи за определяне на взаимодействието между факторите в Fuzzy Overlay анализа.

Табл. 3. Характеристика на степента на геоложка опасност

СТЕПЕН НА ГЕОЛОЖКА ОПАСНОСТ			ПЛОЩ	
№	СТЕПЕН	СТОЙНОСТ НА FUZZYSUM	(km ²)	(%)
1	СЛАБА	2.8-5.8	929.19	27.61%
2	СРЕДНА	5.8-6.7	1607.35	47.76%
3	ВИСОКА	6.7-9.9	828.76	24.63%

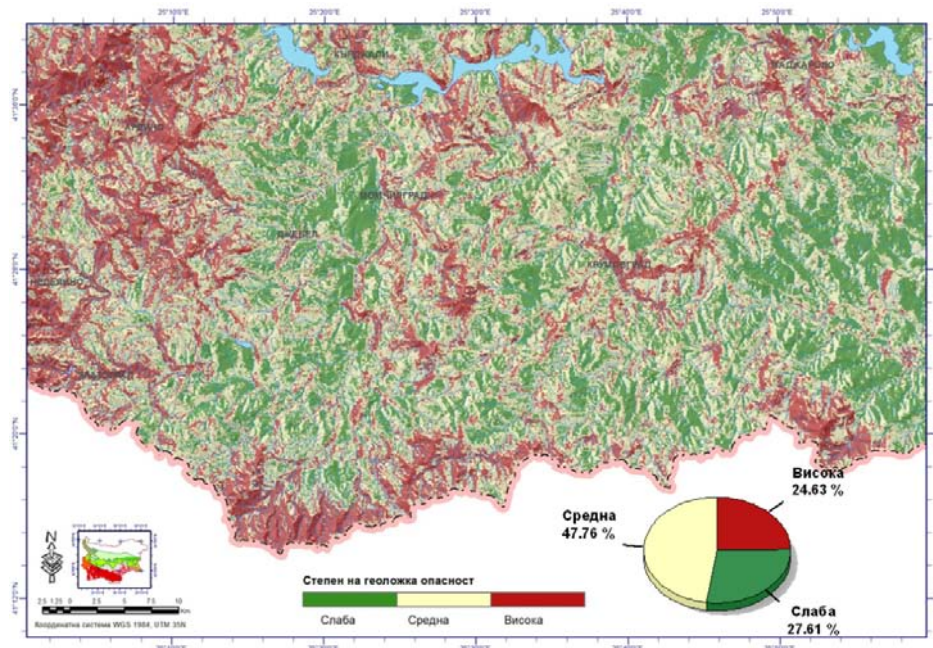
Верификация на резултатите е направена чрез използване на Картата на геоложката опасност в България (И. Бручев и др., 1994, 2001), Картата на разпространение на свлачищата в България (I.Bruchev et al.,2007) и съпоставяне с данни от терени наблюдения² и картирани свлачища в изследваната територия (А. Гиков, 2010; А. Гиков и др., 2010). Като

² Командировките са финансирани по проекти:

Геоecологично изследване на опасните природни процеси и интегрална оценка на риска за нуждите на регионалното управление Договор № НЗ 1514/05 с Национален фонд “Научни изследвания” - МОН Ръководител: проф. д.г.н. Хернани Спиридонов, 2005–2009 г.;

Геоecологични изследвания на опасни природни процеси с използване на дистанционни и наземни методи и геоинформационни технологии, Договор между Институт по геоecология – РАН и ИКИ-БАН (XII. 2004–XII. 2007), ръководител от българска страна: проф. д.г.н. Хернани Спиридонов, ръководител от руска страна: ст.н.с. д.г.м.н. Владимир Макаров, 2004-2007.

основа са използвани ортофото изображенията от географската информационна система на Министерство на регионалното развитие и благоустройството (ГИС-МРРБ) (<http://gis.mrrb.government.bg/MRRB/>)³.



