Картографиране на терените по податливост към проява на срутища

Пламен Иванов¹, Бойко Беров¹, Николай Добрев¹

¹Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia, Bulgaria;
e-mail: plivanov62@geology.bas.bg; b_berov@geology.bas.bg; ndd@geology.bas.bg

Ivanov, P., B. Berov, N. Dobrev. 2018. Mapping of the terrains to rockfall susceptibility. *Engineering Geology and Hydrogeology*, 32, 31-38.

Резюме. Срутищните явления са едни от основните процеси, съставляващи геоложката опасност. Най-често под понятието „срутища“ се разбират няколко различни вида скални деформации – скално срутване (по линейна плоскост и по клин), скално преобръщане и др. Трудно е да се предвиди точният момент на възникването на едно скално срутване. Поради тази причина е необходимо да се знаят потенциално опасните участъци и районите, в които този феномен може да възникне, или да се извърши картографиране на терените по податливост към проява на срутища. Така ще се добие представа за местоположението на опасните зони с предпоставки за срутвания и на тази база могат да се набележат необходимите превантивни мерки. В статията се разглеждат основните видове срутвания и склоновите условия – инженерногеоложки, геоморфоложки, тектонски, при които те възникват. Даден е методичен подход при картографирането на терените по податливост към проява на срутища в България. Изяснени са въпросите, свързани с мащабите на съставяните карти.

Ключови думи: срутища, геоложка опасност, податливост, картиране.

Abstract. Rock collapses phenomena are one of the main processes constituting the geological hazard. Most commonly, the concept of "collapses" covers several different types of rock deformations: rockfall (linear and wedge-shaped), rock toppling, etc. It is difficult to predict the exact moment of the occurrence of a rock collapse. For this reason, it is necessary to know the potentially dangerous regions and areas in which this phenomenon may occur or to plot the sites by susceptibility to rock collapses. This will give an idea of location of hazardous areas with preconditions for collapses, and on this basis the necessary preventive measures can be identified. The main types of rock collapses and slope conditions - engineering geological, geomorphological, tectonic, are discussed. The methodological approach is given for the mapping of the terrains by susceptibility to rock collapses. Issues related to the scale of the maps compiled are clarified.

Keywords: rockfalls, rock collapses, geological hazard, susceptibility, mapping.

Въведение

Опасността от възникването на срутищата включва всички опасни геоложки явления, свързани със срутване на скални блокове, описани в Методиката за оценка на геоложкия риск (2014). Въз основа на световната класификация на гравитационните процеси на Varnes (1978) – това са процесите „преобръщане“ (rocktoppling) и скално „срутване“ (rockfall), които все още се описват с общото понятие „срутища“. От своя страна явленията на скално срутване могат да се разделят на движения на скални блокове по линейна плоскост и по клин (Ноек, Bray, 1981) (фиг. 1). При оценката следва да се добавят бързите обрушвания на

обломъчни материали по стръмни склонове, известни в класификацията като „обломъчни/скални лавини” (*rock/debris avalanche*, съгл. Varnes, 1978) и маси, както и единичните скални блокове, лежащи на даден склон, които поради действие на различни фактори могат отново да се активизират и по този начин да бъдат в риск за населението и инфраструктурата (Rockfall countermeasure handbook, 2000) (табл. 1).

Таблица 1. Типични видове скални деформации
Table 1. Representative types of rock deformations

Наименование	Относителна скорост	Общо описание
срутище, скално преобръщане	Много бърза	Внезапно преместване на един или много скални блокове с всякакви размери от скален откос или стръмен склон, които се спускат в относително свободно падане. Движението може да бъде право надолу или в поредица от големи скокове надолу по склона.
скално свличане	Много бърза	Внезапно низходящо движение от един или няколко скални блока по някаква добре дефинирана повърхност на движение/хлъзгане, която обикновено представлява пукнатинна система, разлом, напластяване. В процеса на движение скалните маси се деформират или разпадат на по-малки късове.
скална или обломъчна лавина	бърза до много бърза	Движение на несвързана скална маса, при което първоначалната структура на образуване вече не е видима; възниква по недобре определена повърхнина. Характерна особеност на това явление е морфология на поток с относително малка дебелина.

Фиг. 1. Основни типове скални деформации (по Hoek & Bray, 1981)
Fig. 1. Main types of rock deformation (modified after Hoek & Bray, 1981)

При класическия тип срутване (*rockfall*) механизмът на откъсване от скалния откос е в пряка зависимост от тежестта на скалния блок, механичното изветряне и наличието на пукнатинни води. Основните действащи сили са тези на опън.

При другия основен вид скална деформация – скалното преобръщане (*rocktoppling*), скалният блок се завърта в посока към въздушната страна на откоса и се преобръща. Последният тип скална деформация е характерен за вертикалните откоси по платата.

Методичен подход

Картографирането по податливост на терените към процесите на срутване е свързано с определяне на областите, в рамките на приповърхностната зона на земната среда с инженерногеоложки, геоморфоложки, геоложки и тектонски характеристики, които могат да ги направят податливи към проява на гореспоменатите видове срутища. Картите на податливостта показват къде могат да възникнат едни или други разрушителни процеси. Основната концепция за податливост на терените включва пространственото разпределение на факторите, свързани с процесите на неустойчивост, за да се определят опасните райони без отразяване на фактора време.

Този подход е полезен за области, в които е трудно да се осигури достатъчно историческа информация за разрушителните процеси на срутване, липсват или са оскъдни метеорологични данни за валежите, неизвестни са интензивността и магнитудът на земетресенията, които са активизирали срутища или други неблагоприятни процеси. Това са един вид карти на фактическия материал, но с елементи на известна геоложка и геотехническа интерпретация, тъй като тя може да се основава на геоморфоложки признаци, инженерногеоложки изследвания, анализ на аерофотоснимки, полеви картировки и др.

Картографирането по податливост не предвижда идентифициране на опасностите и риска, които те ще породят за хората. Подобно картографиране не предсказва кога ще се случи дадено срутване. То само определя областите, районите и участъците, където този разрушителен геоложки процес е възможно да възникне. Картографирането по срутищна податливост е често срещано в практиката на много страни по места и области, като главно се използва за подпомагане на планирането и като първа стъпка към оценки на опасността и на риска (Agliardi et al., 2009; Copons, Vilaplana, 2008; Crosta, Agliardi, 2003; Frattini et al., 2008; Swanger, Admassu, 2018; Valagussa et al., 2014).

Методите за картографиране по податливост са разнообразни и многобройни и често варират в зависимост от държавата, морфологията и релефа, целите и финансите, които са на разположение за изпълнението на даден проект. В зависимост от детайлността на проекта, набелязаните мащаби на картиране и предвиденото финансиране, сроковете за изпълнението на подобна задача варират в широки граници.

Като най-важни елементи при подхода и картографирането по податливост се разглеждат геоложките условия, т.е. какви са видовете литоложки разновидности, тяхната тектонска обработка и инженерногеоложките условия. Важно е определянето към кои инженерногеоложки групи принадлежат тези разновидности - скални, полускални, свързани или несвързани строителни почви. Следва информацията за релефа и морфологията на страната, както и хидрографската мрежа. От особена важност са морфологията и данните за склоновете или т. нар. ъгъл на наклона при картирането на срутищната податливост.

На картите за податливостта на терените към даден разрушителен геоложки процес се поделят териториите, като се градира в категории от стабилни до нестабилни. За представяне на податливостта се използват цветови схеми, на които нестабилните райони се показват с по-топли и ярки цветове, като червено, оранжево и жълто, а с по-приглушени и студени цветове (сини и/или зелени) се представят по-стабилните райони.

Анализ по податливост към срутване

Според някои изследователи като Сое & Harp (2007) изчисляването на разстоянието на транспорт на скалните маси при големи скални склонове може да

се получи чрез емпирични зависимости. Това има значение за анализа по податливост към срутване при следните условия: 1) голяма вариация при зоната за транспортиране, например поради различия, свързани с размера на падналия материал; 2) следите от движението на скалния блок обикновено не са ясни, особено при по-старите обрушвания; и 3) ако при използване на някои мащаби положението на скалните блокове не може да бъде отразено.

