СПИСАНИЕ НА БЪЛГАРСКОТО ГЕОЛОГИЧЕСКО ДРУЖЕСТВО,
год. 85, кн. 3, 2024, с. 225–228

REVIEW OF THE BULGARIAN GEOLOGICAL SOCIETY,
vol. 85, part 3, 2024, p. 225–228

Engineering geological study of a construction site in collapsible loess in the area of Ruse, Bulgaria

Vanushka Petrova, Mariana Nedelcheva

Geological institute, BAS, Geotechnical research station; 109 Tsar Osvoboditel Blvd., entr. 2, Ruse 7000;
E-mail: ibgban@abv.bg

Инженерногеоложко изследване на площадка за строителство в пропадъчен льос в района на гр. Русе, България

Ванушка Петрова, Мариана Неделчева

Abstract. The present engineering geological study is conducted on a terrain with collapsible loess, located in the southern part of the town of Ruse, close to the TV tower. The lithological and geomorphological characteristics of the terrain are established. The physico-mechanical parameters of the engineering geological varieties and the collapsible properties of the loess base are determined by direct laboratory tests. Two engineering geological varieties are distinguished on the site: type II collapsible loess up to 16.0–16.5 m depth and non-collapsible loess. Recommendations are given for the purposes of future construction.

Keywords: Collapsible loess, non-collapsible loess, engineering geological conditions.

Въведение

Настоящото изследване е проведено във връзка с проектирането на комплекс от сгради в пропадъчен льос. Целта е да се проучи литоложкия строеж, физикомеханичните показатели на инженерногеоложките разновидности и пропадъчните свойства на льосовата основа. Предвижда се изграждането на хотелски комплекс и прилежащите му сгради, разположени върху льосовото плато на гр. Русе. В миналото на това място се е намирал форта „Левент табия“, построен в началото на Руско-турската война за отбрана на Османската империя при р. Дунав. Старият форт е бил ограден с насипни валове и ровове, съществуващи и досега, и оформящи специфичен хълмист релеф на проучваната територия.

Проучвателните работи са проведени през м. юни 2022[1] г. Проведени са инженерногеоложки огледи и са направени анализи на събраната архивна литература. Прокарани са 5 моторни и 3 ръчни проучвателни сондажа с обща дължина 75 линейни метра. Изследвани са 57 бр. ненарушени проби за физични показатели, 127 бр. нарушени почвени проби за водно съдържание, 5 проби за зърнометричен състав, 5 проби за атербергови граници и 6 проби за пропадъчност (компресионни изпитвания по едната крива – мокрене при p = 0,3 MPa). Пропадъчните свойства на льосовата основа са определени директ-

[1] Петрова, В., М. Неделчева, Р. Тачков. 2022ф. *Инженерногеоложко проучване на комплекс със смесено предназначение: семеен хотел, фитнес, спа, конферентен блок, многофамилна и еднофамилни жилищни сгради в гр. Русе* – Доклад, фонд на Изследователска база по геотехника при ГИ – БАН.

© Българско геологическо дружество и Българска академия на науките, 2024

https://doi.org/10.52215/rev.bgs.2024.85.3.225

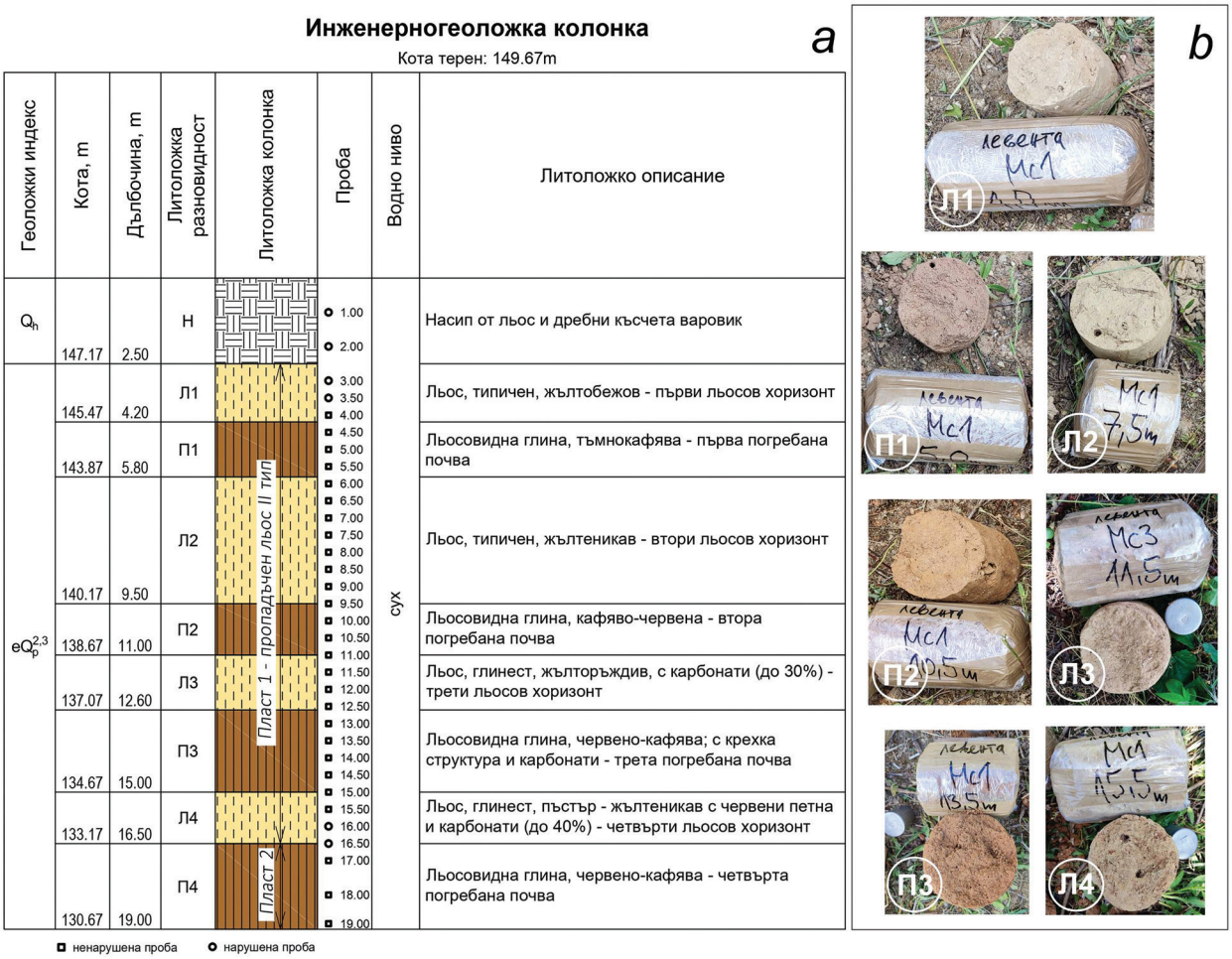
но чрез лабораторните изпитвания на ненарушени почвени образци и косвено по методиката на Minkov (1968). Тези данни са преизчислени за пропадане при товар p = 0,2 MPa и при геоложки товар – p_γ по метода на Stefanov & Kremakova (1960).

Класификацията на пробните образци е извършена съгласно BDS EN ISO 14688-2. Пластичните свойства на почвите са определени от лабораторните опити според БДС 648-84, като за преминаване към BDS EN ISO 17892-12 е използвана корелационната зависимост за преизчисляване на границата на протичане W_L на Tchakalova & Berov (2021).

Геоложки и хидрогеоложки условия

В геоморфоложки аспект районът попада в пределите на старото плейстоценско ерозионно-акумулативно ниво (Evlogiev, 2019). В Североизточна България цокълът на старото плейстоценско ниво представлява полифациална повърхност, оформена в аптски, сарматски варовици и долноромански песъчливо-глинести и варовити седименти. В Русенско е изградено от льосов комплекс с пълен стратиграфски разрез и дебелина около 30 m, неогенски седименти (≈90 m) и под тях на кота 30 m – кредни варовици. Абсолютната височина на цокъла на нивото е 89 m. Над тази ерозионна повърхност залягат базални едри чакъли, гравийни пясъци, чакъли с песъчлив пълнеж и глини (Minkov, 1968), и покривни червени глини и чакъли, с алувиално-пролувиален произход. Общата дебелина на базалните и покривните седименти е 35 m. Котата на горнището им е 121 m (Evlogiev, 2019).

Земната повърхност при проучваната площадка е с надморска височина 142–155 m. Тук е депониран техногененен насип на повърхността, следван от льосов комплекс от осем льосови хоризонта (от Л1 до Л8), разделени от седем погребани почви (от П1 до П7) (фиг. 1). Льосо-



Фиг. 1. (*a*) Инженерногеоложка колонка, (*b*) сондажни ядки от опробваните разновидности. Хоризонтите са изградени от типичен льос, глинест льос и льосовидна глина с макропореста структура.

вите хоризонти са изградени от типичен до глинест льос в дълбочина, а погребаните почви – от льосовидна глина.

Подземни води в льосовия комплекс не се установяват. Временни водни нива е възможно да се образуват в ниски части на терена върху погребаните почви П4 и П5 вследствие от инфилтрация на валежни води. Те имат временен характер и малък дебит.

В неогенските седименти водите са порови и пукнатинно-карстови във варовиците. В окарстените и напукани варовици на Русенската свита е формиран барем–аптския водоносен хоризонт. Подземният поток е ненапорен и има посока на движение на север. Коефициентът на филтрация широко варира от 0,03–0,50 m/d до 20 m/d. Дренира се от различни по дебит извори в речно-овражната система от р. Дунав, както и от многобройни вододобивни съоръжения.

Физико-геоложки явления и процеси

От физико-геоложките явления в обследваната територия са проявени пропадането на льоса и високата сеизмичност.

Пропадане на льоса. Един от неблагоприятните процеси е пропадъчността на льоса. Тя може да се прояви при намокряне на льосовата основа, както от собственото тегло на масива, така и от допълнителния товар от сгради. Този факт категоризира льосовата основа към II тип по пропадъчност. По данни на Минков, за района на гр. Русе сумарното пропадане от геоложки товар при намокряне е до 25 cm (Minkov, 1968), а по лабораторни данни за конкретната площадка достига до 34–37 cm.

Сеизмичност. Районът се характеризира с висока сеизмичност. Съгласно макросеизмичното райониране на територията на България гр. Русе попада в участък с VIII степен по скалата на Медведев-Шпонхойер-Карник, за който е характерен сеизмичен коефициент Кс = 0,15. Съгласно сеизмичното райониране на България по БДС EN 1998-1:2005, районът попада в област с референтно сеизмично ускорение РУ = 0,15g при период на повторяемост на земетресенията – 475 години.

Инженерногеоложки условия

Въз основа на направените полеви и лабораторни проучвания са установени следните инженерногеоложки разновидности: насип, пропадъчен льос от II тип и непропадъчен льос, които са отбелязани на инженерногеоложката колонка (фиг. 1). Земната повърхност е оформена от насип, образуван от строителството на земленните валове и ровове към стария форт „Левент табия“. Насипът е нееднороден. Изграден е от льос и дребни късчета варовик и се установява по повърхността на цялата площадка. Представлява геоложка опасност поради това, че сляга и може да предизвика верижни аварии на ВиК, водещо до намокряне и пропадане на льоса (Iliev-Broutchev, 1994). Насипът е неподходящ като земна основа за строителство.

Пропадъчен льос от II тип (Пласт 1). При площадката е изграден от типичен до глинест еоличен льос, бежов до жъленикав, макропорест. Към пласта се отнасят хоризонтите Л1, П1, Л2, П2, Л3, П3, и Л4, до дълбочина 16,0–16,5 m. Структурата им е крехка, неустойчива при намокряне. За Пласт 1 е характерно, че при намокряне може да слегне или пропадне, както от собственото си тегло, така и при наличие на допълнителен товар от сгради и съоръжения, поради което се категоризира като льосова основа с II тип пропадъчност. Дълбочината на пропадъчната зона е определена при стойности на коефициента на относителното пропадане $\delta_{пр.p\gamma}$ >1,0% при геоложки товар.

Коефициентът на относително пропадане на пласта има следните средни стойности: при геоложки товар (p_γ) $\delta_{пр\gamma}$ = 2,90%, при товар p = 0,2 MPa – $\delta_{пр0,2}$ = 0,95–8,38, средно 5,18%, при товар p = 0,3 MPa – $\delta_{пр0,3}$ = 1,51–10,90, средно 6,85%.

Сумарното пропадане, изчислено при геоложки товар (p_γ), е $\Sigma\Delta_{пр\gamma}$ = 37,0 cm. При допълнителен товар p = 0,2 MPa достига до $\Sigma\Delta_{пр0.2}$ = 54,1 cm, а при p = 0,3 MPa е $\Sigma\Delta_{пр0.3}$ = 75,7 cm.

По данни от лабораторните изследвания, Пласт 1 се класифицира като *глина, средно пластична (ClM)* (BDS EN ISO 14688-2). Границата на протичане е определена лабораторно според БДС 648-84 с използване на конуса на Василев, и е преизчислена по корелационната зависимост на Tchakalova & Berov (2021) за получаване на стойността ѝ по Еврокод (табл. 1). По зърнометричен състав пластът е *разнозърнест* с показател U=10,1 със съдържание на *пясък 12,0%, прах 82,3% и глина 5,7%* (BDS EN ISO 17892-4). Според БДС 2762-83 фракциите са: пясък – 2,0%, прах 79,6% и глина 5,7%.

