

ИНЖЕНЕРНОГЕОЛОЖКИ УСЛОВИЯ НА ГРАД СИЛИСТРА

Ванушка Петрова, Йордан Евлогиев

Геологически институт, БАН, 1113 София, E-mail: ibg-ban@insoft.inetg.bg

РЕЗЮМЕ

Град Силистра е културен и стопанско-административен център, разположен на брега на р. Дунав при km 375-377. Основан е през I век и е важна крепост през римско и турско време. Заема 7 km² площ и има 62 000 жители.

Застроен е върху заливната тераса (T₀) на р. Дунав, склоновия участък (S) и льосовото плато (OAL). В тилната част на заливната тераса е акумулиран льосов делувий. Склонът е оформен в плиоценски глини и пясъци, покрити от льосов делувий. Платото е изградено от плиоценски глини и льосов комплекс (38 m) над тях. Градът неколкратно е разрушаван и опожаряван, вследствие на което са образувани дебели насипи.

Въз основа на геоморфоложки, литофациални и инженерногеоложки признаци са отделени следните инженерногеоложки райони на територията на гр. Силистра: I район с техногенни, пропадъчни и алувиални почви (заливна тераса); II район с активни склонови процеси и пропадъчен льос I тип (склонов участък); III район с пропадъчен льос II тип (льосово плато). Подземните води са пукнатинно-карстови в долнокредните варовици и порови в алувиалните седименти на терасата и в делувия на склона. Геоложкият риск на територията на града се определя на първо място от високата сеизмичност (VIII степен по MSK), наличие на пропадъчни льосови почви от I и II тип, дебели антропогенни насипи (до 9 m), плитките подземни води и от проявата на ерозия по дунавския бряг.

ВЪВЕДЕНИЕ

Град Силистра е пострен върху кватернерни седименти, които се характеризират с голямо разнообразие на генетични видове, фащиални разновидности и имат различно инженерногеолошко поведение. Генетичните видове кватернерни седименти са привързани към определени геоморфоложки форми. Всяка геоморфоложка форма има характерен литоложки строеж, хидрогеоложки условия и в пределите ѝ могат да се отделят литофациални тела с еднакви физикомеханични показатели. Геоморфоложките форми са образувани през неотектонския етап (2,5 мил. години до днес) и са важен индикатор за геодинамиката на района. Цокълът им е оформен в плиоценски глини и баремски варовици. Този подход на изследване, съобразен с геоложките условия в широк аспект, е използван при изучаването на инженерногеоложките условия на гр. Силистра.

В района са проведени геоложки изследвания от много учени. Сред първите изследователи са Златарски (1927), Бончев и Чешитев (1953, 1954). Неогенските седименти са проучени много подробно от Станчева (1966), Стойков и Бресковски (1966), Попов (1986), Коюмджиева (1981, 1989). По проблемите на кватернера са публикувани материали от Яранов (1961), Попов (1964, 1968), Минков (1968), Филипов и Микова (1967, 1977, 1983), Евлогиев (1988, 1993, 2000). Инженерногеоложките условия на района са изследвани от Минков (1968), Каменов и Илиев (1963), Минков, Дончев и Евлогиев (1984), Бручев и др. (1994), Карачоров, Евлогиев и Главчева (1996). Цялата тази информация е базисна за настоящото изследване. Обработени са голям брой фондови материали на Енергопроект - София, РПО - Варна, РПО - Русе и Изследователска база - Русе; общо 110 литоложки и геотехнически сондажи и 160 броя проби. Допълнително са извършени единични

сондажни проучвания и картировки в мащаб 1:5000.

ГЕОМОРФОЛОЖКИ ФОРМИ И ЛИТОЛОЖКИ СТРОЕЖ

Основни геоморфоложки форми в района на гр. Силистра са ниската заливна дунавска тераса, льосовото плато и склонът между тях. Градът е разположен главно върху заливната тераса и склона (фиг. 1).

Ниска заливна дунавска тераса (T₀). Повърхността ѝ в близост до реката е с абсолютна височина 12-15 m, като на юг се издига до 30 m. Разпростира се между р. Дунав и склона, на изток достига държавната граница с Румъния, а на запад обхваща Айдемирската низина. Теренът ѝ е равнинен, с наклон на север. Ерозионният цокъл на терасата е с абсолютна кота -6 до -8 m. Оформен е в баремски варовици със здрава масивна структура и в албски мергели. Заливната тераса е изградена от следните литоложки разновидности:

- Над цокъла заляга алувия на терасата. Разрезът започва с едри чакъли с пясъчлив пълнеж, с дебелина от 5 до 13 m. Следват сиви прахово-пясъчливи глини, с дебелина от 6 до 16 m.

- Централната и тилната част на терасата са покрити от делувиялен глинест льос, светлокафяв с дебелина 3 до 12 m. Върху алувиалните и делувиялните седименти е развита съвременната почва.

- Повърхността на терасата е покрита от техногенен насип, представен от черни хумусни глини или льос, смесени с късове от строителни материали. Образован е от разрушаването на старото римско селище Дуросторум. Има издържано площно разпространение, с максимална

дебелина 9 м, която в южна посока изтънява до 3 м.

Склон (S). Обхваща терена между ниската тераса и лъсовото плато. Склонът в ниската част е полегат (абс. кота 30-40 м), а във височина става стръмен (абсолютна кота 40-80 м). Изграден е от:

- Горнопонтски прахово-песъчливи глини, дакски пясъци и долно-средноромански глини, варовити глини и пясъци.

- Плиоценските седименти са покрити от тънък делувиален глинест лъос, който в полегатата част на склона достига до 16 м.

Лъсово плато (OAL). Издига се на юг от града с абсолютна кота 80–127 м. Оформя широки заравнености, прорязани на места от суходолия. В геоморфоложката литература се нарича старо абразионно ниво, образувано от Дакийския езерно-речен басейн. Абразионната повърхност на OAL е развита в средноромански глини на абсолютна кота 88 м. Обхваща времеви интервал 2,60-0,99 Ма ВР. Над нея са акумулирани следните литоложки разновидности:

- Изветрителна кора от червени глини, образувана над среднороманските глини с възраст 0,99-0,80 Ма ВР.

- Лъсов комплекс с дебелината 38 м. Покрива мантийно релефа. Изграден е от осем прахово-песъчливи лъсови хоризонта (четвърти и седми ерозиран), разделени от седем погребани почви (лъсовидни глини). Възрастта на лъсовия комплекс е 0,80 Ма ВР (Евлогиев, 2000).

ИНЖЕНЕРНОГЕОЛОЖКА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ЛИТОЛОЖКИТЕ РАЗНОВИДНОСТИ

На територията на гр. Силистра се установяват 14 вида литоложки разновидности, които изграждат заливната тераса, склона и лъсовото плато (фиг. 2). Физикомеханичните показатели на литоложките разновидности са определени на базата на голям брой сондажи (средно 25 броя на km^2) и лабораторни изследвания. Почти навсякъде литоложките разновидности се запазват и като инженерногеоложки разновидности (почви). Те основно се състоят от дисперсни и скални почви. От дисперсните са изследвани техногенният насип, делувиалният глинест лъос, алувиалните глини и чакъли, плиоценските глини и лъсовият комплекс. Скалните инженерногеоложки разновидности залягат в дълбочина. Приложените физикомеханични показатели за инженерногеоложките разновидности са представени с техните средни стойности (табл. 1).

Техногенен насип. Установява се повсеместно в пределите на заливната тераса. Максималната му дебелина е до 9 м, като на юг към тилната част на терасата изтънява до 3 м. Изграден е от черни хумусни глини и лъос, смесени с късчета керамика и строителни отпадъци. При установеното естествено водно съдържане $w=26,0-26,5\%$ консистенцията на насипа се определя като средно- ($I_c=0,58$) до твърдопластична ($I_c=0,83$). В челото на тераса-та насипът е по-плътен и се характеризира с

обемна плътност $\rho_n=1,79\text{ g/cm}^3$, обемна плътност на скелета $\rho_s=1,42\text{ g/cm}^3$, специфична плътност $\rho_{sp}=2,76\text{ g/cm}^3$, обем на порите $n=48,6\%$, степен на водонасищане $Sr=0,93$ и модул на обща деформация $E=80\cdot 10^5\text{ Pa}$. В централната част на терасата насипът е недоуплътнен и има $\rho_n=1,66\text{ g/cm}^3$, $\rho_s=1,32\text{ g/cm}^3$, $\rho_{sp}=2,71\text{ g/cm}^3$, $n=51,3\%$, $Sr=0,66$ и $E=60\cdot 10^5\text{ Pa}$.

Съвременна почва. В пределите на ниската тераса е образувана върху алувиалните глини и глинестия лъос. Представена е от прахови глини и прахово-песъчливи глини. Има черен цвят и съдържа органика. Дебелината ѝ се изменя от 0,3 до 2 м. Често е заместена от насипи, поради което площно не е нездържана. Консистенцията на съвременната почва е среднопластична ($I_c=0,58$). Физичните показатели имат стойности $w_n=24,8\%$, $\rho_s=2,73\text{ g/cm}^3$, $\rho_n=1,89\text{ g/cm}^3$, $\rho_s=1,51\text{ g/cm}^3$, $n=44,7\%$, якостни показатели - ъгъл на вътрешно триене $\varphi=21^\circ$, кохезия $c=0,14\cdot 10^5\text{ Pa}$.

Прахово-песъчлива глина (алувиална). Образува добре издържан пласт с дебелина 6-16 м. Заляга на дълбочина от 10 до 15 м. Прахово-песъчливите глини са сиви, в горната част на пласта сивобежови. Имат среднопластична консистенция ($I_c=0,60$), показател на пластичност $I_p=15,7$, $w_n=25,5\%$, $\rho_n=1,93\text{ g/cm}^3$, $\rho_s=1,54\text{ g/cm}^3$, $\rho_s=2,73\text{ g/cm}^3$, $n=43,6\%$, $Sr=0,90$ и $E=121\cdot 10^5\text{ Pa}$.

Едри чакъли. Залягат под алувиалните глини. Образуват пласт с дебелина от 5 до 13 м, изтъняващ към тилната част на терасата. В основата на пласта чакълите са поедри и имат песъчлив пълнеж. Характеризират се с $\rho_s=1,90\text{ g/cm}^3$, $\rho_s=2,65\text{ g/cm}^3$, $n=28,3\%$, $E=600\cdot 10^5\text{ Pa}$.

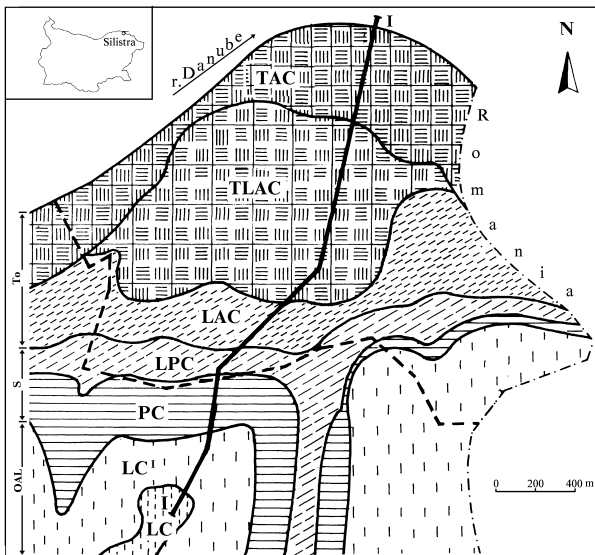
Пропадъчен лъос I тип. Тук се отнася глинестия делувиален лъос от тилната част на терасата и полегатия склон. Дебелината му е от 7 до 16 м. При гео ложки товар и намокряне не пропада. При допълнителен товар проявява пропадъчни свойства. За пропадъчния пласт началният товар на пропадане е по-голям от геоложкия товар ($\rho_{нач}>\rho_{\gamma}$). Характеризира се с $w_n=18,3-21,5\%$, $\rho_n=1,72-1,85\text{ g/cm}^3$, $\rho_s=1,45-1,52\text{ g/cm}^3$, $\rho_s=2,73\text{ g/cm}^3$, $n=44,3-46,9\%$, коефициент на относително пропадане $\delta_{пр2}=0,020$ при $p=2\cdot 10^5\text{ Pa}$ и $\delta_{пр3}=0,025$ при $p=3\cdot 10^5\text{ Pa}$, $Sr=0,56-0,74$ и $E=114-135\cdot 10^5\text{ Pa}$.

Непропадъчен лъос. Образува тънка делувиална покривка от глинест лъос в централната част на заливната тераса и стръмния склон. В централната част на заливната тераса глиестият лъос е с дебелина от 3 до 9 м. Заляга непосредствено над водното ниво и при високи водни стоежи на р. Дунав попада в обсега на подземните води. При допълнителен товар е непропадъчен. Стръмният склон също се покрива от тънък (3-5 м) непропадъчен глинест лъос. Той заляга над водното ниво, акумулирано върху плиоценските глини. Физикомеханичните му показатели имат стойности $w_n=14,9\%$, $\rho_n=1,82\text{ g/cm}^3$, $\rho_s=1,58\text{ g/cm}^3$, $\rho_s=2,75\text{ g/cm}^3$, $n=42,5\%$, $\delta_{пр3}=0,012$ при $p=3\cdot 10^5\text{ Pa}$ и $Sr=0,54$. При нарушаване на склоновия стабилитет от изкопни работи може да възникнат плитки свлачищни обриви.

Пропадъчен лъос II тип. Към тази инженерногеоложка разновидност се отнася приповърхностната част на лъсовия комплекс от лъсовото плато. Дебелината на

пропадъчната зона е 21 м. Към нея принадлежат първи лъсов хоризонт (Л1), първа погребана почва (П1), втори лъсов хоризонт (Л2), втора погребана почва (П2) и трети лъсов хоризонт (Л3). Сумарното пропадане при геоложки товар, според Минков (1968) е до 75 см. За пропадъчния пласт началният товар на пропадане е по-малък от геоложкия товар ($p_{нач} < p_{\gamma}$). От условието $p_{нач} < p_{\gamma}$ произтичат всички опасения за сигурността на терена и съоръженията изградени върху него от проява на пропадане. При аварийно намокряне на лъсовата основа показателите на товароносимост ще понижат стойностите си до три пъти. В зависимост от дълбочината на намокряне може да се проявят няколко вида деформации:

1. При плитко навлажняване и наличие на допълнителен товар от сгради пропадането ще се реализира само в активната зона на фундаментите - I тип; 2. При дълбочинно намокряне може да се предизвика само пропадане от геоложки товар - II тип; 3. При пълно водонасищане на пропадъчния пласт ще се реализират двата вида пропадане.

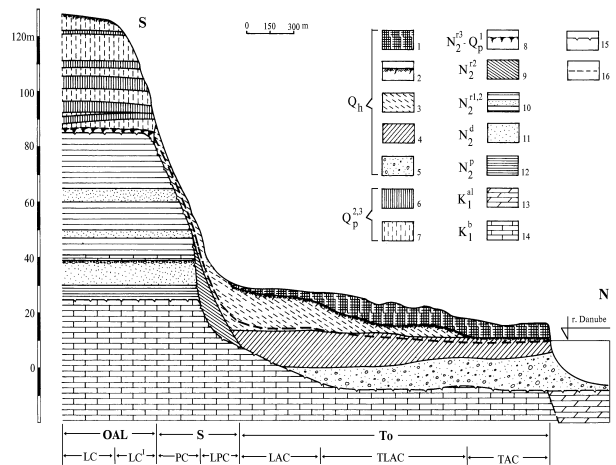


Фигура 1. Инженерногеоложка карта

I район - техногенни, пропадъчни и алувиални почви: 1. Участък с техногенно алувиален комплекс (ТАС): Техногенен насип - дебелина до 9 м, консистенция - среднопластична, $E=80 \cdot 10^5$ Pa; Прахово пясъчлива глина - дебелина 6-16 м, консистенция среднопластична, $E=121 \cdot 10^5$ Pa; Чакъли - дебелина 5-13 м, $E=600 \cdot 10^5$ Pa; Водно ниво 4-6 м. 2. Участък с техногенно лъсово алувиален комплекс (ТЛАС): Техногенен насип - дебелина до 7 м, консистенция твърдопластична, $E=60 \cdot 10^5$ Pa; Непропадъчен лъс - дебелина 3-9 м, консистенция твърдопластична; Водно ниво 8-13 м. 3. Участък с лъсово алувиален комплекс (LAC): Пропадъчен лъс I тип - дебелина на пропадъчната зона 6-8 м, $\delta_{пр\gamma}=0,025$ при $p=3 \cdot 10^5$ Pa, консистенция среднопластична, $E=135 \cdot 10^5$ Pa; Прахово пясъчлива глина - дебелина 6-12 м, консистенция среднопластична, $E=121 \cdot 10^5$ Pa; Водно ниво 8-13 м.

II район - склонни процеси, пропадъчни почви I тип: 1. Участък с лъсово плиоценски комплекс (LPC): Пропадъчен лъс I тип - дебелина на пропадъчната зона 8-10 м, $\delta_{пр\gamma}=0,023$ при $p=3 \cdot 10^5$ Pa, $E=114 \cdot 10^5$ Pa; Водно ниво 5-10 м. 2. Участък с плиоценски комплекс (PC): Непропадъчен лъс - дебелина 3-5 м, $\delta_{пр\gamma}=0,012$ при $p=3 \cdot 10^5$ Pa; Глини и варовити глини - дебелина 45 м, консистенция полутвърда, $E=200 \cdot 10^5$ Pa; Водно ниво 5-10 м; Потенциална опасност от проява на плитко свлачища и склоново пълзене.

III район - пропадъчни почви II тип: 1. Участък с лъсов комплекс (LC): пропадъчна зона 21 м, сумарно пропадане 75 см, $\delta_{пр\gamma}=0,035$ при p_{γ} (геоложки товар), $E=150 \cdot 10^5$ Pa, водно ниво 37 м. 2. Участък с редуциран лъсов комплекс (LC) - дебелина на пропадъчната зона 6-21 м, $E=150 \cdot 10^5$ Pa.



Други означения: OAL - старо абразионно ниво; S - склон; To - ниска заливна тераса.

Фигура 2. Геоложки профил I-I

1 - техногенен насип; 2 - глина с органика (съвременна почва); 3 - глинест лъс (делувиален); 4 - прахово пясъчлива глина (алувий); 5 - едър чакъл с пясъчлив пълнеж (алувий); 6 - лъсовидна глина (погребана почва); 7 - прахово-пясъчлив лъс (воличен); 8 - пясъчлива глина, керемиденочервена (изветрителна кора); 9 - глина със сиви ядки и леци пясък (делувий); 10 - алтернация от глини, варовити глини и пясъчни прослойки (езерни); 11 - дребен до среден пясък (езерен); 12 - прахово пясъчлива глина, слоиста (езерна); 13 - пясъчливи мергели; 14 - варовици; 15 - ерозионна или абразионна повърхност; 16 - водно ниво; Други означения: OAL - старо абразионно ниво; S - склон; To - ниска заливна тераса; LC - лъсов комплекс; LC' - редуциран лъсов комплекс; PC - плиоценски комплекс; LPC - лъсово плиоценски комплекс; LAC - лъсово алувиален комплекс; TLAC - техногенно лъсово алувиален комплекс; TAC - техногенно алувиален комплекс; Q_h - холоцен; Q_{2,3} - среден и горен плейстоцен; N₂³-Q_h¹ - горен роман - долен плейстоцен; N₂² - среден роман; N₂^{1,2} - долен и среден роман; N₂^d - дак; N₂^p - горен понт; K₁^a - алб; K₁^b - барем

По зърнометричен състав лъсовите хоризонти са изградени от прахово-пясъчлив лъс, а погребаните почви от лъсовидни глини. Осреднените физикомеханични показатели за пропадъчната зона са със стойности: $w_n=16,8\%$, $\rho_s=2,74 \text{ g/cm}^3$, $\rho_n=1,68 \text{ g/cm}^3$, $\rho_a=1,44 \text{ g/cm}^3$, $n=47,4\%$, $\delta_{пр\gamma}=0,035$ при p_{γ} (геоложки товар), $Sr=0,6$, $E=150 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

Пясъчливи мергели. Запълват грабенови форми в руслото на реката и челото на терасата. Дебелината им е от няколко до 72 м. Имат следните осреднени стойности на физикомеханичните показатели: $\rho_s=2,67 \text{ g/cm}^3$, $\rho_n=2,00 \text{ g/cm}^3$, $\rho_a=1,65 \text{ g/cm}^3$, порен коефициент $e=0,62$, ъгъл на вътрешно триене $\phi=25^\circ$, кохезия $c=2,25 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, $E=1400 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

Варовици. Установяват се на абс. kota -6 до -8 м в пределите на ниската тераса, а в склона и лъсовото плато заляг на абс. kota 25 м. Варовиците са плътни, порцелановидни, здрави, светлокафяви до бели на цвят, неравномерно окарстени. По-силно окарстени са в горната си част, като пукнатините и каверните са кухи или запълнени с пясък и червена глина. Имат следните физикомеханични показатели: $\rho_s=2,70 \text{ g/cm}^3$, $\rho_n=2,60 \text{ g/cm}^3$, $\rho_a=2,50 \text{ g/cm}^3$, $e=0,08$ и $\phi=33^\circ$, $c=40,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

Таблица 1. Осреднени стойности на физикомеханичните показатели на литоложките разновидности

ХИДРОГЕОЛОЖКИ УСЛОВИЯ

В района на гр. Силистра подземните води са пукнатинно-карстовите и порови.

Пукнатинно-карстови води. Акумулирани са във варовиковия комплекс с възраст барем (Разградска свита). За долен водоупор служат долнокредните глинести варовици и мергели на Горнооряховската и Разградската свити. Подземните води се формират в карстовите празнини и пукнатините на варовиците. Формираният се ненапорен подземен поток има генерална посока на движение на север. Подхранването на подземните води се извършва от инфилтрация на валежни и повърхностни води. В района на гр. Силистра отсъстват естествени източници на дрениране, като се изключи езерото Сребърна, подхранвано от карстовите води на баремския водоносен хоризонт. В качествено отношение водите са хидрокарбонатно-калциево-магнезиеви до хидрокарбонатно-магнезиево-калциеви по химически състав с неутрален характер (рН=7-8). Минерализацията им е предимно 0,4-0,8 g/l, рядко около 1 g/l.

Порови води. Акумулирани са в алувия на заливната тераса, в склоновия делувий и в плиоценските пясъчни прослойки.

Алувиалният водоносен хоризонт е двуслоен, с водопроницава долна част (пясъци и чакъли) и по-слабо водопроницава горна част (песъчливи глини). Формираните в него води са полунапорни и безнапорни. Колебанията на водното ниво е в зависимост от нивото на р. Дунав. Характеризира се с висока водообилност. Проводимостта е от 250 до над 1000 m²/d, като по-високите стойности са характерни за западната индустриална част на града. Подхранва се от р. Дунав при високи води, от долнокредния водоносен хоризонт, и от склоновите подземните води формирани върху плиоценските глини. Дренажа се в р. Дунав при средни и ниски стоежи, както и от съществуващи водоземни съоръжения. Минерализацията на алувиалния водоносен хоризонт е под 1 g/l, като водите са хидрокарбонатни, калциеви и калциево магнезиеви. В челната част на терасата водното ниво е на дълбочина от 4 до 6 m. Наличието на техногенен насип и плитки подземни води създава значителни трудности при фундацията на сгради и съоръжения в тази част на града. В централната част на заливната тераса водното ниво е на дълбочина от 8 до 13 m. Водното ниво в тилната част на терасата е по-високо, дължащо се на подхранване от склонови води. Склоновият водоносен хоризонт се подхранва от инфилтрирани повърхностни води и от пясъчните прослойки на плиоцена. Водоупор на водоносния хоризонт са плиоценските глини. Склоновите води са акумулирани на контакта между плиоценските

глини и льосовия делувиум. В стръмния склон те залягат на дълбочина 5-7 m, а в ниската му част на 5-10 m.

РИСКОВИ ФИЗИКОГЕОЛОЖКИ ПРОЦЕСИ И ЯВЛЕНИЯ

Територията и инфраструктурата на гр. Силистра са застрашени от ендегенни, екзогенни и техногенни рискови физикогеоложки явления и процеси. Към ендегенните се отнасят земетресенията - град Силистра е разположен между три сеизмични епицентъра - Шабла, Горна Оряховица и Вранча. От екзогенните процеси рискови са потенциално опасните плитки свлачища, склоновото пълзене, ерзията по дунавския бряг, плитките подземни води, площната ерозия, наводненията и заблатяванията. Техногенни рискови процеси са проявата на пропадане в льосовите почви, образуване на дебели насипи и нарушаване на терена от карирери.

Ендегенни процеси

Земетресения. Съгласно макросеизмичното райониране на България, Силистра попада в район с висока сеизмичност с VIII степен на интензивност по MSK и коефициент на сеизмичност $k_c=0,15$. Силни земетресения с нанесени щети по сградите градът е изпитал през през 1977 г. от Вранчанското земетресение с магнитуд 7,2, през 1990 отново от Вранчанското земетресение с $M=6,7$ и $6,1$ и през 1986 г. от земетресението с епицентър Стражица с $M=5,3$. Земетресението от 1990 г. нанася щети на 16 обекта, от които 7 са обществени сгради, а останалите са жилищни блокове. Първите са сгради над 50 години, построени в централната част на града, с нанесени щети по носещите стени и преградните зидове. Към втората група се отнасят сгради на 4-5 етаж със стоманено-бетонен скелет разположени в централната и южна част на града. Повредите са причинени от недобро конструктивно решение в съчетание с неблагоприятни инженерно-геоложки условия (Карачоров, Евлогиев, Главчева, 1992).

Екзогенни процеси

Свлачища. Потенциална опасност от проява на плитки свлачища съществува в обсега на стръмния склон. На контакта между плиоценските глини и делювиалния льос са акумулирани склонови води на дълбочина 5-7 m. Теренът не е застроен, но при бъдещи изкопни работи може да се създадат условия за образуване на плитки свлачища.

Склоново пълзене. Наблюдава се в района на Учителският институт, разположен върху стръмния склон. Сградата е с голяма площ, фундирана е върху плиоценски глини и льосов делювий с плитки подземни води. Деформациите по конструкцията на сградата се дължат на влошаване на консистенцията на почвите и на проява на незатихващо пълзене на земната основа. Неблагоприятно въздействие оказва и неизпълнената вертикална планировка на сградата.

Речна ерозия. Руслото на р. Дунав е оформено в алувиалните седименти на тераса T_0 . Това улеснява развитието на ерозионните процеси. Те се активизират през месеците април и май, когато водните стоежи в реката достигат до 670 cm над пегела (6,5 m). По-голямата част на дунавския бряг в града е защитена от ерозия с

подпорна стена, с изключение на западната част, където брегът е подложен на активно подкопаване и размиване.

Плитки подземни води. Плитки са поровите алувиални води, акумулирани в седиментите на заливната тераса. В северната част на терасата те залягат на дълбочина 4-6 m и създават трудности при фундирането.

Площна ерозия. Развита е в склоновия участък на града. През холоцена в резултат на площна ерозия е размит льосовия комплекс и преотложен в делювиален глинеест льос, с най-голяма дебелина в ниската част на полегатия склон. В момента този процес продължава, за което свидетелствува отсъствието на съвременната почва.

Наводнения. Регистрираните максимални водни стоежи в р. Дунав са 740 cm над пегела (1942 г.), което е 13,9 m абсолютна кота. Дунавският бряг в централната и източната част на града е с абсолютна кота 15 m и е защитен с подпорни стени. От наводнения е застрашена западната промишлена зона, където има участъци с пониска кота на брега. Наводнения от поройни дъждове не застрашават територията на града.

Заблатявания. Временни заблатявания се наблюдават в Айдемирската низина, западно от гр. Силистра. Образуваните се в негативните понижения от изливи на плитко залягащите подземни води, които са в хидравлична връзка с водите на река Дунав. В заблатените участъци водата се задържа дълго време в резултат на колматацията на дъната на негативните форми.

Карстови явления. Баремските варовици са неравномерно окарстени. В карстовите форми и пукнатини е формиран пукнатинно-карстовият водоносен хоризонт. Каверните са кухи или запълнени с пясък, по-рядко с червени глини. Интензивно е окарствяването в горната част на карбонатния хоризонт.

Техногенни процеси

Пропадъчност. Льосовите почви се отличават със своята недоуплътненост и структурна неустойчивост. Те са склонни към проява на пропадане при намокряне от собствено тегло и от допълнителни натоварвания.

От техногенно намокряне са причинени деформации на терени и сгради в кв. "Калипетрово", разположен върху льосово плато - II тип льосова основа. При строителството на капитални съоръжения в терени с II тип пропадъчност се извършва противопропадъчна подготовка на льосовата основа - най-често уплътняване с тежка трамбовка и подобряване на условията за фундиране с дълбоки изкопи и изпълнение на циментопочвени възглавници. Фундирането на телевизионна кула Силистра е осъществено в следната последователност: изпълнение на изкоп с дълбочина 7,7 m; уплътняване с тежка трамбовка; изграждане на циментопочвена възглавница и фундиране върху нея на кота 119,30 m. След изпълнението на строителството са взети водозащитни мерки.

В районите с първи тип льосова основа деформации от техногенно намокряне може да възникнат само в активна-

та зона на фундаментите на сгради и съоръжения. Такива деформации са регистрирани в южната част на града. Сеизмичните въздействия са "пусков механизъм" за проява на пропадане при наличие на техногенно навлажняване в лъсовата основа.

Техногенни насипи. По-голяма част от територията на гр. Силистра е построена върху техногенни насипи. В централната част на града те достигат до 9 m. Насипът е недоуплътнен и представлява неблагоприятна земна основа за фундиране. В северната част на града насипът се залива от подземните води при високи водни стоежи в реката. При тези условия, сградите построени върху насипа се деформират. Новото строителство се изпълнява с дълбоки изкопи, и при невъзможност за преодоляване на насипа се изпълнява пилотно фундиране.

Нарушаване на терена от кариери. За нуждите на тухлената фабрика са извършени дълбоки изкопни работи в югозападната част на града, в склоновия участък. Образуван е вертикален откос с височина около 25 m. Съществува опасност от гравитачно свличане на земни маси от откоса.

ПРЕДВАРИТЕЛНИ ДАННИ ЗА ИНЖЕНЕРНОГЕОЛОЖКО РАЙОНИРАНЕ

Въз основа на установените геоморфолого-литостратиграфски, инженерногеоложки и хидрогеоложки условия и рисковите физикогеоложки процеси и явления които пораждат, е извършено предварително инженерногеоложко райониране на територията на гр. Силистра. Наричаме го предварително, защото предстои включване на нови територии (Западна промишлена зона и кв. "Калипетрово"), погъстяване на сондажните изработки и броя на изследваните проби. Обособяват се три района, по инженерногеоложки условия и по проявата на геодинамични процеси. Районите се поделят на два или три участъка, всеки от които отчита установените различия в инженерногеоложките разновидности (фиг. 1):

I район - техногенни, пропадъчни и алувиални почви

Обхваща територията на града, разположена в пределите на ниската заливна тераса. Изграден е от пропадъчен лъос, техногенни насипи и алувиални седименти. Рискови геоложки процеси за този район са земетресенията, пропадъчността на лъоса (I тип), дебелиите техногенни насипи, плитките подземни води, речната ерозия, наводненията, заблатяванията и карста. В I район се отделят три участъка:

Участък с техногенно-алувиален комплекс (ТАС). Разположен е в северната част на града, върху челната част на заливната тераса. Изграден е от техногенни недоуплътнени насипи с дебелина до 9 m и алувиални седименти (прахово-песъчливи глини и едри чакъли с песъчлив пълнеж). Подземните води са плитки и залягат на дълбочина 4-6 m. В участък ТАС условията за строителство са трудни. Фундирането се изпълнява на голяма дълбочина, а при невъзможност да се преодолее насипа се прилага и пилотно фундиране. Плитките подземни води влошават сеизмогеоложките условия.

Участък с техногенно-лъосово-алувиален комплекс (ТЛАС). Обхваща централната част на заливната тераса. Изграден е също от недоуплътнени насипи с дебелина 3-7 m. Под тях заляга непропадъчен лъос с дебелина от 3 до 9 m и алувиални седименти. При високи водни стоежи в р. Дунав лъосът попада в обсега на подземните води. При допълнителен товар е непропадъчен. Подземните води се установяват на дълбочина 8-13 m.

Участък с лъосово-алувиален комплекс (LAC). Заема тилната част на заливната тераса. Техногенният насип е с малка дебелина (до 3 m), поради което не създава проблеми при фундирането на сгради и съоръжения. Участък LAC е изграден главно от пропадъчен лъос I тип (6-12 m) и алувиални седименти. Лъосът при геоложки товар и намокряне не пропада. При допълнителен товар проявява пропадъчни свойства, само в активната зона на фундаментите на сгради и съоръжения. За пропадъчния пласт началният товар на пропадане е по-голям от геоложкия товар ($\rho_{нач} > \rho_v$). Подземните води са акумулирани в лъосовия делувий на дълбочина 8-13 m. При наличие на техногенно преовлажнена лъосова основа сеизмичните въздействия провокират проявата на пропадане.

II район - проява на склонови процеси, пропадъчни почви I тип

Обхваща полегатия и стръмния склон, между заливната тераса и лъосовото плато. Изграден е от непропадъчен, пропадъчен (I тип) лъос и плиоценски седименти. На контакта между тях са акумулирани порови склонови води. Рискови геоложки процеси за II район са земетресенията, свлачищата, склоновото пълзене, пропадъчността, плитките подземни води, площната ерозията и нарушаването на геоложката среда от кариерни изкопи. Въз основа на различия в инженерногеоложките условия и на геодинамичните процеси се поделя на два участъка:

Участък с лъосово-плиоценски комплекс (LPC). Разположен е в пределите на полегатия склон. Приповърхностната му част е изградена от пропадъчен лъос I тип, с дебелина 11-16 m. Лъосът не пропада при намокряне от геоложки товар. При допълнителен товар проявява пропадъчни свойства. За пропадъчния пласт началният товар на пропадане е по-голям от геоложкия товар ($\rho_{нач} > \rho_v$). Лъосът покрива плиоценски глини и пясъци. Подземните води са на дълбочина от 5 до 10 m.

Участък с плиоценски комплекс (PC). Това е теренът на стръмния склон. Лъосовата покривка е тънка, непропадъчна, и заляга върху плиоценски глини, варовити глини и пясъчни прослойки. Подземните води са акумулирани на контакта. При извършване на стротелни и изкопни работи съществуват условия за образуване на плитки свлачища и за проява на склоново пълзене.

III район - пропадъчни почви II тип

Обхваща територията на лъосовото плато. Лъосът е с добре изразени пропадъчни свойства. Най-опасни за района рискови геоложки процеси са пропадъчността и земетресенията. В зависимост от дебелината на пропадъчната зона се поделя на два участъка:

Участък с лъсов комплекс (LC). Лъсовият комплекс е с пълна литостратиграфия. Дебелината на пропадъчната зона е 21 m. Сумарното пропадане при геоложки товар е до 75 cm. За пропадъчния пласт началният товар на пропадане е по-малък от геоложкия товар ($p_{нач} < p_{г}$). При аварийно намокряне на лъсовата основа показателите за товароносимост ще понижат стойностите си до три пъти. Подземните води са акумулирани над плиоценските глини (37 m).

Участък с редуциран лъсов комплекс (LC'). Дебелината на лъсовия комплекс е редуцирана. Пропадъчната зона е с дебелина от 6 до 21 m.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инженерногеоложките условия на град Силистра се оценяват като средно сложни. Земната основа на града е изградена от дебелите техногенни насипи, пропадъчен лъс, алувиални глини и чакъли, плиоценски глини и пясъци и скална подложка от баремски варовици и албски мергели. Най-голяма площ заемат пропадъчните и техногенните почви, които са основен проблем за фундирането на сгради и съоръжения. