



## Historical overview of the cases of soil liquefaction due to earthquakes on the territory of Bulgaria

### Исторически преглед на случаите на втечнявания на почвата следствие на земетресения на територията на България

*Stefcho Stoynev<sup>1</sup>, Plamen Ivanov<sup>2</sup>*  
*Стефчо Стойнев, Пламен Иванов*

<sup>1</sup> University of Mining and Geology „St. Ivan Rilski“, Sofia, Bulgaria; E-mail: stoynev@mail.bg

<sup>2</sup> Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia, Bulgaria; E-mail: plivanov62@geology.bas.bg

**Abstract.** The liquefaction of water-saturated sediments on the territory of Bulgaria is registered during almost all strong earthquakes affecting its territory. Specific cases have been described by a number of authors. The processes of soil liquefaction can significantly increase the destructive effect of earthquakes. A historical overview of the cases of soil liquefaction on the territory of Bulgaria is presented. Terrains with secondary seismogenic deformations such as liquefaction of weak soils are shown in this paper.

**Keywords:** soil liquefaction, liquefaction susceptibility, geological hazards, Quaternary deposits, Bulgaria.

#### Увод

Сеизмохидродинамичните явления са характерни за водонаситени земни основи. Особено чувствителни към сеизмично въздействие са слабите водонаситени седименти. Глинестите и тинестите компоненти от геоложката среда преминават в течна консистенция, а водонаситените пясъци – в плаващо състояние. Лъсовите почви се разтичат и пропадат. Рязката промяна на напора във водоносните пластове предизвиква хидравлични разриви в отгорележащите водоупори, а на терена възниква т.нар. „пясъчен вулканизъм“. Земна основа, изградена от водонаситени пясъци, при втечняването им губи носещата си способност и построените върху нея сгради и съоръжения претърпяват тежки деформации. Процесите на втечняване могат да увеличат значително разрушителния ефект от земетресенията. Илиев-Бручев (Iliev-Broutchev, ed., 1994) отнася явлението втечняване към „процесите с непрекъснато действие, водещи и до внезапни (рискови) явления“. Това е и един от процесите, включени в „Анализ, оценка и картографиране на геоложкия риск“<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Иванов, П., Н. Добрев, И. Бручев, Р. Наков, Д. Карастанев, Б. Беров, М. Кръстанов, Г. Франгов, Р. Върбанов, С. Стойнев, А. Лаков, Г. Железов, С. Карадинова, И. Гаврилов, Й. Йорданов. 2017ф. *Изработване на анализ, оценка и картографиране на геоложкия риск*. Геол. инст. БАН, МРРБ, (<http://gis.mrrb.government.bg/KGR/>), 228 с.

#### Исторически преглед на случаите на втечнявания

Втечнявания на слаби почви на територията на България са регистрирани практически при всички по-силни земетресения, както от местни, така и от външни огнища. Конкретните случаи са описани от Watsof (1902, 1903, 1905), Brankov (1983), Karastanev (1994), Stoynev (2004), Matova (2007), Namova et al. (2015), Berov et al. (2017) и др. (табл. 1).

Документираните втечнявания са основно в Крайдунавските низини (Видинската, Козлодуйската, Чернополската, Свищов-Беленската, Бръшлянската); по долното течение на р. Янтра и около гр. Горна Оряховица; в терасата на р. Голяма (гр. Стражица); в терасите на р. Искър (Софийско) и на р. Марица (между Чирпан и Пловдив); в пясъчните коси в районите на Бургас и Варна; в крайморските лимани и по долината на р. Струма.

Първите сравнително по-подробни данни за разрушителния ефект на Шабленското земетресение от 1901 г. (Kovachevsky, 1901) недвусмислено показват, че с най-големи повреди са сградите, фундаментите върху водонаситени алувиални, елувиално-алувиални и пролувиални отложения.

Втечняване на водонаситени пясъци са наблюдавани в терасата на р. Янтра по време на Горнооряховското земетресение през 1913 г. (Staykov, 1917).

Таблица 1. Сеизмохидродинамични вторични деформации в България

Земетресение	Документирани случаи на сеизмохидродинамични вторични деформации
София, 1818 г. $I_0 = \text{VIII-IX}$	Промяна се дебитите на студени и термални извори. Поява на нови минерални извори (Watsof, 1902).
София, 1858 г. $I_0 = \text{IX-X}$	Минералните извори се изгубили за известно време. По същото време изближнал минералния извор в Овча купел (Nachov, 1896).
Шабла, 1901 г. $I_0 = \text{IX-X}$	В пясъчните коси в районите на Варна и в долината на р. Батова (Kovachevsky, 1901; Watsof, 1903).
Крупник, 1904 г. $M = 7,8, I_0 = \text{X}$	Изхвърляне на вода и пясък по пукнатини (терасите при с. Крупник, ЮИ от с. Бобошево, гр. Горна Джумая, по брега на р. Искър при с. Гниляне, Софийско, на р. Панега при с. Рупци и др.). Изменение на дебити на извори, размътване на водата и др. (Watsof, 1905).
Г. Оряховица, 1913 г. $M = 7,0, I_0 = \text{IX}$	Изхвърляне на вода и пясък, вследствие прориви на подземни води (тераса на р. Янтра). Промяна на дебитите и размътване на водите на някои чешми, извори и кладенци (Staykov, 1917).
Чирпан-Пловдив, 1928 г. $M = 7,0, I_0 = \text{IX-X}$	Водни и пясъчни изближвания (в близост до р. Марица). Втечняване на водонаситени пясъци. Изменение дебита на водата в кладенците и изворите, на места пълното им засипване с пясък. По време на това земетресение изчезва известният Мерицлерски минерален извор. (ДИПОЗЕ, 1932ф <sup>1</sup> ; Mihailovic, 1933; Kirov, 1935; Petrov, Glavcheva, 2007).
Вранча, 1977 г. $M = 7,2, I_{\text{ак}} = \text{VIII}$ (за територията на България)	Втечняване и протичане на водонаситени глинести и пясъчно-чакълести наноси, хидроразриви през водоупорни пластове, воднопясъчно фонтаниране от новообразувани пукнатини – поредица от пясъчно-глинести конуси с дължина от 2–3 m до 300 m (по терасите на р. Дунав и р. Янтра, о-в Голям Вардин и др.). Активизиране на калните вулкани и изтичане на тиня (долината на р. Соколица до с. Медникарово – Източномаришки басейн). Промяна на режима на подземните води – предимно в С България (Brankov, 1983).
Велинград, 1977 г. $M = 5,3, I_0 = \text{VII-VIII}$	Съществени нарушения в режима и състава на термалните води (Petrov et al., 1980).
Своге, 1980 г. $M = 4,4$	Спиране на Искрецкия карстов извор за близо едно денонощие и след това появата му с по-голям дебит. Поява на няколко кални и пясъчливи изворчета на повърхността.
Стражица, 1986 г. $M = 5,7, I_0 = \text{VIII}$	Протичане (втечняване) и водопясъчен „вулканизъм“ във водоносните речни наноси от терасите на Голяма река, р. Лефеджа и др. Повишава се температурата на подземните води в отделни шахтови кладенци (Сеизмогеоложка..., 1987ф <sup>2</sup> ).
Перник, 2012 г. $M = 5,6, I_0 = \text{VI}$	Размътване на водата в селата Бяла река, Дивотино, Мещица и Рударци. Няма следи от втечняване.

<sup>1</sup> ДИПОЗЕ. 1932ф. Отчет за извършеното от 25 април 1928 г. до 1 ноември 1931 г. на Дирекцията за подпомагане и възстановяване земетръсната област 1928 г. С. 421 с.

<sup>2</sup> Сеизмогеоложка и инженерносеизмична характеристика на района на Стражица-Попово-Водица, засегнат от земетресенията през 1986 г. 1987ф. Доклад БАН, Геофонд ЛГСЗОТ-БАН, 540 с.

Подробният анализ на последствията от разрушителните Пловдивско и Чирпанско земетресение през 1928 г. показва, че те са били съпътствани не само от големи деформации на терена, но и от широко проявление на „водно-пясъчен вулканизъм“, свързан с протичане на водонаситени алувиални пясъци. Водно-пясъчните фонтани и кратери са регистрирани на много места по пукнатините в ниските тераси около река Марица. Водно-пясъчните вулкани са достигали височина 2–3 m и са наводнявали и натрупвали пясъци в приземните етажи на жилищата. Втечняванията на водонаситени алувиални отложе-

ния са допринесли за значително увеличаване на разрушителните ефекти. Проучванията на нанесените щети в изосейстната област на земетресенията от 1928 г. установяват, че най-силно са разрушени селищата сред ниските алувиални тераси на р. Марица и притоците ѝ – селата Садово, Чалъково, Поповица, Милево, Винаца, Любеново, Скобелево, Златна ливада, гр. Първомай и други (ДИПОЗЕ, 1932ф<sup>2</sup>).

Земетресението с епицентър Вранча (Румъния) през 1977 г. е предизвикало втечняване на водонаситени пясъци и изкуствени насипи в терасите на реките Дунав и Янтра (землища-

та на селата Новград, Кривина, Ценово, Джолюница и Белцов), остров Голям Вардим и при гр. Русе. Най-значителни са били разрушенията на пристанищни съоръжения и промишлени сгради, фундирани върху водонаситени слаби почви (Brankov, ed., 1983) – завод Свилоза, пристанищата на Русе, Свищов, Никопол и Лом, в някои райони на Варна и курортния комплекс по долината на р. Камчия.

Втечняване на водонаситени пясъци са наблюдавани и в терасата на р. Струма по време на Крупнишкото земетресение от 1904 година (Watsof, 1905; Dobrev, Petrov, 2007). По време на това земетресение хидродинамични явления са констатирани в северната периферия на Софийската котловина във водонаситените отложения от ниските заливни тераси на реки, протичащи през басейна (на разстояние 115 km от епицентъра на земетресението). Сеизмичното въздействие на Крупнишкото земетресение от 1904 г. е съпроводено от 6 хидроразривни деформации и изхвърляне на втечен пясък по терасите на р. Искър при с. Гниляне на височина до 10–5 m (Watsof, 1905).

