

## **СЪПОСТАВЯНЕ НА ГЕОТЕХНИЧЕСКИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЛЪСОВИДНАТА ГЛИНА С ЛЪОСА И ГЛИНАТА ЗА ЦЕЛИТЕ НА СТРОИТЕЛСТВО НА НАСИПИ**

**Явор Щерев**

[yavor\\_shterev@abv.bg](mailto:yavor_shterev@abv.bg)

**Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“  
ул. „Гео Милев“ 158, София 1574  
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ**

**Ключови думи:** лъос, геотехнически параметри, насипи, пътища

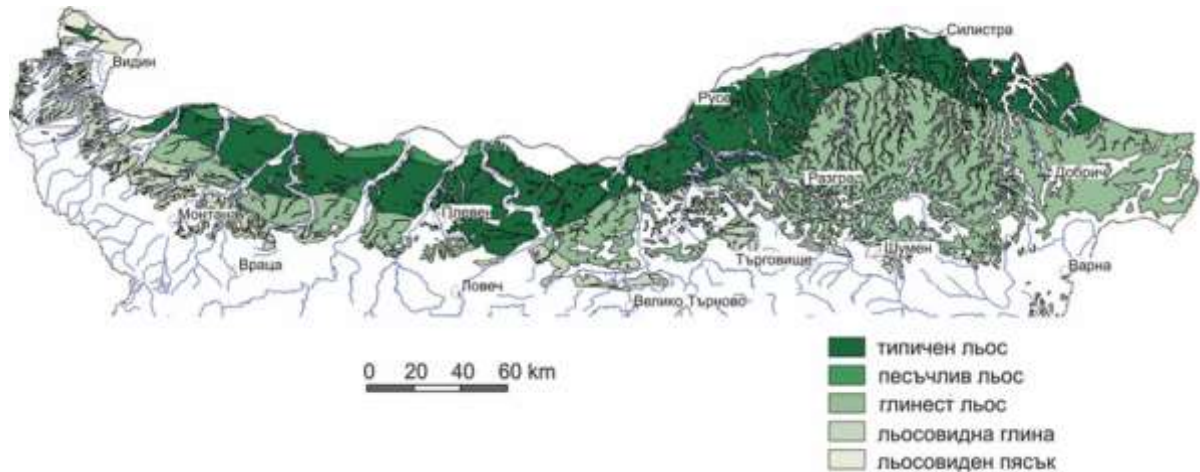
**Резюме:** Статията разглежда основните понятия за лъосовидните отложения и насипните конструкции в транспортното строителство. Лъосовите разновидности се анализират детайлно според тяхното разпространение и дебелина на пластовете на територията на България. Представена е тяхната класификацията според свойството им да пропадат. Дават се насоки за проектирането и реконструкцията на насипи в транспортното строителство. Цитирани са отделни членове от действащата наредба за пътното строителство в България и се акцентира върху специфичните проблеми при строителството на пътни насипи. Геотехническите свойства на три основни литоложки разновидности: лъос, лъосовидна глина и глина са подробно анализирани. Тези материали представляват естествената земна основа на проектни или съществуващи пътища. Сравнителен анализ е проведен между посочените литоложки разновидности според техните геотехнически показатели. Конкретни изводи и препоръки са формулирани на тази основа. Показани са зависимости между характеристиките на съпоставяните почви и тяхната деформируемост. Изтъкнати са рисковете от разрушение на конструкцията поради несъобразяване с ниската носимоспособност и свойството на тези почви да пропадат.

Познаването на геотехническите свойства на земната основа е от голямо значение при проектирането, строителството и ремонта на пътните насипи. За постигане на оптимални резултати е необходимо провеждането на задълбочени инженерно-геоложки проучвания по цялото трасе за всеки конкретен инфраструктурен обект.

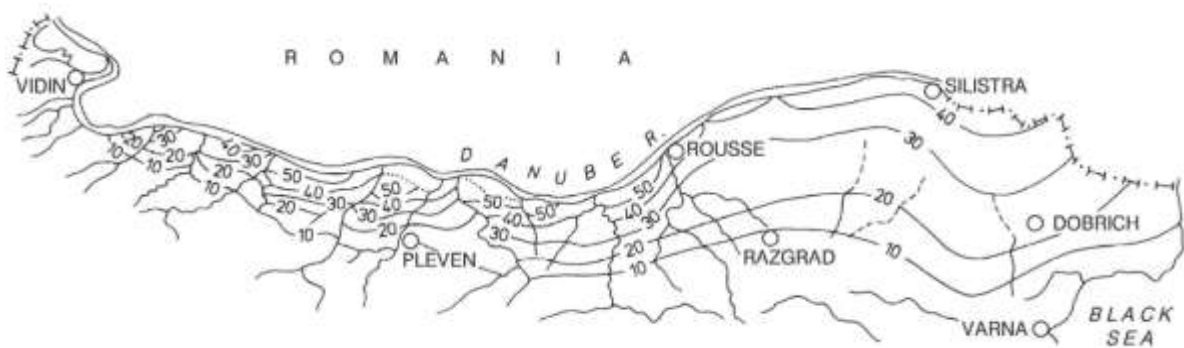
### **I. УВОД**

Лъосовидните почви в България се разпростират върху около 13600 km<sup>2</sup> (фиг.1). от територията ѝ. Съгласно възприетата у нас класификация на лъосовите почви, се различават няколко разновидности – лъосовиден пясък, песъчлив лъос, типичен лъос, глинест лъос и лъосовидна глина (Minkov, 1968) [1]. Типичният и глинестият лъос покриват най-големи площи. Характерна особеност на лъосовидните отложения е тяхната фащиална неиздържаност във вертикална и хоризонтална посока. На

сравнително малко разстояние на юг от р. Дунав той преминава от льосовиден пясък в пясъчлив льос, следван от типичен и глинест льос, а в района на Предбалкана от льосовидна глина. Нееднородността в дълбочина се дължи на присъствието на погребани почви. Последните разделят льосовият комплекс на отделни хоризонти. Льосовият комплекс е с най-голяма дебелина в непосредствена близост до р. Дунав, където надхвърля 50 м. В южна посока тя намалява и в района на Предбалкана е само няколко метра (фиг.2).



Фиг. 1. Разпространение на льосовите разновидности в Северна България (по Minkov, 1968, с допълнение Ivanov et al.2017) [2]



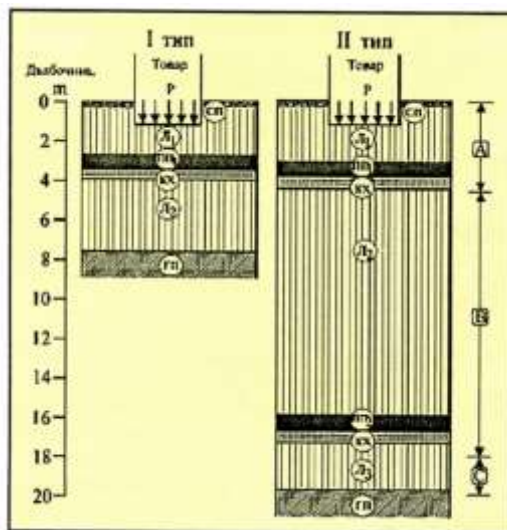
Фиг. 2. Дебелина на льоса в Дунавската равнина (Минков, 1968) [1]

## II. СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА НАКРАТКО

Льосовите почви са структурно неустойчиви почви, притежаващи свойството пропадане. Последното се изразява в развитие на деформации (бързо слягане – пропадане) при допълнително увеличаване на влагата, вследствие на което се разрушават водонеустойчивите структурни връзки и разрушаване на макропорестата структура, което води до загуба на якостните свойства с развиващи се деформации на уплътнение-пропадане. Процесът пропадане е най-характерното геотехническо свойство на льосовите отложения. Отложенията се считат за пропадъчни, при обемно тегло на скелета  $\rho_d < 1,60 \text{ t/m}^3$ , при степен на водонаситеност  $S_r < 0,80$ , обем на макропорите  $\eta_m$  повече от 1% и относително пропадане при геоложки товар  $\delta_{\text{пр} \gamma} > 1\%$ .