Според тези критерии най-податливи към срутищни явления са онези геоложки формации, където са налице тектонски нарушения, разломи и пукнатинни системи с неблагоприятна ориентация. Подробен структурен анализ на масива включва изясняване на елементите на всяка пукнатинна система, откъдето може да се определи и срутищният потенциал. Редица изследователи на срутищния потенциал включват и оценката за състоянието на скалния масив, например Rock mass rating RMR (Bieniawski, 1978, 1989), Slope Mass Rating SMR (Romana, 1985, 1995), Geological Strength Index GSI (Hoek et al., 1998; Hoek, Marinos, 2000; Lakov, Stoynev, 2013), Rockfall Hazard Rating System RHRS (Pierson, Van Vickle, 1993); Slope Stability Rating SSR (Taheri, 2012), Rockfall Hazard Rating R (Dong et al., 2014), и др.

Числено или аналитично моделиране на срутищните явления изисква точно определяне на геометричните и физични характеристики на падащия блок и на склона. Основните геометрични характеристики се отнасят до размера на блока и на неговата форма, докато основните физически характеристики са началната скорост на свободно падане, коефициентът на реституция и загубата на енергия при удар. Основните видове скални деформации включват както обрушване на скални маси, така и преобръщане и хлъзгане по слаба плоскост. Също така при случаи на нестабилни блокове със заоблена форма може да се стигне и до търкаляне на блока по склона. Въздействието от свободното падане/претъркаляне може да бъде категоризирано в три групи в зависимост от тяхното въздействие върху човешката дейност – от 1 (ниско въздействие) до 3 (значително въздействие).

Един преглед на световната практика показва, че в основната част от изследванията върху срутищните процеси податливостта на даден склон към срутване и оценката на риска се правят в едър мащаб (най-често 1: 5000 до 1: 25000). Това са отделни райони, засегнати от срутищни процеси, носещи своята геоложка, геоморфоложка и климатична специфика. За всеки район на проучване се правят анализи на данните от теренните изследвания, мониторинг, архивните (исторически) източници, анализират се аерофотоснимки, на базата на които се преценява податливостта към срутване. С обратни изчисления се определят траекториите на обрушените маси и така се получава ценна информация, която може да се използва при оценката на тенденцията за възникване на срутища в съответната геоложка формация и при по-нататъшните изчисления на срутищната опасност/риск (Добрев и др., 2014ф; Иванов и др., 2017ф; Плов, 2004; Ivanov, 2018).

Добрев, Н., Бручев, И., Наков, Р., Карастанев, Д., Иванов, П., Беров, Б., Кръстанов, М., Франгов, Г., Върбанов, Р., Стойнев, С., Лаков, А., Карадинкова, С., Пеев, Т., Гаврилов, И., Йорданов, Й. 2014. *Методика за оценка на геоложкия риск*. 2014. Геол. инст. БАН, МРРБ, (<http://gis.mrrb.government.bg/KGR/>), 123 с.

Иванов, П., Добрев, Н., Бручев, И., Наков, Р., Карастанев, Д., Беров, Б., Кръстанов, М., Франгов, Г., Върбанов, Р., Стойнев, С., Лаков, А., Железов, Г., Карадинкова, С., Гаврилов, И., Йорданов, Й. 2017. *Изработване на анализ, оценка и картографиране на геоложкия риск*. Геол. инст. БАН, МРРБ, (<http://gis.mrrb.government.bg/KGR/>), 228 с.