## Заклучение

Анализът на съществуващите исторически случаи на втечнявания, на геоложките, геоморфоложките, инженерногеоложките и хидрогеоложките условия и на сеизмичността в България показва, че най-податливи към тези опасни геоложки процеси са кватернерните отложения в Северна България, Крайдунавските низини, Горнотракийската низина и долината на р. Струма.

*Благодарности:* Настоящото изследване е проведено във връзка с изпълнението на Национална научна програма (ННП) „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“, одобрена с Решение на МС № 577/17.08.2018 г. и финансирана от МОН (Споразумение № Д01-230/06.12.2018 г.).

## Литература References

Berov, B., P. Ivanov, G. Frangov, N. Dobrev, M. Krastanov. 2017. Liquefaction susceptibility of quaternary deposits in Bulgaria. – In: *Proceedings of 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017*, 29 June–5 July 2017, Albena, Bulgaria, 17, 12, 499–506.

- Brankov, G. (Ed.) 1983. *The Earthquake in Vrancha in 1977. Consequences in Republic of Bulgaria*. Sofia, BAS, 425 p. (in Bulgarian).
- Broutchev, I. 1986. *Influence of the Engineering Geological Conditions on the Earthquakes Consequences*. Unpublished D. Sci. Thesis. Sofia, Geol. Inst., Bulg. Acad. Sci., 46 p. (in Bulgarian).
- Dobrev N., P. Petrov. 2007. Terrain effects caused by April 4, 1904 Krupnik earthquake. – In: *Proceedings of Intern. Project “Seismo-Hydrogeological Vulnerability of the Environment and Society in the Balkan Region”*, Second Meeting, 22–26 Nov. 2006. Sofia, 139–146.
- Hamova, M., G. Frangov, H. Zayakova, M. Perikliyska, A. Mihaylov. 2015. Soil liquefaction in Bulgaria – examples, prognoses and countermeasures. – In: *Proceedings of the XVI ECSMGE Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development*, 2243–2248.
- Iliev-Broutchev, Il. (Ed.) 1994. *Geological Hazards in Bulgaria. Map in Scale 1:500 000 and Explanatory Text.*, MTS Troyan; Sofia, the Publ. House Bulg. Acad. Sci., 143 p. (in Bulgarian with English summary).
- Karastanev, D. 1994. Liquefaction of sands. – In: Iliev-Broutchev, Il. (Ed.) *Geological Hazards in Bulgaria. Map in Scale 1: 500 000 and Explanatory Text.* MTS Troyan; Sofia, the Publ. House Bulg. Acad. Sci., 100–101 (in Bulgarian).
- Kirov, K. 1935. Contribution to the study of the earthquakes of 14 and 18 April 1928 in Southern Bulgaria. – *Coll. of BAS, XXIX*, 1–116 (in Bulgarian).
- Kovachevsky, Hr. 1901. The earthquake in Balchik area. – *Narodna Sila Newspaper*, 13 (in Bulgarian).
- Matova, M. 2007. Seismic-hydrogeological phenomena in a sector of Stryama River (Southern Bulgaria). – In: *Proceedings of Intern. Project Seismo-Hydrogeological Vulnerability of the Environment and Society in the Balkan Region*. Second Meeting, 22–26 Nov. 2006. Sofia, 109–118.
- Mihailovic, J. 1933. *Southern Bulgarian Earthquakes*. Belgrad, State Publ. House Slovo, 284 p. (in Serbian with French abstract).
- Nachov, N. 1896. The earthquake in Sofia in 1858. – *Priroda*, 4, 5, 79–80 (in Bulgarian).
- Petrov, P., L. Tsenov, H. Boncheva, P. Sotirov, R. Glavcheva. 1980. The Velingrad earthquake on 3.XI.1977. – *Bulg. Geophys. J.*, 6, 2, 42–52 (in Bulgarian with English abstract).
- Petrov, P., R. Glavcheva 2007. Seismo-hydrogeological effects caused by the April 1928 catastrophic earthquake in Upper Thracia – a systematization. – In: *Proceedings of Intern. Project Seismo-Hydrogeological Vulnerability of the Environment and Society in the Balkan Region*. Second Meeting, 22–26 Nov. 2006, Sofia, 75–90.
- Staykov, St. 1917. Contribution to the study of the Gorna Oryahovitsa earthquake on June 1, 1913. – *J. BAS*, 15, 1–66 (in Bulgarian).
- Stoynev, S. 2004. *Liquefaction of Saturated Sands – Assessment, Prognosis, Management and Protection*. Unpublished PhD Thesis. Sofia, Univ. of Mining and Geol., 170 p. (in Bulgarian).
- Watsof, S. 1902. *Earthquakes in Bulgaria in the XIX century*. Sofia, 95 p. (in Bulgarian).
- Watsof, S. 1903. *Earthquakes in Bulgaria in 1901*. Sofia, 46 p. (in Bulgarian).
- Watsof, S. 1905. *Earthquakes in Bulgaria in 1904*. Sofia, 283 p. (in Bulgarian).