Оценката на пропадъчността на льосовите отложения може да се прави по стойностите на относителното пропадане при геоложки товар  $\delta \gamma$  и при допълнителен

товар. В зависимост от склонността към пропадане, земната основа се разделя на: основа от първи тип ( $T_1$ ) – пропада от допълнителен товар, като пропадането от геоложки товар е  $S_{пр\gamma} < 5\text{cm}$  и основа от втори тип ( $T_2$ ) – пропада от допълнителен товар, като същото от геоложкия товар е  $>5\text{cm}$ . Лъсовата основа тип  $T_1$  пропада практически само при допълнителен строителен товар, когато е по-голям от началното напрежение на пропадане  $p_{пм} \geq 1$ . Обикновено лъсовите основи от първи тип са с малка дебелина – до около 7÷8 m. При тях са развити най-често до два лъсови хоризонта  $L_1$  и  $L_2$ , в които се реализира пропадането, и една погребана почва между тях. Лъсовата основа тип  $T_2$  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. Сумарното пропадане, обаче зависи не само от величината на коефициента на относително пропадане  $\delta_{пр}$ , който съвпада с обема на макропорите, но и от дебелината на пропадъчния слой, която се определя от нивото, докдето обем на макропорите  $\eta_m$  става по-малък или равен на 1% при съответния товар. Тази дебелина е най-голяма в комплексите на пясъчливия и типичния лъос.



**Фиг. 3. Типове пропадъчна лъсова основа [I тип и II тип]:**

**СП-съвременна почва;  $L_1, L_2, L_3$  – лъсови хоризонти;  $ПП_1, ПП_2$ , - погребани почви; КХ – карбонатна зона; ГП – глинест пласт; А – горна зона, непропадъчна при геоложки товар, а само от товара на съоръжението; В – средна зона, пропадъчна при геоложки товар; С – долна, непропадъчна, уплътнена зона [3].**

Понятието „насипни конструкции“ включва насипите при строителство на жп. линии, пътища, язовирни стени, диги и други подобни (Колев 2018) [4]. Проектирането на насипи в транспортното строителство се извършва по същия начин, както и при другите строителни конструкции. Общи изисквания при проектирането на насипни конструкции:

- ◆ Проучване на земната основа по трасето;
- ◆ Оразмеряване и фундиране на насипите като конструкция, според изискванията за устойчивост, носимоспособност, деформация и дълготрайност;

- ◆ Влагане на подходящи материали в тялото на насипа.

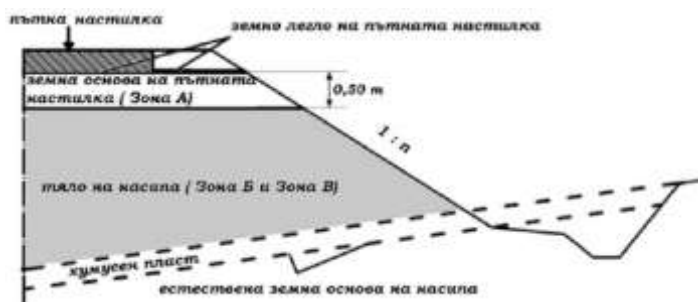
В България има технически норми за проектиране, както на железопътни, така и на пътни насипи. В същите има специални раздели за земното тяло/поред Наредбата за пътищата [5] и [6] има раздели за:

- ◆ разчистване на терена в зоната на земното тяло;
- ◆ класификация на почвите и материалите на земното тяло;

- ◆ подбор на почвите и материалите за изграждане на земното тяло.
- В същите документи [5] и [6] земното тяло се състои от следните елементи:
- ◆ земна основа на пътната настилка;
- ◆ земна основа на насип (естествена земна основа);
- ◆ насип.

Земна основа на пътната настилка при насип е зоната непосредствено под настилката с дълбочина 0,50 m. Горната повърхност на земната основа на пътната настилка се нарича земно легло на настилката, тялото на насип се подразделя на зони съгласно фигура 4, мерено от мерено от най-ниската точка на земното легло на пътната настилка:

- ◆ зона А - горната част на насипа до дълбочина 0,50m;
- ◆ зона Б - частта от насипа в дълбочина от 0,50 до 4,00 m;
- ◆ зона В - частта от насипа в дълбочина, по-голяма от 4,00 m.