Фиг. 5. Карта на потенциалните райони на геоложка опасност

Изводи

Използването на метода на размитата логика (Fuzzy Logic) при определяне на степента на геоложка опасност има редица предимства, но и някои недостатъци. Основните предимства са, че осигурява ефективни методи за анализирани системи, които са много сложни и не могат да се анализират с математически методи. Позволява правилата за вземане на решения да се разглеждат като обща база от правила, дефинирани на основата на експертно мнение или с помощта на функции за принадлежност. Позволява обработка на разнородна по вид и размах информация и не на последно място интеграция в географските информационни системите (*ArcGIS Help*).

Главните недостатъци са трудността да се оцени функцията на принадлежност, различни варианти за тълкуване на правилата на размитата логика и дефузификацията на изхода (получения краен резултат) и необходимостта на експертно знание за изследвания проблем.

При получената карта на потенциалните райони на геоложка опасност с приоритетно влияние са факторите отразяващи склоновите процеси, в резултат на което добре се очертават (*висока степен на опасност*) границите на свлачищата, скалните венци, районите с активна водна ерозия и дълбоко всечени речни долини, както и тектонски активните райони. По-слабо се очертават районите с ветрова ерозия, което е резултат най-вече на липса на климатични данни отразяващи фактора ветрове. Слабо е засегната и опасността затлачване на язовири, което също е резултат от липса (сравнително скъпа) информация за твърдия отток на реките в района на изследване.

При използване на повече данни отразяващи по-пълно геоложките, а и природните рискови процеси може да се детайлизират потенциалните райони на геоложка опасност. Същото се отнася и при прецизиране на функции за принадлежност и експертните оценки на факторите на влияние.

Благодарности

Исказвам благодарности на организациите, ръководителите и екипите на договорите, от където са получени данните и са финансирани проведените командировки за да бъде възможно настоящето изследване.

³ Ортофото снимките са предоставени от Министерство на земеделието и храните.

Командировките са финансирани по проекти:

Геоecологично изследване на опасните природни процеси и интегрална оценка на риска за нуждите на регионалното управление Договор № НЗ 1514/05 с Национален фонд "Научни изследвания" - МОН Ръководител: проф. д.г.н. Хернани Спиридонов, 2005–2009 г.;

Геоecологични изследвания на опасни природни процеси с използване на дистанционни и наземни методи и геоинформационни технологии, Договор между Институт по геоecология – РАН и ИКИ-БАН (XII. 2004–XII. 2007), ръководител от българска страна: проф. д.г.н. Хернани Спиридонов, ръководител от руска страна: ст.н.с. д.г.м.н. Владимир Макаров, 2004-2007.

Данните са предоставени от:

Сателитните изображения са предоставени за ползване по договор НИК-03/2007 сключен между фонд "Научни изследвания" към МОН и ИКИТ – БАН, „Изграждане на научно-информационен комплекс за аерокосмически полигони на територията на Р България.“, р-л доц. д-р Евгения Руменина, 2007-2009.

Ортофото снимките са предоставени от Министерство на земеделието и храните.

Литература:

1. Б е р б е р о в а , Р . , 2012. Анализ на природните бедствия в България за периода 2004-2008 г., сборник доклади SES 2011, стр. 267-275.
2. Б е р б е р о в а , Р . , 2012а. Уязвимост на България от природни бедствия, сборник доклади SES 2011, стр. 276-282.
3. Б р у ч е в , И . (ред.), 1994. Геоложката опасност в България, Карта и обяснителен текст към карта в М 1:500 000, Изд. на БАН, 143 с.
4. Б р у ч е в , И л . , Г . Ф р а н г о в , Й . Я н е в , 2001. Катастрофални явления в Източните Родопи. Минно дело и геология, кн.6, стр. 33-36.
5. Г е о г р а ф и я н а Б ъ л г а р и я , 2002. Физическа и социално-икономическа география, 2002., част 1, част 3, Физическа география, под ред. И. Копралев, М. Йорданова, Ч. Младенев, изд. ФорКом, 2002, стр.760.
6. Г и к о в , А . , 2010. Използване на дистанционни данни за изучаване на свлачища (на примера на свлачището при Генерал Гешево – Източни Родопи), Sixth Scientific Conference with International Participation "SES 2010" Proceedings, 2011, pp. 260-269, ISSN 1313-3888. http://www.space.bas.bg/SENS/ses2010/4_ERM/9.pdf.
7. Г и к о в , А . , Х . С п и р и д о н о в , Г . Ж е л е в , 2010, Изследване на свлачищните процеси между селата Устрен и Генерал Гешево, Източни Родопи, Sixth Scientific Conference with International Participation "SES 2010" Proceedings, 2011, pp. 373-380, ISSN 1313-3888. http://www.space.bas.bg/SENS/ses2010/4_ERM/12.pdf.
8. Ж е л е з о в , Г . , 2002. Биогеографска спецификация на моделни райони в Източни Родопи, Проблеми и перспективи за развитие на Източни Родопи, ун.и-во „Св.Кл.Охридски“, С., стр 21-26.
9. Ж е л е в , Г . , 2006. Структура на ГИС-проект за геоморфолошко изследване на вулканогенни структури в Източни Родопи, Book of Abstracts „SENS'2006“ with International Participation, 2006, Варна, [CD-ROM], s.2.,No13, ISBN: 954-438-485-5, стр.74.
10. Ж е л е в Г . , 2002. Структура на ГИС - проект за геоморфолошко изследване на Стръмниришката вулcano-тектонска морфоструктура - Девета национална конференция с международно участие по съвременни проблеми на слънчево-земните въздействия, София, с.133-136.
11. И в а н о в а , Е . , Р . Н е д к о в . 2010. Изследване на рисковите морфодинамични процеси в района на Огражден и Малешевска планина на базата на спътникови и GPS данни. Екологично инженерство и опазване на околната среда, 9, кн.1, София, с. 17–24
12. М а р д и р о с я н , Г . , 1993. От космоса срещу екологичните катастрофи, Изд. БАН, София, 210 с.
13. М а р д и р о с я н , Г . , 1995. Екокатастрофи (Природни екологични катастрофи). Изд. къща ВАНЕСА, 240 с.
14. М а р д и р о с я н , Г . , 1999. Природни екокатастрофи и тяхното дистанционно аерокосмическо изучаване. Акад. издат. "Проф. Марин Дринов", 368 с.
15. М а р д и р о с я н , Г . , 2006. Природни бедствия и екологични катастрофи – изучаване, превенция, защита. Акад. издат. „Марин Дринов“, 372 с.

16. Мардиросян, Г., Ж. Жеков, 2010. Аерокосмическите технологии за изучаване на природните бедствия, 20th Anniversary International Scientific Conference, 3th - 4th June 2010, Stara Zagora, BULGARIA, Volume VII, Technical studies, стр. 38-50.
17. Сеизмично райониране на Република България, съобразено с изискванията на Еврокод 8 и изработване на карти за сеизмичното райониране с отчитане на сеизмичния hazard върху територията на страната, окончателен отчет по договор ГФИ 07-03, р-л Д.Солоков, Геофизичен институт – БАН, София, 2009, стр.79.
18. Стоянов, В., П. Златева, Г. Киров, К. Стоянов, 2007. Приложение на размитата логика при прогнозиране на потенциалните загуби от природни бедствия, Сб. Докл. От Втората национална научно-практическа конференция по управление в извънредни ситуации и защита на населението, 9 ноември 2007 г. БАН, София, стр. 214-224.
19. Bruchev, I., N. Dobrev, G. Frangov, P. Ivanov, R. Varbanov, B. Berov, R. Nankin, M. Krastanov, 2007. The landslides in Bulgaria — factors and distribution. GEOLOGICA BALCANICA, 36. 3—4, Sofia, Decemb. 2007, pp. 3-12.
20. Champati ray P., S. Dimri, R. Lakhera, S. Sati, 2007. Fuzzy-based method for landslide hazard assessment in active seismic zone of Himalaya, Landslides (2007) 4, pp.101–111 DOI 10.1007/s10346-006-0068-6.
21. Geohazard Map of the Balkans, (*Albania, Bulgaria, Kosovo, Macedonia, Montenegro and Romania*), Scale 1:1 000 000, 2008. by Betim Muco and Georgi Alexiev, Shyqyri Aliaj, Zenun Elezi, Bogdan Grecu, Neculai Mandrescu, Zoran Milutinovic, Mircea Radulian, Boyko Rangelov, Defrim Shkupi <http://setimes.com/cocoon/setimes/xhtml/bg/features/setimes/articles/2008/05/05/reportage-01>
22. Srivastava V., H. Srivastava, R. Lakhera, 2010. Fuzzy gamma based geomatic modelling for landslide hazard susceptibility in a part of Tons river valley, northwest Himalaya, India, Geomatics, Natural Hazards and Risk, 1:3, 225-242
23. Sujatha E., V. Rajamanickam, 2011. Landslide susceptibility mapping of Tevankarai Ar sub-watershed, Kodaikkanal taluk, India, using weighted similar choice fuzzy model, Nat Hazards 59, pp. 401–425
24. Pashova, L., Pl. Zlateva, M. Kouteva-Gentcheva, 2010. An approach to comprehensive information systematisation for complex risk analysis of the natural hazards, In: Proc. of 6th Int. conf. Global Changes and Regional Development, Sofia, 16 - 17 April 2010, GGF, Sofia University “St. Kliment Ohridsky”, pp. 30-36.
25. Zlateva, Pl., L. Pashova, K. Stoyanov, D. Veleev, 2011a. Fuzzy Logic Model for Natural Risk Assessment in SW Bulgaria, 2011. In: Proc. of 2nd International Conference on Education and Management Technology IPEDR vol.13 (2011) © (2011) IACSIT Press, Singapore, pp. 109-113.
26. Zlateva Pl., L. Pashova, K. Stoyanov, D. Veleev, 2011b. Social Risk Assessment from Natural Hazards Using Fuzzy Logic, International Journal of Social Science and Humanity, Vol. 1, No. 3, September 2011, pp. 193-198.

Списък на използваните в работата по-важните интернет страници:

- <http://www.bg.wikipedia.org> - Уикипедия, свободна енциклопедия.
- <http://www.bsdi.asde-bg.org/earthquakes.php> - Българска инфраструктура за пространствени данни (БИПД), “Сеизмично райониране на основните индустриални зони в България по области и райони за развитие.” - 2004 г.
- <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-clc2006-100-m-version-12-2009> - Европейската агенция по околна среда
- <http://www.eros.usgs.gov/> - USGS Center for Earth Resources Observation and Science (EROS);
- <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/search.jsp> - ASTER Global DEM.
- <http://www.gis.mrrb.government.bg/MRRB/> - Географска информационна система на Министерство на регионалното развитие и благоустройството (ГИС-МРРБ)
- http://www.help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/How_solar_radiation_is_calculated/009z00000tm000000/ - ArcGIS Help
- <http://www.vodite.com> - HWI Consulting - Хидрогеология, водоснабдяване, дренажни системи, замърсяване на подземни води, геотермална енергия
- http://www.vodite.com/razlika%20P-potETR_BG.jpg - Разлика между годишната сума на валежите и изпаряемостта в България за периода 1931-1970 г., Агроклиматичен атлас на България /1982 г./
- http://www.vodite.com/valeji_BG_1931_70.jpg - Годишна сума на валежите в България за периода 1931-1970 г. - Агроклиматичен атлас на България /1982 г./
- <http://www.web.uni-plovdiv.bg/vedrin/details/K-35-087-2.html> - Векторна топографска карта на България