Фиг. 2. Скално преобръщане - (rocktoppling) при Мадарско плато
 Fig. 2. Rocktoppling at Madara plateau

Фиг. 3. Скална деформация по клин, Кресненско дефиле
 Fig. 3. Rock deformation after wedge failure, Kresna Gorge

Условия

Подходящи условия за възникване на срутища съществуват при скални склонове (фиг. 2, 3), засегнати от разломи, с наличие на наклонени пластове, затъващи по посока на склона, периферните зони на плата, а така също високи каньоновидни или тесни речни проломи (Frangov, 1994, 2017; Ivanov, 2016; Ivanov, 2018; Kamenov, Piev, 1963; Lakov, 2018; Stoynev, 2018). Размерите на обрушените скални блокове в голяма степен се определят от напукаността на скалите, степента на изветрянето и тектонската им преработка. В гранити, гнайси и здрави пясъчници скалните призми достигат до размери 3-5 m, а в алевролитите – до 1-1,5 m.

Борбата със срутищата е трудна и се изразява в разчистване на падналия материал, обрушване на разхлабени блокове по склона или тяхното закрепване чрез анкериране или циментация. За предпазване на съществуващи съоръжения се практикува изграждането на улавящи подпорни стени, мрежи и др.

Изводи и препоръки

Картирането по податливост към проява на срутищни процеси започна с анализ на онези геоложки формации, където са налице тектонски нарушения, разломи и пукнатинни системи с неблагоприятна ориентация. Подробно структурно изследване включва и анализ на страната и наклона на всяка пукнатинна система, откъдето може да се определи и срутищният потенциал. Редица изследователи на срутищния потенциал включват и оценката за състоянието на скалния масив.

На територията на нашата страна предпоставки за възникване на срутища има при всички скални склонове, засегнати от разломи, с наличие на наклонени пластове, затъващи по посока на склона, периферните зони на платата, а така също високи каньоновидни или тесни речни проломи. Размерите на обрушените скални блокове в голяма степен се определят от напукаността на скалите, степента на изветрянето и тектонската им преработка.

В зависимост от поставената цел за прогнозно картиране по податливост към проява на срутища се определят и мащабите, в които то ще се извърши. За конкретни участъци и зони, където инженерногеоложките, тектонските и морфоложките условия са предоставили възможност за вече проявени срутвания, е препоръчително картирането по податливост към срутвания да се прави в по-едри мащаби – М 1: 5 000 до М 1: 25 000. Тези карти ще дадат ясна представа къде се намират местата в даден участък, в които най-вероятно могат да се проявят срутвания.

За онагледяване на ситуацията със срутищната податливост на дадена област или по-голям район е целесъобразно да се използват мащаби 1:50 000 или 1:100 000. Подобни карти ще помогнат при вземането на решения при проектирането и строителството на големи инженерногеоложки съоръжения като пътни магистрали или ж.п. линии.

Литература

References

- Agliardi, F., G. B. Crosta, and P. Frattini. 2009. Integrating rockfall risk assessment and countermeasure design by 3D modelling techniques. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 1059-1073.
- Bieniawski, Z. T. 1978. Determining rock mass deformability. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* v. 15, 335-343.
- Bieniawski, Z. T. 1989. *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. Wiley-Interscience, New York, 251 p.

