

КАРТОГРАФИРАНЕ НА СВЛАЧИЩНАТА ЧУВСТВТЕЛНОСТ НА ТЕРИТОРИЯТА НА ОБЩИНИТЕ ПЕХЧЕВО И СИМИТЛИ ЧРЕЗ МОДЕЛИРАНЕ В GIS

Екатерина Иванова¹, Ивица Милевски²

¹*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
²*Скопски университет „Св. Св. Кирил и Методий“*
e-mail: ivanovae@space.bas.bg; ivicamilevski@gmail.com

Ключови думи: GIS, свлачищна чувствителност, модел за отношение на честотите (FRM)

Резюме: Инструментите на ГИС и статистическите методи за симулация и моделиране позволяват прилагането на количествените методи и в изследванията на свлачищните процеси. Целта на това изследване е да се картографира свлачищната чувствителност на територията на трансграничния регион на общините Пехчево и Симитли по модел, анализиращ съотношението на относителната честота на свлачищните събития във всеки един клас от предварително определена група от фактори. Избраните в това изследване фактори, които оказват най-силно влияние върху свлачищната активност са геологията, наклона на склоновете, надморската височина, изложенията на склоновете, растителната покривка, разстоянието от реки, пътища и тектонски структури. Използвани са и два индекса, които характеризират условията на овлажнение в зависимост от топографската повърхност (TWI и SPI), извлечени от цифровия модел на релефа. Предимствата на избрания модел са два. Първо използва ясни и логични критерии за анализ и второ се основава на емпирични данни за реални свлачищни събития. Ето защо считаме, че картата на индекса на свлачищна чувствителност, създадената в резултат от прилагането на модела, дава една сравнително обективна оценка на опасността от проява на свлачища в границите на изследваната територия.

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPPING OF THE TERRITORY OF MUNICIPALITIES PEHCHEVO AND SIMITLI BY MEANS OF GIS MODELING

Ekaterina Ivanova¹, Ivica Milevski²

¹*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
²*Ss Kyril and Methodius University of Skopje*
e-mail: ivanovae@space.bas.bg; ivicamilevski@gmail.com

Keywords: GIS, landslide susceptibility mapping, frequency ratio model (FRM)

Abstract: GIS tools and statistical methods for modeling and simulation allow the application of quantitative methods in research on landslide processes. The purpose of this study is to map landslide susceptibility of the crossborder area of municipalities Pehchevo and Simitli using frequency ratio model for analyzing the landslide events in any class of a predetermined set of factors. Selected in this study factors that have the strongest influence on the landslide activity are geology, slope angle, elevation, slope aspects, vegetation cover, distance from rivers, distance from roads and distance from tectonic structures. Two indexes for characterizing of the hydrological conditions were used – Topographic Wetness Index (TWI) and Stream Power Index (SPI). Those indexes depend of the topographic surface and were derived from the digital elevation model. There are two advantages of the selected model. First this model uses clear and logical criteria for analysis and the second is based on empirical data about real landslide events. Therefore, we believe that the landslide susceptibility map which was created as a result of the implementation of the model provides a relatively objective assessment of the landslide hazards within the study area.

Въведение

Свлачището е природно бедствие от което страдат много райони по света, включително Балканският полуостров, където попадат териториите на България и Македония. У нас са известни над 1000 големи свлачища, които ежегодно причиняват сериозни щети на инфраструктурата. Освен за крайбрежните зони, това природно бедствие е типично и за разломните зони каквато е Струмската, за райони със силно пресечен релеф и за местата, където се извършва добив на полезни изкопаеми – особености с които се характеризира територията на общините Пехчево и Симитрли. Свлачищните процеси нямат внезапен характер и е възможно да бъдат регулирани с технически средства, но борбата с тях е трудна и скъпа. Ето защо оценката на свлачищната чувствителност и картографирането на районите с опасност от възникване на свлачище са от съществено значение за управлението на територията. Картите на свлачищната чувствителност и свлачищната опасност дават възможност за вземане на превантивни мерки за предотвратяване на възникването на свлачища на места, където би могло да се очаква това да се случи.

Предвиждането на свлачищната чувствителност на даден район изисква количествена методология за моделиране на сложните явления които са повлияли на минали свлачищни събития, използвайки комбинацията от голям набор от причинно-следствени фактори, свързани с появата на бъдещи свлачищни процеси. А анализа на свлачищната чувствителност изисква събирането на голямо количество данни за конкретния изследван район, което от своя страна е свързано с изразходването на време и ресурси [1].

Развитието на иновационните технологии – цифровите методи на GIS и методите за дистанционни изследвания и наблюдения на Земята значително улесниха трудоемката задача, свързана със събирането на данните и дадоха нова насока за развитие на геоморфологията в търсенето ѝ на ефективни методи за анализиране на свлачищната чувствителност.

Физически базираните детерминистични подходи за предсказване на свлачища, свързани с безкраен анализ на стабилността на склона и с хидроложки модели, описващи движенията на подземния воден поток имат силно пространствено ограничение и изискват огромно количество трудно достъпна информация свързана с хидравличните и механичните свойства на почвения и подпочвения слой [2]. Ето защо все по-голяма популярност придобиват другият тип прогнозни модели – така наречените статистически или вероятностни модели, които се базират на предположението, че бъдещи свлачища могат да възникнат при подобни условия на тези, при които вече са възникнали такива и чийто свойства вече са известни. Те използват корелацията между възникването на свлачище и условията, които влияят върху възникването на свлачища. Група от фактори или така наречените от [2] обяснителни променливи или параметри като геоложка основа, наклони на склоновете, изложения на склоновете, растителната покривка, разстоянието от реки, пътища и др.

Най-често използваните статистически модели са логистичният регресионен анализ [2, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14], йерархическият аналитичен процес [5, 9, 12], модела за съотношение на честотите [1, 8, 11, 12, 14], така наречените изкуствени невронни мрежи [1, 3, 4, 8, 10, 11, 13, 15] и др. Отделните модели се различават както по начина на задаване на параметрите в тях, така и по начина на изчисляване на коефициентите на самите параметри. Общото при тях е, че всички те изискват информация за минали свлачищни събития в рамките на изследваната територия (т.н. свлачищна инвентаризация). Прилагането на всеки един от моделите за конкретна територия съдържа в себе си и субективната експертна оценка при избора на самите параметри.

Тези методи все повече се използват за анализ на опасността от поява на свлачища в различни части на света, но за сега нямат широко приложение за региона на Балканския полуостров. Методът на размитата логика е прилаган за оценка на природни рискови процеси комплексно именно за територията на Югозападна България в границите на която попада и община Симитрли [16], както за части от територията на Източните Родопи [17]. Доколкото ни е известно до сега не са прилагани статистически модели за оценка на свлачищната чувствителност за територии в границите на Република България или Република Македония. Ето защо се надяваме настоящата работа, чиято цел е да се картографира свлачищната чувствителност на територията на трансграничния регион на общините Пехчево и Симитли да проправи път в тази посока за развитието на геоморфоложките изследвания в региона. Избрали сме Модела за съотношение на честотите, като най-подходящ както по отношение на неговата обективност, така и по отношение на детайлността на наличната база данни и площта на изследваната територия.

Район на изследване

Районът на изследване включва две административни единици от двете страни на държавната граница – община Пехчево на територията на Република Македония и община Симитли на територията на Република България. Разположен е на 768.3 km² площ, от която 27% попадат в Република Македония, а останалите 73% на територията на България. Простира се от 41°41' на юг до 42°00' на север и от 22°46' на запад до 23°22' на изток. Територията се характеризира с силно контрастен и разнообразен релеф. Включва части от 7 структурни единици – Беровската и Делчевската котловини в Македония, граничните планини Малешевска и Влахина, а в границите на община Симитли попадат Симитлиийския грабен и чати от Пирин и Рила, която е най-високата планина на Балканския полуостров. Надморската височина варира от 193 m по течението на р. Струма до 2590 m във високопланинския дял на Пирин. Поради силният контраст на релефа, в границите на двете общини преобладават големите наклони – над 30 градуса, а средният наклон е 40,3 градуса. Това показва, че енергията на релефа е много висока, което е силна предпоставка за развитието на свлачищни процеси и обуславя оценката за опасността от такива.

Районът е изграден от разнообразни по състав, структура и възраст скали. Планинските дялове са изградени от стари докамбийски и палеозойски метаморфни скали (гнайси и шисти, мигматити, амфиболити), силно деформирани от последвали тектонски процеси и магмени интрузии (гранити и диабази). Грабените са запълнени от мощни палеогенски и неогенски седименти, които включват и някои въгленосни свити, където броят на въглищните пластове се изменя от 1 до 16, а дебелината им варира от сантиметри до 25-30 метра. Въгленосните пластове при Ораново и Брежани се експлоатират. Нespoените кватернерни седименти имат значително генетично разнообразие. Включват делувиалните и пролувиалните образувания в подножията на планините, както алувиалните седименти по долините на реките.

По отношение на сеизмичната активност на територията на двете общини попада активно земетръсно огнище с енергиен потенциал един от най-високите в Европа, способни да породят земетресение от 7-ма и по-висока степен по скалата на Рихтер – Крупнишко-Кресненското земетръсно огнище. В тази зона, по Крупнишкия разлом (линията Крупник – Пехчево – Кочани) на 4 април 1904 г е било регистрирано най-голямото земетресение Европа за последните 200 години.

Климатът в района е преходно-континентален със силно средиземноморско влияние, а във високите части – планински. Средногодишната температура е 12,7°C по долината на р. Струма, а във високите части на планините около 0°C. Средногодишната сума на валежите в котловините е около 560 mm. С увеличаването на надморската височина се увеличава и средногодишното количество на валежите, което във високите части на планините достига и надминава 1000 mm. Територията на община Симитли се отводнява от р. Струма, а тази на Пехчево от р. Брегалница. Почвената покривка в района също е разнообразна. От почвените типове най-голяма площ заемат камбисолите, следвани от лувисолите и ранкерите. Структурата на почвите включва още регосоли, вертисоли, лувисоли, флувисоли и колувиални почвиени типове. Според анализа, направен на основата на тематични карти за растителната покривка, спътникови изображения и модела CORINE Land Cover (CLC 2006), горският фонд в община Симитли представлява 58.5% от нейната територия, а този на община Пехчево около 45% включващ различни видове широколистна и иглолистна растителност.

Данни и методология

Методът за съотношението на честотите, използван в това изследване е количествен метод, предложен от [11] и се базира на връзката между областите, където е настъпило свлачище и условията, при които е настъпило или факторите, които са го причинили. Количествено тази връзка е изразена чрез отношението на честотата на настъпване на свлачищни събития в даден клас на всеки от предварително определените фактори и площта на съответния клас спрямо общата площ на изследваната територия. Както посочва [11], колкото е по-голямо това съотношение, толкова по силна е връзката между възникването на свлачището и атрибута на дадения фактор. Честотата на съотношенията за всеки диапазон от всеки фактор се изчислява, като се раздели съотношението на свлачищните прояви в него на съотношението на неговата площ. Накрая честотата на съотношенията на всеки фактор се сумира за да се получи индексът на свлачищна чувствителност на територията, използвайки уравнение (1)

$$(1) \quad LSI = \sum_{i=1}^n FR_i$$

където FR е съотношението на честотите на всеки фактор, а n е броят на избраните фактори.

За оценката на свлачищната чувствителност на територията на трансграничния район на общините Пехчево и Симитли бяха избрани десет фактора, които оказват най-силно влияние върху възникването на свлачищни процеси. Това са геоложката основа, средният наклон на релефа, надморската височина, изложенията на склоновете, индексът за топографска влажност на почвата (TWI), конвергенцията на релефа (SPI), разстояния от реки, пътища и разломи, както и растителната покривка.

Събирането на данните бе извършено на основата на специализирани картографски източници, справочни материали и публикации. За целта бяха използвани граждански топографски карти в М 1:50 000, геоложки карти в мащаб 1:100 000 издадени от съответните държавни институции в периода между 1989 и 1995 година и обяснителните записки към тях. За територията на община Симитли бяха използвани съответно картен лист „Разлог“ [18], картен лист „Благоевград“ [19] и картен лист „Делчево“, [20]. Материалите бяха геореферирани в координатна система UTM WGS-84 Zone 34T.

За оценка на морфологията на релефа бе използван и генерираният за целта цифров модел на релефа на базата на спътникови данни – ASTER Global DEM, модифицирана версия 2012 г., както и спътникови изображения от Landsat ETM+ с пространствена разделителна способност 30 метра. Бяха събрани данни за регистрираните свлачища на територията на двете общини от геоложки картни материали и регистрите на Министерството на регионалното развитие и благоустройството в България за периода 1984 – 2013 г.

Оценката на растителната покривка беше направена на базата на цифровите данни за земното покритие за 2006 година и промените в него, създадена по Проекта “Корине земно покритие 2006”, който е част от общеевропейския проект CORINE LAND COVER (CLC 2006).

Тъй като движенията на подземните води в повечето случаи следват топографската повърхност, то релефа е факторът, който контролира пространствената диференциация на хидроложките условия и разпределението на почвената влага. А пък от своя страна пространствената диференциация на почвената влага е едно от най-важните условия за възникването на свлачищни процеси. По тази причина в настоящото изследване са използвани два индекса, които симулират това разпределение – Topographic Wetness Index (TWI) и Stream Power Index (SPI).

TWI е модел описващ водния отток на основата на релефа, предложен от [21], а SPI отразява ерозивната сила на потока [22]. Изчисляват се по формулите (урав. 2 и 3).

$$(2) \quad TWI = \ln\left(\frac{A_s}{\tan \beta}\right)$$

$$(3) \quad SPI = A_s * \tan \beta$$

където A_s е площта на всяка клетка от мрежата на склона, а β е ъгълът на средния наклон на склона в рамките на всяка клетка в градуси.

Картографиране на свлачищната чувствителност (Landslide susceptibility mapping)

На основата на събраната и интегрирана в GIS среда гео-база данни за територията на трансграничния регион на общините Пехчево и Симитли, качествената и количествената оценка на природните ресурси и анализа на предварително определените рискови зони и факторите, които оказват влияние за проявата на свлачищни процеси, беше приложен модела съотношение на честотите за генерирането на карта на свлачищната чувствителност на територията на двете общини. Моделирането се базира на изложените по-горе количествени методи и методите за класификация в GIS, които дават цифрова оценка на факторите и класовете в тях (Табл. 1).

