



## Geotechnical peculiarities of the Bulgarian loess in connection with waste disposal

### Геотехнически особености на българския лъос във връзка със съхраняване на отпадъци

*Boriana Tchakalova, Doncho Karastanev*  
*Боряна Чакалова, Дончо Карастанев*

Geological Institute, BAS, Acad. G. Bonchev str., bl. 24, 1113 Sofia, Bulgaria; E-mail: boriana@geology.bas.bg

**Abstract.** The loess covers about 11% of the territory of Bulgaria mainly in the northern part of the country. It forms continuous strip southern of the Danube River with width up to 65 km. The site selection for waste disposal in loess terrains depends on a complex of geotechnical conditions, requirements and properties of loess sediments. The paper presents a summary on geotechnical peculiarity of the Bulgarian loess as a ground base for construction of waste disposal facilities.

**Keywords:** лъос, геотехнически параметри, депониране на отпадъци.

Лъосът покрива около 11% от сушата на Земята. Най-широко е разпространението му в средните ширини на Европа, Азия, Северна и Южна Америка. У нас лъосовите почви заемат общо около 12 000 km<sup>2</sup> предимно в Северна България и малки петна в Южна България. От тях около 10 000 km<sup>2</sup> са покрити с пропадъчен лъос, който образува една непрекъсната ивица южно от р. Дунав. В западните райони на Северна България ширината на тази ивица е до 30–35 km, а в източните – до 60–65 km. Дебелината на лъосовите отложения е от 40–50 m в близост до р. Дунав, намалява на юг и към Предбалкана достига 3–5 m (Minkov, 1968).

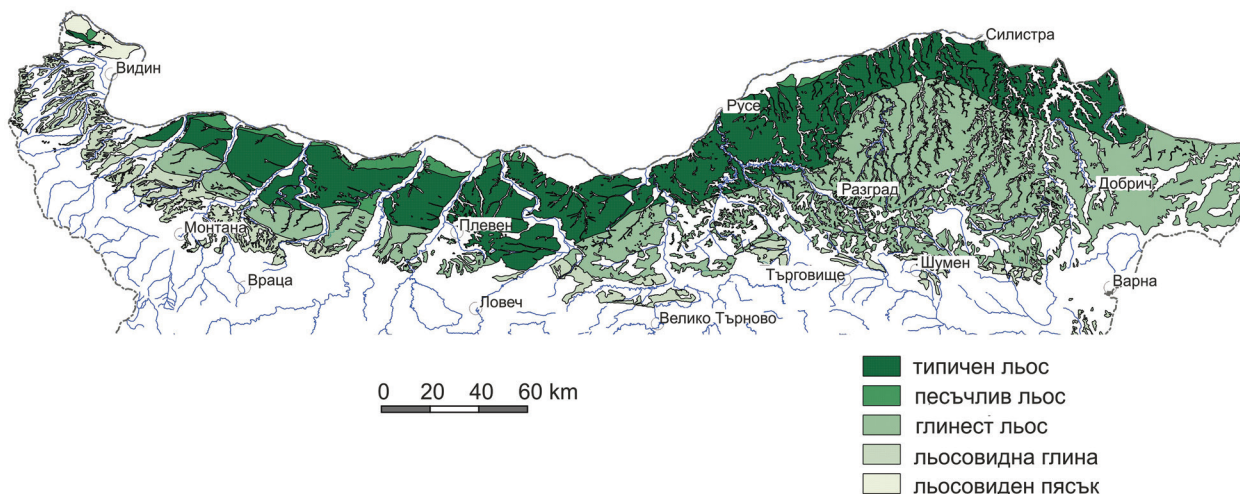
Съгласно възприетата у нас класификация на лъосовите почви се различават няколко разновидности – лъосовиден пясък, пясъчлив лъос, типичен лъос, глинест лъос и лъосовидна глина (Minkov, 1968). Типичният и глинестият лъос покриват най-големи площи (фиг. 1).

В зърнометричния състав на лъоса преобладава праховата фракция, която има сравнително постоянно съдържание при пясъчливия, типичния и глинестия лъос и достига най-често до 80–90%. При лъосовидния пясък и лъосовидната глина праховата фракция е под 80% за сметка на по-голяма пясъчлива или глинеста фракции респективно.

Лъосът е полиминерална почва с макропореста структура, изградена предимно от квар-

цови частици с размер 0,01–0,05 mm, фелдшпати, слюда, карбонати, сулфати и глинести минерали. Карбонатите и глинестите минерали осигуряват здрави структурни връзки в „сухо“ състояние (при естественото водно съдържание) – лъосът има малка деформируемост, съпротивлението му на срязване е голямо и може да държи вертикални откоси. При повишаване на естественото водно съдържание тези връзки се разрушават, вследствие на което под действие на геоложки и/или допълнителен товар, лъосът пропада. Характерни за пропадъчния лъос са недоуплътнената структура (обемната плътност е под 1,60 g/cm<sup>3</sup>) с много макропори (обем на порите над 45–50%) и ниска степен на водонасищане (най-често под 0,6).