Непропадъчен льос (Пласт 2). Към него се отнасят хоризонтите П4, Л5, П5, Л6, П6,7 и Л8. Пластът заляга под Пласт 1. В настоящото изследване е проучен само П4. Обхваща долната част на льосовия комплекс, на дълбочина под 16,0–16,5 m. Геоложкият строеж на непропадъчния льос е съставен от плътни льосовидни глини с тънки льосови прослойки. Непропадъчният льос е със здрава и плътна структура, липса на макропори, поради което при допълнителен то-

Таблица 1. Осреднени физикомеханични показатели на льосовите инженерногеоложки разновидности

Инженерногеоложка разновидност / Пласт	Граница на протичане	Граница на изтичане	Показател на пластичност	Показател на консистенция	Водно съдържание	Обемна плътност	Обемна плътност на скелета	Обем на порите	Коефициент на порите	Степен на водонасищане	Компресионен модул при p = 0.2 MPa
	W_l %	W_p %	I_p %	I_c –	w %	ρ_n g/cm³	ρ_d g/cm³	n %	e –	S_r –	$M_{0,2}$ MPa
Пласт 1 – Пропадъчен льос от II тип	45,3	19,8	25,5	1,32	11,6	1,51	1,35	50,5	1,02	0,31	9,5
Пласт 2 – Непропадъчен льос	62,5	16,7	45,8	0,93	19,8	1,94	1,63	40,4	0,67	0,75	9,9

вар пропадъчността му е под 1%. Съгласно БДС EN ISO 14688-2 се класифицира като *глина, високо пластична (ClH)*, определена чрез преизчисляване на W_L (табл. 1).

Класификация на земната основа в сеизмично отношение, съгласно БДС EN 1998-1/NA: според скоростите на напречните сеизмични вълни за льоса (Evlogiev et al., 2010) и Наредба № РД-02-20-2/27.01.2012 г. за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони и Националното приложение към Еврокод 8, почвеният профил от проучвания участък е почва от „Група D“ – депозити от рохки до средно плътни несвързани почви (със или без свързани в тях прослойки) или депозити от меки до твърдопластични свързани почви.

Заключение и препоръки

Изследваната площадка попада в район с льосови разновидности с пропадъчност от II тип. Физикомеханичните и деформационни показатели се отнасят за земна основа с естествено водно съдържание и се влошават неколкократно при техногенно навлажняване (продължителни течове от авария на ВиК съоръжения, човешка намеса и др.).

Потенциалната пропадъчна зона е с дълбочина 16,0 до 16,5 m и се характеризира с относителното пропадане при геоложки товар (p_γ) $\delta_{пр\gamma}$ = 2,90% и при товар p = 0,2 MPa – $\delta_{пр0,2}$ = 5,18%. Сумарното пропадане при геоложки товар (p_γ) е $\Sigma_{\Delta пр\gamma}$ = 37,0 cm и $\Sigma\Delta_{пр0,2}$ = 54,1 cm при товар p = 0,2 MPa.

За предотвратяване или намаляване на пропадането/слягането на льосовата земна основа е необходимо да се предвидят водозащитни мерки: изолиране на основата под фундаментите от достъп на почвени, атмосферни или повърхностни и битови води (спукани водопровод или канализация); избор на подходяща вертикална планировка (бързо отстраняване на повърхностни води); предпазване зоната на фундаментите от повърхностни води чрез екраниране (водоплътни широки тротоари); изграждане на водоплътни екрани (изолации) под фундаментите и цялата сграда; полагане на тръбопроводите в охранителни корита и кожуси с възможност за ревизия, осигуряване на контрол за течове и др.

Инженерногеоложките условия са подходящи за извършване на строителството. При необходимост от специални мероприятия за подобряване на земната основа, в случай че очакваните сумарни деформации (от пропаде и слягане) са по-големи от допустимите за конкретното съоръжение, е възможно увеличаването на дълбочината и/или размерите на фундамента, или да се замести част от пропадъчния пласт с качествено уплътнен обратен насип.

Литература
References

Evlogiev, Y. 2019. *Quaternary Geology and Geomorphology of the Danube Plain*. Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, 268 p. (in Bulgarian with English abstract).

Evlogiev, Y., M. Nedelcheva, V. Petrova. 2010. *Engineering-geological Zoning of the Coast of Ruse*. Avangard Print Ltd, 112 p. (in Bulgarian with English summary).

Iliev-Broutchev, Il. (Ed.) et al. 1994. *Geological Hazards in Bulgaria. Explanatory Text to the Map on Scale 1:500 000*. Sofia, Bulg. Acad. of Sci., 143 p. (in Bulgarian with English abstract).

Minkov, M. 1968. *The Loess in North Bulgaria. A Complex Study*. Sofia, Bulgarian Academy of Sciences Publishing House, 202 p. (in Bulgarian with English abstract).

Stefanov, G., B. Kremakova. 1960. *Engineering Properties of Bulgarian Loess Soils*. Sofia, Technica, 220 p. (in Bulgarian).

Tchakalova, B., Berov, B. 2021. Correlation between the liquid limit of clay derived by the Vasiliev and Casagrande test methods. – *Geologica Balc.*, *50*, 3, 23–27.

The published material was presented at the National Conference with international participation GEOSCIENCES 2024.