Геоложката основа е най-важният фактор за възникването на свлачищата. Използвана е създадена за целта база данни за литостратиграфските единици за територията на двете общини.

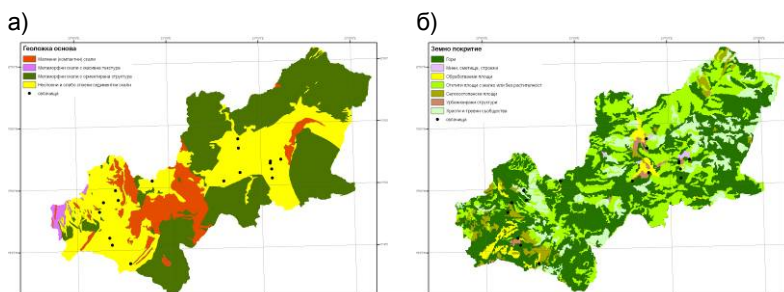
Таблица 1. Съотношение на честотите на факторите на свлачищни прояви

Клас	Свлачища (%)	Площ (%)	FR	Клас	Свлачища (%)	Площ (%)	FR
<i>Наклони (°)</i>				<i>TWI</i>			
0 - 10	0.0	2.8	0	от -6,27 до -3,38	0.0	0.9	0
10 - 20	0.0	9.1	0	от -3,38 до -1,42	5.9	4.8	1.22
20 - 30	52.9	14.9	2.47	от -1,42 до -0,25	5.9	8.4	0.70
30 - 40	29.4	21.4	2.37	от -0,25 до 0,65	5.9	11.3	0.52
40 - 45	5.9	12.4	0.47	от 0,65 до 1,56	5.9	11.5	0.51
45 - 50	5.9	12.5	0.52	от 1,56 до 2,39	23.5	15.3	1.54
50 - 55	5.9	11.4	0.64	от 2,39 до 3,14	17.6	18.3	0.96
55 - 60	0.0	9.2	0	от 3,14 до 3,95	29.4	15.7	1.87
60 - 65	0.0	5.0	0	от 3,95 до 5,01	5.9	9.9	0.59
65 - 74,68	0.0	1.2	0	от 5,01 до 12,03	0.0	3.8	0
<i>SPI</i>				<i>Изложения</i>			
от -12,1 до -6,84	0.0	1.0	0	Равнина	0.0	0.0	0
от -6,84 до -4,84	0.0	3.1	0	Север	11.8	13.2	0.89
от -4,84 до -3,35	5.9	5.0	1.18	Североизток	11.8	8.8	1.33
от -3,35 до -2,15	5.9	7.4	0.79	Изток	17.6	10.1	1.75
от -2,15 до -1,14	5.9	12.7	0.46	Югоизток	0.0	10.0	0
от -1,14 до -0,15	29.4	12.4	2.38	Юг	5.9	13.7	0.43
от -0,15 до 0,75	29.4	15.9	1.85	Югозапад	17.6	15.6	1.13
от 0,75 до 1,58	17.6	19.5	0.91	Запад	23.5	16.1	1.46
от 1,58 до 2,49	5.9	16.1	0.36	Северозапад	11.8	12.5	0.94
от 2,49 до 5,66	0.0	6.9	0				
<i>Надм. височина</i>				<i>Разс. от разломи</i>			
200 - 450	23.5	7.3	3.21	0 - 200	17.6	19.1	0.92
450 - 600	11.8	7.6	1.55	200 - 400	0.0	13.6	0
600 - 800	17.6	16.3	1.08	400 - 600	17.6	10.9	1.62
800 - 900	5.9	11.0	0.53	600 - 800	29.4	8.5	3.46
900 - 1000	17.6	11.3	1.56	800 - 1000	0.0	6.5	0
1000 - 1100	17.6	10.9	1.62	1000 - 1200	5.9	5.2	1.12
1100 - 1300	5.9	14.1	0.42	1200 - 1400	0.0	4.4	0
1300 - 1600	0.0	13.4	0	1400 - 1600	0.0	3.6	0
1600 - 2000	0.0	6.4	0	1600 - 1800	0.0	3.0	0
2000 - 2588	0.0	1.8	0	1800 - 9888	29.4	25.2	1.16
<i>Разс. от пътища</i>				<i>Разс. от реки</i>			
0 - 200	70.6	29.2	2.42	0 - 150	41.2	50.2	0.82
200 - 400	17.6	11.6	1.53	150 - 300	23.5	28.4	0.83
400 - 600	0.0	7.5	0	300 - 450	23.5	13.0	1.81
600 - 800	0.0	6.1	0	450 - 600	11.8	5.4	2.19
800 - 1000	0.0	5.4	0	600 - 750	0.0	2.1	0
1000 - 1200	0.0	4.8	0	750 - 900	0.0	0.7	0
1200 - 1400	0.0	4.2	0	900 - 1050	0.0	0.2	0
1400 - 1600	5.9	3.8	1.56	1050 - 1284	0.0	0.1	0
1600 - 1800	0.0	3.5	0				
1800 - 9407	5.9	23.9	0.25				

Литостратиграфските единици бяга групирани 4 класа скали – компактни магмени скали, метаморфни скали с масивна текстура, метаморфни скали с ориентирана текстура (гнайси и шисти) и неспоени и слабо споени седиментни скали (Фиг. 1). Установена бе силна зависимост

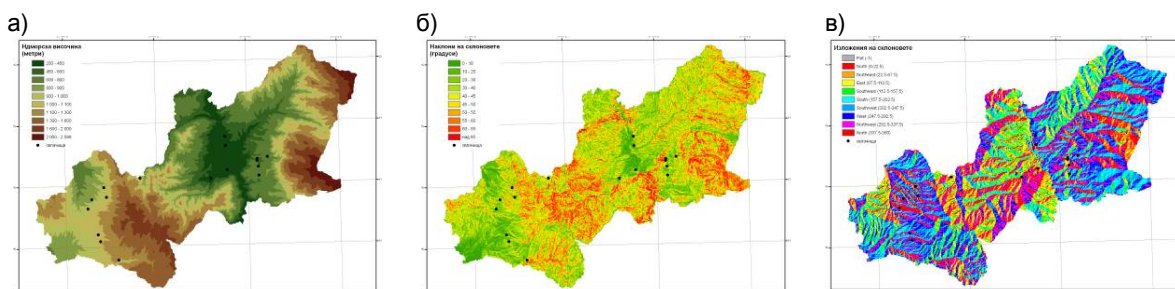
между свлачищните процеси и вида на скалите, като над 88% от проявените свлачища на територията са се случили в последния от обособените класове – седиментите скали.

Друго важно условие, от което зависи възникването на свлачища е средният наклон на терена. Средните наклони на склоновете, извлечени от цифровия модел на релефа бяха класифицирани в съответствие с целите на модела в 10 класа (Фиг. 2). Честотата на случване на свлачища е най-голяма при наклони в диапазона между 30 и 40 градуса. По-малка, но все пак съществена е честотата и в класа 20-30 градуса. При наклони под 10° и над 50° свлачищни прояви практически не бяха засечени.



Фиг. 1. Природни условия: а) геоложка основа; б) земно покритие

Надморската височина и изложенията на склоновете влияят косвено върху проявата на свлачища чрез условията на овлажнение, които създават и влиянието им върху динамиката на подпочвените води. Генерирани са от цифровия модел на релефа и са класифицирани в 10 класа в съответствие с целите на изследването. Най-голяма е честотата на случване на свлачищни процеси при надморска височина в диапазона от 200 до 800 метра (над 90%) при изложения на склоновете с източна и западна компонента.



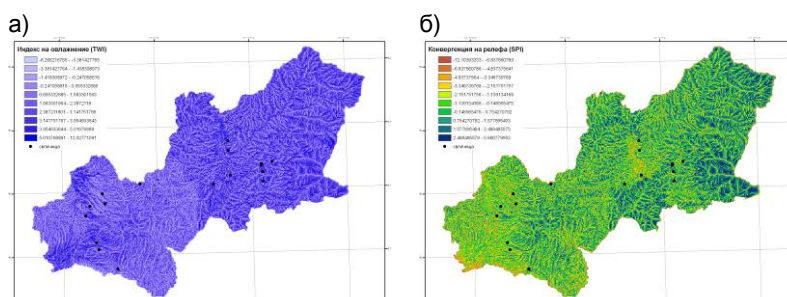
Фиг. 2. Условия на релефа: а) надморска височина; б) наклони; в) изложения на склоновете

Двата индекса, характеризиращи хидроложките условия (TWI и SPI) и също генерирани на основата на релефа са класифицирани в по 10 класа в относително равномерни пространствени интервали (Фиг. 3). Бе установено, че с висока честота на случване на свлачищни събития се характеризират територии с по-високи стойности на TWI и по-ниски стойности на SPI, както и територии с ниски стойности и на двата индекса. За територията на двете общини най-добри условия за възникване на свлачища дават стойностите TWI на в диапазона от 1,56 до 3,95 и стойностите SPI на в диапазона от -1,14 до 0,75. Не са отчетени свлачища при много ниски и при много високи стойности на двата индексите.

Важен фактор, който е взет под внимание при съставянето на модела за свлачищата е разстоянието от леглата на реките, тъй като речните легла са естествения ерозионен базис, който определя движението на водните потоци на подпочвените води по склоновете на басейните. Обособени са 8 класа, приспособени към характеристиките на речната мрежа на района (Фиг. 4). С най-високи стойности на съотношението на честотите се характеризира диапазона с разстояние от реките между 300 и 600 метра. На-по-малките разстояния се засилва действието на ерозионните процеси за сметка на свлачищните, а на разстояние над 600 метра за този район не са засечени свлачища (Табл. 1). Поради голямата гъстота на речната мрежа в изследваната територия първите два класа с разстояние от реките от 0 до 300 метра заемат 78,6% от цялата площ.