Структурната неустойчивост и недоуплътнеността обуславят развитието на процеса пропадане, който е най-характерното геотехническо свойство на лъоса. Пропадането е процес, който се осъществява след намокряне на лъоса, вследствие на което се разрушават водонеустойчивите структурни връзки, сближаване на почвените частици и намаляване на порестостта. Под действие на геоложки и/или допълнителен товар, без да се увеличава товара, се реализира бързо и по правило неравномерно слягане на лъосовата основа от няколко десетки до 80–100 cm, с всички неблагоприятни последствия за строителните конструкции и съоръжения.



Фиг. 1. Разпространение на лъсовите разновидности в Северна България (по Minkov, 1968, с допълнения от Ivanov et al., 2017)

Недоуплътнеността на лъоса се предопределя от специфичния му генезис. Няма общоприета теория за механизма на пропадаването, въпреки че редица изследователи (Minkov, 1968; Smalley, 1971; Berov, Ivanov, 2014) са предложили повече или по-малко обосновани хипотези и концепции по този въпрос. Всички автори разглеждат пропадаването като сложен процес, който се обуславя от много физикохимични и механични условия – своеобразен състав и структура на лъоса, малка водоустойчивост на структурните връзки, висока активна порестост, ниска степен на водонасищане, дебелина и строеж на масива, действащ върху почвата товар и др. В резултат на пропадъчния процес се осъществява уплътняване на лъоса за сметка на сближаване на частиците, при което се намалява пористостта и се увеличава плътността и почвата придобива по-устойчива структура в сравнение с първоначалното си състояние.

В България лъосовите основи, съгласно NPPF (1996), се разделят на два типа в зависимост от тяхната пропадъчност при геоложки товар:

- първи тип (Т-I) – сумарното пропадане от геоложки товар е  $dg < 5 \text{ cm}$ ;
- втори тип (Т-II) – сумарното пропадане от геоложки товар е  $dg > 5 \text{ cm}$ .

Лъосовата основа тип Т-I пропада практически само при допълнителен строителен товар, когато е по-голям от началното напрежение на пропадане  $p_{coll}$ . Обикновено лъосовите основи от първи тип са с малка дебелина – до около 7–8 m. При тях са развити най-често до два лъосови хоризонта  $L_1$  и  $L_2$ , в които се реализира пропадаването, и една погребана почва между тях.

Лъосовата основа тип Т-II пропада както при геоложки, така и при допълнителен товар. Дебелината ѝ може да достигне до 50 m.

С най-силно изразени пропадъчни свойства са типичният и глинестият лъос. Средните стойности на коефициентите им на относително пропадане при геоложки товар  $d_g$  и при допълнителен товар от 0,3 МПа  $d_{col0,3}$  са съответно 3,2–6,5% при типичния лъос и 2,5–6,5% при глинестия лъос (Ivanov et al., 2017). При пясъчливия лъос средните стойности на тези коефициенти са по-малки –  $d_g = 2,2\%$  и  $d_{col0,3} = 4,5\%$ . Сумарното пропадане обаче зависи не само от величината на коефициента на относително пропадане  $d_{col}$ , който фактически съвпада с обема на макропорите, но и от дебелината на пропадъчния слой, която се определя от нивото, докъдето  $d_{col}$  става  $< 1\%$  при съответния товар. Тази дебелина е най-голяма в комплексите на пясъчливия и типичния лъос. Поради това потенциалното  $d_c$  при пясъчливия лъос е по-голямо, отколкото при глинестия, въпреки по-високите стойности на  $d_{col}$  при него. На практика в райони, покрити с пясъчлив лъос са реализирани много по-значителни пропадания.

При определени условия в резултат на нарастване на влажността, лъосът се модифицира от пропадъчна в силно деформируема почва (Minkov, 1968; Karastanev, 1998). Лъосовата основа, дори и вече да е непропадъчна, преминава в неравновесно и неустойчиво механично състояние. Съчетанието на отслабени структурни връзки и положително порово налягане (особено при динамично въздействие) води до намаляване на ефективните напрежения и в резултат на това до значително понижаване на якостта и носещата способност.

Специфичната агрегатна структура, макропористостта и особената геометрия на поровото пространство са предпоставка за високата водопрпускливост на лъосовите почви в сравнение

с всички останали прахово-глинести разновидности. Водопроникливостта на лъсовите почви се характеризира със следните особености (Minkov, Evstatiev, 1975):

- коефициентът на филтрация във вертикална посока е значително по-голям (от 2 до 10 пъти) от този в хоризонтална посока;
- при всички случаи филтрацията в лъоса се извършва в условия на непълно водонасищане, т.е. представлява нестабилизиран низходящ хидравличен поток под действие на отрицателното порово налягане (или т.нар. всмукващ потенциал);
- лабораторно определените стойности за коефициента на филтрация са значително по-ниски от стойностите, определени в полеви условия; това е характерно за типичния и глинения лъос, които при голяма дебелина имат силно изразена макропорестост. Коефициентът на филтрация варира в зависимост от зърнометричния състав в диапазона 1,0–0,1 m/d (1E-5–1E-6 m/s).

Голямата водонеустойчивост и размекваемост на лъсовите почви, наличието на дълбоки вертикални пори и празнини, са причина водата, която се филтрира, да прониква на голяма дълбочина. Този процес е свързан с възникване на различни филтрационни деформации – суфозия, вътрешна ерозия, втечняване, дълбочинни прориви и др.

Практическият опит е показал, че при депониране на отпадъци в лъсови терени, конструктивните мероприятия, дори и при безупречно изпълнение, трудно могат да осигурят необходимата изолация на отпадъците от околната среда, поради специфичните инженерногеоложки свойства на лъоса – пропадъчност и висока водопроникливост. Целесъобразно е първо да се предвидят подходящи изолационни бариери от заздравен лъос и след това, ако е необходимо, да се прилагат конструктивни мероприятия.

В тази връзка трябва да се подчертае, че от проведените в България многогодишни изследвания и практическите приложения на заздравени с хидравлични свързващи вещества лъсови почви (Evstatiev, Karastanev, 2013) са установени следните важни изводи:

- Лъосът е от строителните почви, които много успешно се заздравяват с портландцимент. Това се дължи на лесната му обработваемост и уплътняемост, както и на благоприятния му минерален и химичен състав – преобладаване на дисперсен кварц в неговия състав, слабоалкална реакция и високо съдържание на  $\text{Ca}^{2+}$  в поглъщащия комплекс;

- Посредством изменение на количеството на цимента и използване на химически добавки

може да се управляват якостните, деформационните и филтрационните свойства на циментолъсовите смеси, което ги прави подходящи за широк кръг от приложения в строителството;

- След многогодишно отлежаване, циментолъосът значително увеличава якостта си. Това увеличение се дължи на фазови превръщания на калциевите хидросиликати, получени от хидролизата и хидратацията на цимента и от пуцолановото им взаимодействие с лъсовите минерали;

- Управляемите якостни и деформационни качества на циментолъсовите смеси, високата им водоплътност и възможността те да се приготвят с високо водно съдържание са позволили тяхното прилагане за изграждане на подфундаментни циментопочвени възглавници и на противофилтрационни екрани от заздравена почва.

Извършените през последните години изследвания върху пластичния циментолъос (Tchakalova, 2018) показват, че пластичните смеси могат да намерят успешно приложение при изграждане на изолационни покрития, екрани, стени-завеси и други с оглед на безопасно съхраняване на отпадъци.

## Литература References

- Berov, B., P. Ivanov. 2014. Collapsibility of loess between the town of Vidin and the town of Nikopol. – *Problems of Geograph.*, 1–2, 76–86 (in Bulgarian with English abstract).
- Evstatiev, D., D. Karastanev. 2013. Investigation and applications of loess-cement in Bulgaria. – *Engineering Geol. and Hydrogeol.*, 27, 85–112.
- Ivanov, P., N. Dobrev, I. Brutchev, R. Nakov, D. Karastanev, B. Berov, M. Krastanov, G. Frangov, R. Varbanov, S. Stoynev, A. Lakov, G. Jelezov, S. Karadinkova, I. Gavrilov, J. Yordanov. 2017. *Elaboration of Analysis, Evaluation and Mapping of Geological Risk*. Sofia, Geological Institute and Ministry of Regional Development and Public Works, 228 p. (in Bulgarian).
- Karastanev, D. 1998. Influence of moisture content on strength behaviour of loess. – In: *International Symposium on Problematic Soils. IS-Tohoku'98*. Japan, October 25–28, 457–460.
- Minkov, M. 1968. *The Loess in North Bulgaria. A Complex Study*. Sofia, Publishing House of the Bulgarian Academy of Sciences, 202 p. (in Bulgarian).
- Minkov, M., D. Evstatiev. 1975. *Foundations, Finishes and Screens of Hardened Loess Soil (Osнови, Oblitsovky i Ek-rany ot Zazdraveny Liyosovy Pochvy)*. Sofia, Tekhnika, 189 p. (in Bulgarian).
- NPPF. 1996. Normi za proektirane i plosko fundirane. Nar-edba № 1 za proektirane na plosko fundirane. – DV, 85/08.10.1996.
- Smalley, I. J. 1971. “In-situ” theories of loess formation and the significance of the calcium-carbonate content of loess. – *Earth Science*, 7, 67–85.
- Tchakalova, B. 2018. *Engineering Barriers of Plastic Loess-cement Mixtures for Waste Isolation*. PhD Thesis, Geological Institute, BAS, 135 p. (in Bulgarian).