- Coe, J. A. and E. L. Harp. 2007. Influence of tectonic folding on rockfall susceptibility. *American Fork Canyon, Utah, USA. Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 7, 1–14.
- Copons, R. and J.M. Vilaplana. 2008. Rockfall susceptibility zoning at a large scale: From geomorphological inventory to preliminary land use planning. *Engineering Geology* 102 (2008), 142-151.
- Crosta, G. B. and F. Agliardi. 2003. A methodology for physically based rockfall hazard assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3: 407-422.
- Dong, J., G. Xu, S. Zhang. 2014. A New Proposed Rockfall Hazard Rating System for Surrounding Slope in Large Hydropower Project. *EJGE, Vol.19, Bund F.*, 1327-1340.
- Frangov, G. 1994. Rockfall. In: Iliev-Broutchev, I., ed. 1994. *Geological hazards in Bulgaria – map in scale 1:500 000 and explanatory text*. Military Topographic Service, Troyan/Publishing House of BAS, Sofia, 143 p. (in Bulgarian, with English abstract).
- Frangov, St. 2017. Stability of a rock slope in the Iskar Gorge. *Bulgarian Geological Society, National Conference with international participation “Geosciences 2017”*, 137-138.
- Frattoni, P., Crosta, G., Carrara, A., & Agliardi, F. 2008. Assessment of rockfall susceptibility by integrating statistical and physically-based approaches. *Geomorphology*, 94(3-4), 419-437.
- Hoek E., P. Marinos, M. Benissi. 1998. Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens schist formation. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 57 (2), 151-160.
- Hoek, E. and Bray, J. W., 1981, *Rock Slope Engineering*: The Institute of Mining and Metallurgy, London, England, 358 p.
- Hoek, E., P.G. Marinos. 2000. Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses. *Tunnels and Tunnelling International*, 132 (11), 45-51.
- Ilov, G. 2004. *Rock Engineering*. Publishing house “ERA”, 285 p. (in Bulgarian)
- Ivanov, I. Y. 2016. Problems and challenges in the engineering geological study of high and steep slopes. In: *International Symposium Challenges for Engineering Geology and Geotechnics after Natural Disasters*, Sofia, Bulgaria, 1-10.
- Ivanov, I. D. 2018. Finding of the maximum shear stress on arbitrary oriented rock discontinuity in the context of the geotechnical practice of road and tunnel construction. *Review of the Bulgarian Geological Society*, vol. 79, 1–2, 59–68 (in Bulgarian, with English abstract).
- Kamenov, B., I. Iliev. 1963. Engineering geological subdivision of the Republic of Bulgaria. *Works on the Geology of Bulgaria, Ser. Engineer. Geol. and Hydrogeol.*, 2, 5–123 (in Bulgarian, with Russian and English abstracts).
- Lakov, A. 2018. *Stability to rock slopes in open pits and quarries*. PhD thesis, Sofia, MGU, 138 p. (in Bulgarian).
- Lakov, A., S. Stoynev. 2013. Defining Hoek and Brown failure criterion for rocks from simple strength laboratory tests data. In: *Proc. of the XII Nat. Conf. of the open pit and underground mining of minerals*, 26-30 June 2013, Varna, Bulgaria, 218-225.
- Pierson, L.A., & R. Van Vickie. 1993. Rockfall Hazard Rating System. Participant's Manual. *Oregon Department of Transportation*. Publication No. FHWA SA-93-057, 102 p.
- Rockfall countermeasure handbook*. 2000. Japan Road Society, 422 p.

- Romana, M. 1985. New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. In: *Proc. Int. Symp. on the Role of Rock Mechanics*, 49-53.
- Romana, M. 1995. The geomechanical classification SMR for slope correction. *Proc. Int. Congress on Rock Mechanics* 3, 1085-1092.
- Stoynev, St. 2018. *Assessment of geodynamic risk categories and engineering-geological monitoring of hazardous geological phenomena and processes*. Sofia, Publishing house "St. Ivan Rilski ", 160 p. (in Bulgarian)
- Swanger, W., Y. Admassu. 2018. Using Google Earth and Google Street View to Rate Rock Slope. *Hazards Environmental & Engineering Geoscience*, Vol. XXIV, No. 2, 237–250.
- Taheri, A. 2012. Design of rock slopes using SSR classification system. In: *International Conference on Ground Improvement and Ground Control (ICGI 2012)*, 30 Oct. – 2 Nov. 2012, University of Wollongong, Australia. B. Indraratna, C. Rujikiatkamjorn and J S Vinod, eds., 1-6.
- Valagussa, A., P. Frattini, G. Crosta. 2014. Earthquake-induced rockfall hazard zoning. *Engineering Geology* 182 (2014), 213–225.
- Varnes, D.J. 1978. Slope movement types and processes. In: *Schuster, R.L. & R.J. Krizek (eds), Landslides, analysis and control. Special Report 176*. Washington, 11–33.

Постъпила: 10.04.2018

Приета: 03.12.2018

Received: 10 April 2018

Accepted: 03 December 2018