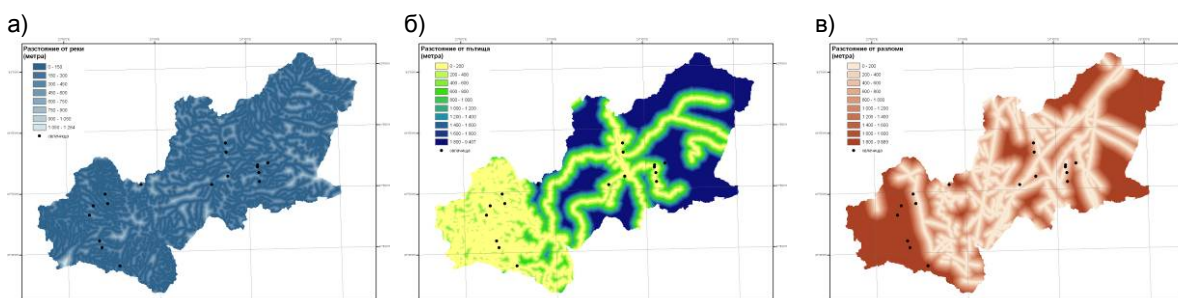
Подобно на речните легла, локални ерозионни базиси, макар и с антропогенен произход се явяват пътищата. Но пътищата освен това са изкуствени зони на срязване и съответно

предпоставка за плъзгане на земни маси. Затова логично при анализа на този фактор установихме по-висока зависимост на свлачищата от разстоянията от пътищата в сравнение с фактора „разстояние от реки“. Класифициран е в 10 класа, като с най-високи стойности на съотношението на честотите се характеризира първият клас – с разстояние от пътищата от 0 до 200 метра.



Фиг. 3. Хидроложки условия: а) TWI; б) SPI

Естествените природни зони на срязване на земни пластове, по които може да се осъществи придвижване на земни маси са разломите. Те са също така и сеизмично активните зони на територията. Ето защо, разстоянието от разломите също беше взето предвид като фактор при генерирането на модела (Фиг. 4). За изследвания район обаче, този фактор влияе най-силно на разстояние от 600 до 800 метра. Това е класът, в който съотношението на честотите е най-високо спрямо останалите 10 класа от използваната класификация (табл. 1).



Фиг. 4. Разстояния от линейни структури: а) разстояния от реки; б) разстояния от пътища; в) разстояния от разломи

Факторът с една от високите степени на зависимост за формирането на свлачищата е растителната покривка. За целите на изследването, получените по модела CLC2006 класове бяха групирани в 7 класа (Фиг. 1). При анализа на този фактор с най-високи стойности на съотношението на честотите (съответно с най-голямо влияние върху свлачищата) се характеризира класа „урбанизирани структури“ (табл. 1). Освен в този клас на територията на двете общини са регистрирани свлачища и върху терени заети от гори и открити площи с малко или без растителност. Това дава основание да се смята, че антропогенната дейност също оказва влияние върху възникването на свлачищни процеси. Факт, който трябва да се има предвид при бъдещото развитие на територията.

Картата на свлачищната чувствителност на територията на трансграничния регион на общините Пехчево и Симитли беше генерирана по описания вече модел, комбиниращ съотношенията на честотите на всичките 10 избрани фактора, които оказват влияние върху възникването на свлачищните процеси.

Както е известно един от най-важните причиняващи фактори при свлачищата е динамиката на валежите. За да бъде отчетен този фактор при генерирането на модела за свлачищната чувствителност на територията, са използвани данни на НИМХ-БАН за средногодишните количества на валежите за 54-годишен период на измерване (1931–1985 г.) от 14 станции разположени в близост до изследваната територия, които характеризират климатичните особености на съответната област. Влиянието на релефа и надморската височина е калкулирано по метода на линейната регресия, където регресионното уравнение има вида (урав. 4):

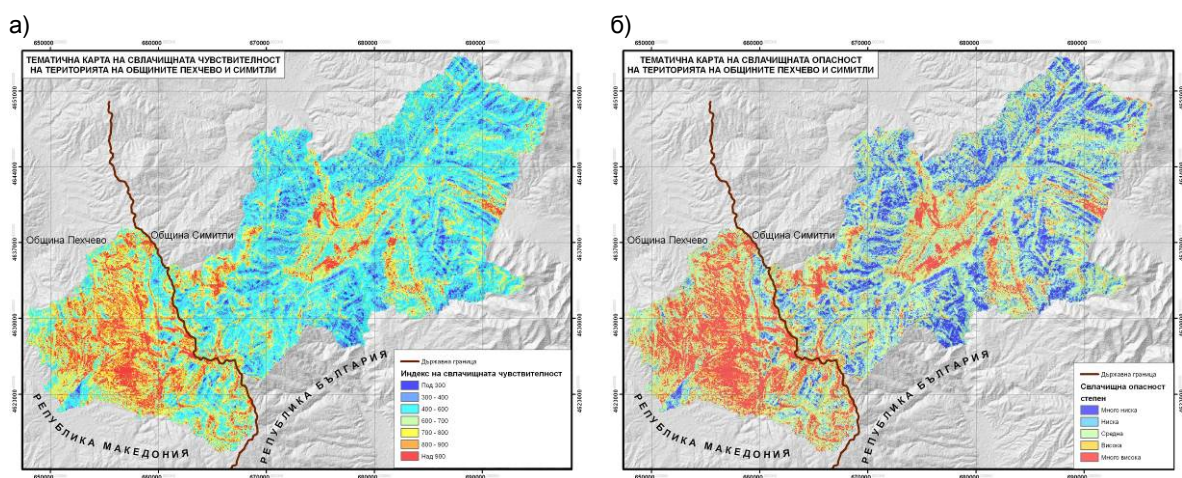
$$(4) \quad H = 0.24497 * E + 491.4101$$

където H е средногодишната сума на валежите, а E е надморската височина.

Моделът за средногодишната сума на валежите е съставен на основата на цифровия модел на релефа. След което индексът за свлачищна чувствителност, получен по модела за съотношение на честотите (урав. 1) е коригиран с индекса на валежите (урав. 5):

$$(5) \quad LSI_H = LSI * \frac{H}{12}$$

Картата на свлачищната чувствителност на територията на общините Пехчево и Симитли (Фиг. 5а), съставената на основата на индекса на свлачищната чувствителност (LSI), който представлява цифрова оценка на диференцираното влияние на всичките избрани 10 фактора и класовете в тях, свързани с възникването и динамиката на свлачищните процеси, съобразено с природните условия на избрания район. Колкото е по-висока стойността на индекса, толкова е по-чувствителна съответната комбинация от фактори към възникването на свлачище.



Фиг. 5. а) индекс на свлачищна чувствителност; б) карта на свлачищната опасност

С помощта на инструментите на GIS бе извършена класификация на индекса на свлачищна чувствителност и бе създадена тематична карта на свлачищната опасност на територията на общините Пехчево и Симитли (Фиг. 5б). Класификацията съдържа 5 класа (Табл. 2), които дават качествена оценка на пространственото разпределение на различните степени на опасност от възникването на свлачище.

Таблица 2. Класификация на свлачищната опасност на територията на общините Пехчево и Симитли

№	Клас свлачищна опасност	Индекс на свлачищна чувствителност
1	Много ниска	108 – 400
2	Ниска	400 – 500
3	Средна	500 – 700
4	Висока	700 – 800
5	Много висока	800 – 1 381

Заклучение

Трансграничният район на общините Пехчево и Симитли поради силно пресечения си релеф е едно от местата за териториите двете държави за които са характерни свлачищата като природно бедствие. По информация на различни институции за период от около 30 години (от 1984 г. до 2013) на територията на двете общини са регистрирани 17 големи свлачища, данните за които са използвани при моделирането на свлачищната чувствителност в настоящото изследване.

Причините за възникването на свлачища са много, имат сложна взаимовръзка, а в редица случаи остават скрити. Свлачищните събития корелират с много фактори. Ето защо изборът на фактори е важен при картографирането на свлачищната чувствителност. В настоящото изследване, използвайки модела за съотношение на честотите беше установена количествена връзка между свлачищата и 10 въздействащи фактора: геоложката основа, средният наклон на релефа, надморската височина, изложенията на склоновете, индексът за топографска влажност на почвата (TWI), конвергенцията на релефа (SPI), разстояния от реки, разстояния от пътища, разстояния от разломи и растителната покривка. Една от най-важните причини за избора на този метод, основаващ се на взаимовръзката между свлачищата и причинно-следствените фактори, е тази, че според редица автори [8, 11, 13] той дава сравнително добра точност и минимизира субективните експертни оценки. За територията на общините Пехчево и Симитли най-силна зависимост беше установена между свлачищата и типа на геоложка основа и растителна покривка. Силна зависимост беше установена също и между факторите разстояние от пътища и наклони на склоновете. Съществени за възникването на свлачищните процеси в района са също хидроложките условия и разстоянията от реките и разломните структури. По отношение на изследваната територия макар и по-слаба бе установена взаимовръзка между свлачищата и надморската височина и изложенията на склоновете.

Считаме, че генерираната в резултат на изпълнението на модела карта на свлачищната чувствителност на територията на избрания трансграничен район между Република България и Република Македония чрез прилагането на вероятностен модел на основата на дистанционни методи и използвайки инструментите на ГИС за анализ на пространствени бази данни е един нов за региона подход при изследването на свлачищните процеси. На основата на тази карта може да се предскаже възникването на бъдещи свлачища на места, където все още не са се случили.

На основата на картата за свлачищната чувствителност, след избор на подходяща класификация, беше създадена и тематична карта на свлачищната опасност за района. Установено бе, че 28,3% от територията на двете общини се характеризира с висока и много висока степен на опасност от възникване на свлачища.

Надяваме се, че след проверката на модела в бъдеще, получените резултати биха могли да бъдат използвани при управлението и планирането на земеползването в двете общини, а също биха могли да бъдат в помощ на инженерните и проектантските проекти при избора на места за по-нататъшно детайлно проучване.

Литература:

1. Kyо-Young Song, Hyun-Joo Oh, Jaewon Choi, Inhye Park, Changwook Lee, Saro Lee. Prediction of landslides using ASTER imagery and data mining models, *Advances in Space Research*, 49, 2012, pp. 978–993
2. Jonas von Ruetten, Papritz, A., Lehmann, P., Rickli, C., Dani Or. Spatial statistical modeling of shallow landslides—Validating predictions for different landslide inventories and rainfall events. *Geomorphology*, 133, 2011, pp. 11–22
3. Melchiorre, C., Matteucci, M., Azzoni, A., Zanchi, A. Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation. *Geomorphology*, 94, 2008, pp. 379–400
4. Borgogno Mondino, E., Giardino M., Perotti L. A neural network method for analysis of hyperspectral imagery with application to the Cassas landslide (Susa Valley, NW-Italy). *Geomorphology*, 110, 2009, pp. 20–27
5. Neaupane K.M., Piantanakulchai M. Analytic network process model for landslide hazard zonation. *Engineering Geology*, 85, 2006, pp. 281–294
6. Greco, R., Sorriso-Valvo M., Catalano E. Logistic Regression analysis in the evaluation of mass movements susceptibility: The Aspromonte case study, Calabria, Italy. *Engineering Geology*, 89, 2007, pp. 47–66
7. Pradhan, B. Remote sensing and GIS-based landslide hazard analysis and cross-validation using multivariate logistic regression model on three test areas in Malaysia. *Advances in Space Research*, 45, 2010, pp. 1244–1256
8. Yilmaz, I. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat — Turkey). *Computers & Geosciences*, 35, 2009, pp. 1125–1138
9. Pourghasemi, H. R., B. Pradhan, C. Gokceoglu and K. Deylami Moezzi. Landslide Susceptibility Mapping Using a Spatial Multi Criteria Evaluation Model at Haraz Watershed, Iran. *Terrigenous Mass Movements*, 2012, pp. 23-49
10. Nefeslioglu, H. A., C. Gokceoglu, H. Sonmez. An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. *Engineering Geology*, 97, 2008, pp. 171–191

11. Lee, S., J. A. Talib. Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Environmental Geology*, 2005, 47 pp. 982–990
12. Yalcin, A., S. Reis, A.C. Aydinoglu, T. Yomralioglu. A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. *Catena*, 85, 2011, pp. 274–287
13. Pradhan, B., S. Lee. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling. *Environmental Modelling & Software*, 25, 2010, pp. 747–759
14. Szen, M. L., V. Doyuran. A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multivariate versus bivariate. *Environmental Geology*, 2004, 45, 5, pp 665–679
15. Neaupane, K.M., M. Piantanakulchai. Analytic network process model for landslide hazard zonation. *Engineering Geology*, 85, 2006, pp. 281–294
16. Zlateva, P., L. Pashova, K. Stoyanov, D. Veleev. Fuzzy Logic Model for Natural Risk Assessment in SW Bulgaria. 2nd International Conference on Education and Management Technology IPEDR, 13, 2011, IACSIT Press, Singapore
17. Желев, Г. Изследване на вулканогенни структури в района на източни Родопи чрез дистанционни методи и ГИС. Дисертационен труд за присъждане на образователна и научна степен „Доктор“, Акад. Изд. „Проф. М.Дринов“, 2013, София, стр.120, ISBN 978-954-322-633-7
18. Маринова, Р., И. Загорчев. Обяснителна записка към геоложка карта на България в М1:100 000. 1993, София
19. Маринова, Р. Обяснителна записка към геоложка карта на България в М1:100 000. 1993, София
20. Загорчев, И., Й. Динкова, А. Вапцарова. Обяснителна записка към геоложка карта на България в М1:100 000. 1991, София
21. Beven, K. J., M. J. Kirky. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, 24, 1, 3, 1979, pp. 43 – 69.
22. Moore, I. D., P. E. Gessler, G. A. Nielsen, G. A. Peterson. Soil attribute prediction using terrain analysis, *Soil Science Society of America Journal*, 57(2), 1993, pp. 443–452.