Фиг. 4. Тялото на насип [5]

Съгласно чл.162. (1) от [5] за изпълнението на насипа в зони Б и В се използват почви и материали от групите А-1, А-2 или други почви и материали, които отговарят на техническите изисквания, посочени в таблица 40 (2) Почви и материали от групи А-3, А-4, А-5, А-6 и А-7, които са извън обхвата на чл.160, могат да се влага в някоя от зоните на насипа след подобряване на физико-механичните им характеристики чрез подходяща стабилизация. Последната може да бъде механична, химична или комбинация от механична и химична стабилизация.

Съгласно чл. 160 от [5] почвите, които не отговарят на изискванията за годност при извършване на земни работи, са:

1. почви от група А-8 на груповата класификация;
2. почви в замръзнало състояние;
3. глини с граница на протичане  $W_L > 45 \%$ , определена с „паничката на Casagrande“, съгласно метода за определяне на границата на протичане на почви (приложение № 15), или с показател на пластичност  $I_p > 27 \%$ , получен съгласно метода за определяне на границата на източване и на показателя за пластичност на почви (приложение № 16);
4. несвързани почви с водно съдържание, превишаващо с повече от 10,00 % оптималното водно съдържание;
5. свързани почви с водно съдържание, превишаващо с повече от 5,00 % оптималното водно съдържание;
6. почви, склонни към samozапалване;
7. почви с опасни физични и химични характеристики, изискващи специални мерки за изкопаване, обработка, складиране, транспортиране и депониране

### III. ПРОБЛЕМИ ПРИ ИЗГРАЖДАНЕ НА НАСИПИ

Съвременните насипи за пътища и жп. линии трябва да са ниско деформируеми и с висока носимоспособност. Материалите, ползвани за насипи, са стандартизирани в цял свят, а самите стандарти периодично се обновяват. Поначало е най-добре материалът за насипи да се добива от прилежащите изкопи от трасето на строежа. Не винаги целият изкопан материал е годен за влагане в насипи, защото същият трябва да съответства на техническата спецификация. Във фазата на проучване и проектиране, както и при строителство се прави окачествяване на добивания изкопан материал. Годният материал отива в насипи, а негодният се превозва до депо или се влага в някоя от зоните му след подобряване на физико-механичните характеристики чрез подходяща стабилизация. Последната може да бъде механична или химична стабилизация. Частен случай е с почви, стабилизирани чрез комбинация от механична и химична стабилизация. Последното се изпълнява в случаите, когато за постигане на необходимите физико-механични характеристики на съществуващата на обекта почва не е достатъчно да се извърши само механична или само химична стабилизация. Както за всички строителни конструкции, така и за насипите е необходимо да бъдат изградени върху достатъчно здрава земна основа, която да понесе проектното натоварване без големи деформации в процеса на експлоатация.

Многобройни са случаите когато земната основа се оказва негодна да понесе проектният товар и тогава се стига до големи деформации и разрушения поради несъобразяване с геотехнически свойства на земната основа. В случаите на слаба земна основа се преминава към нейното усилване. Методите за усилване на земната основа под насипното тяло са многобройни и изборът в прилагането им много зависи от технологиите, с които разполага изпълнителя и от геотехнически свойства на земната основа.

Понятието „слаба земна основа“ е относително, защото зависи от проектното натоварване и от характеристиките на почвата. За най-широко прилаганите натоварвания от сгради и съоръжения (от 200kPa до 300kPa) като критерии за слаби почви могат да послужат условията:

- ◆ компресионният модул  $M \leq 5 \text{MPa}$ ;
- ◆ условното почвено съпротивление  $R_0 < 0.18 \text{MPa}$ ;
- ◆ свързани почви в течнопластична и течна консистенция;
- ◆ прахови пясъци и рохки несвързани почви;
- ◆ торф, тиня, органични почви, лъос, както и разнородни и неуплътнени насипи.

Носимоспособността на земната основа под високите насипи (10÷12m), за който не се допускат големи деформации в експлоатационния период би следвало да надхвърля 0,24÷0,25MPa. Лъосът и лъосовидната глина, а често пъти и глината на строителната площадка не притежават тази носимоспособност, още по-малко след водонасищане. Оттук произтича основният проблем, който има две лица: ниска носимоспособност на основата и опасност от пропадане след водонасищане.

Познаването на геотехническите свойства на земната основа е от голямо значение при проектирането, строителството и ремонта на пътните насипи. За последното е необходима направата на подробни инженерно-геоложки проучвания по цялото трасе за всеки конкретен инфраструктурен обект.

#### IV. СЪПОСТАВЯНЕ МЕЖДУ ЛЪОСА, ГЛИНАТА И ЛЪОСОВИДНАТА ГЛИНА ЗА ЦЕЛИТЕ НА СТРОИТЕЛСТВО НА ПЪТНИ НАСИПИ

В настоящата статия се направи сравнителен анализ на геотехническите свойства на лъсовидната глина с лъоса и глината. Данните за направените сравнения са от териториите на Русе (за типичен лъос -  $eQp^{2-3}$ ), Търговище (за лъсовидната глина -  $e-a-dQp$ ) и Омуртаг (за глината -  $Qdl$ ). И трите геоложки разновидности са отложения с кватернерна възраст. Стойностите на геотехническите показатели за всяка литоложка разновидност са осреднени и са дадени в таблицата по-долу.

Таблица 1. Средни стойности на геотехническите показатели [7]:

Литоложка разновидност №	Обемна плътност $\rho_n$ [ $t/m^3$ ]	Обемна плътност на скелета $\rho_d$ [ $t/m^3$ ]	Естествена влажност $W_n$ [%]	Показател на пластичност $I_p$ [%]	Коефициент на порите $e$	Показател на консистенция $I_c$	Обем на макропорите при 0,3MPa $\rho_{\text{мпр}}$ %	Граница на протичане $W_l$ %	Компресионен модул при товар от 0,2MPa $M$ /MPa/	Класификация по AASHTO
лъос [ $eQp^{2-3}$ ]	1,81	1,49	20,7	9,7	0,78	0,78	6,89	27,19	5,02	A-5
лъсовидна глина [ $e-a-dQp$ ]	1,96	1,63	20,6	21,3	0,68	0,80	1,17	38,48	6,23	A-4 A-6 A-7-5 A-7-6
глина [ $Qdl$ ]	1,99	1,60	24,8	34,1	0,72	0,87	-	54,30	7,20	A-7-6

В лабораторните изследвания съгласно класификацията по AASHTO за лъсовидните глини ( $e-a-dQp$ ) преобладават групи А-6, а при лабораторните изследвания за лъоса ( $eQp^{2-3}$ ) са на границата между групи А-5 и А-6.

От дадените стойности и направени сравнения с геотехнически показатели се може да се направят следните изводи:

- ◆ Глината е по-малко деформируема от лъсовидната глина и лъоса;
- ◆ Същият низходящ ред се отнася за обемната плътност, пластичността и границата на протичане, защото изброените показатели обуславят деформационните качества на почвата;
- ◆ Обратно пропорционална е зависимостта на деформируемостта от съдържанието на прах и от обема на макропорите (при глината такива няма).

#### V. ОТРАЖЕНИЕ НА УСТАНОВЕНИТЕ РАЗЛИКИ ЗА СТРОИТЕЛСТВОТО НА НАСИПИ

Установените разлики между качествата на лъоса, лъсовидната глина и глината имат пряко отражение върху якостните, деформационните и технологическите аспекти при проектиране и строителство на насипи. По-съществените от тях са следните:

- ◆ При проектирането на насипни конструкции в терени, изградени от лъос се налага да се изясни мощността на пропадъчната зона, относителното пропадане при геоложки товар  $\delta_y$  и при допълнителен товар, типа земна основа по пропадъчност. Аргументът за това е пропорционалното линейно нарастване на пропадането и слягането според дебелината на лъсовидния пласт;
- ◆ При проектирането и строителство на насипи е важно да се направи оценка на слягането  $s$  от приложените нормални напрежения от проектните насипи.

Насипи с височина над 12-13m създават нормални напрежения над 250кРа, които са непосилни за слабата льосовидна основа. Неспазването на това ограничение води до разрушение;

- ◆ При проектирането и строителство на насипи в пропадъчни почви (лъос, глинест льос и льосовидна глина), освен слягането, трябва да се направи оценка на относителното пропадане при геоложки товар  $\delta\gamma$  или при допълнителен товар. Така общото вертикално преместване се изчислява като сумата от слягането и пропадането ( $s + \text{спр.}$ );

- ◆ Когато представените литоложки разновидности (лъос и льосовидна глина) ще служат като земна основа за пътни насипи, то те предварително следва да бъдат стабилизиращи, т.е. усилен и вече без свойството да пропадат;

- ◆ Когато ползваме льосовидната глина, льоса и глината като материал за насипа в зони Б и В на тялото му, то също се налага предварително да подобрим техните физико-механически характеристики чрез подходяща стабилизация или обогатяване на зърнометричния им състав чрез подходящо смесване с пясък и глина;

- ◆ Ако не се съобразим с особеностите на земната основа или ако влагаме неподходящи материали, можем да влошим експлоатационните характеристики на пътните насипи. Пренебрегването на който е да е фрагмент от тези задачи, рано или късно води до пълно или частично разрушение на насипната конструкция.

## VI. ЗАКЛЮЧЕНИЯ

От изложеното до тук се вижда, колко е важно познаването на геотехническите свойства на земната основа при проектирането, строителство и реконструкция на насипите в пътното строителство. Технологиите за елиминиране на пропадането на льоса в наши дни са разнообразни и техният подбор е пряко свързан с точните почвени характеристики, установени опитно. Льосовидните почви са слаби и пропадат, а насипите са масивни тежки деформируеми конструкции. Затова строителството върху тях следва да бъде обосновано със специален геотехнически проект.

## ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Minkov, M. 1968. The Loess in North Bulgaria. A Complex Study. Sofia, Publishing House of the Bulgarian Academy of Sciences, 202 p. (in Bulgarian).
- [2] B. Tchakalova and D. Karastanev, "Geotechnical peculiarities of the Bulgarian loess in connection with waste disposal," *Review of the Bulgarian Geological Society*, vol. 80, no. 3, pp. 188-190, 2019.
- [3] Ангелова, Р. 2004 Льосови почви в България. Методи за подобряване. София списание МИННО ДЕЛО И ГЕОЛОГИЯ
- [4] Колев, Ч. 2018 Насипни конструкции или защо има вълни по нашите магистрали Първа част. София издателство на Висшето транспортно училища „Тодор Каблешков“ 141стр .
- [5] НАРЕДБА № РД-02-20-2 от 28 август 2018 г. за проектиране на пътища.
- [6] ТС 2025 на АПИ.
- [7] Данни от инженерно-геоложки проучвания с автор инж. Явор Щерев извършени през периода от 2016 г. до 2023 г.

# COMPARISON OF THE GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF LOESS-LIKE CLAY WITH LOESS AND CLAY FOR THE PURPOSES OF EMBANKMENT CONSTRUCTION

**Yavor Shterev**

[yavor\\_shterev@abv.bg](mailto:yavor_shterev@abv.bg)

*Todor Kableshkov Higher School of Transport  
158 Geo Milev St., Sofia 1574  
REPUBLIC OF BULGARIA*

**Key words:** loess, geotechnical parameters, embankments, roads

**Abstract:** *The article examines the basic concepts of loess-like deposits and embankment structures in transport construction. Loess soil varieties are analyzed in detail according to their distribution and thickness of the layers on the territory of Bulgaria. Their classification according to their ability to collapse is presented. Guidelines are given for the design and reconstruction of embankments in transport construction. Individual articles from the current regulation on road construction in Bulgaria are cited and the focus is on the specific problems in the construction of road embankments. The geotechnical properties of three main lithological varieties: loess, loess clay and clay are analyzed in detail. These materials constitute the natural earth base of planned or existing roads. A comparative analysis was conducted between the indicated lithological varieties according to their geotechnical indicators. Specific conclusions and recommendations are formulated on this basis. Dependencies between the characteristics of the compared soils and their deformability are shown. The risks of structural failure due to failure to take into account the low bearing capacity and the tendency of these soils to collapse are highlighted.*

*Knowledge of the geotechnical properties of the ground is of great importance in the design, construction and repair of road embankments. To achieve optimal results, it is necessary to conduct in-depth engineering and geological surveys along the entire route for each specific infrastructure site.*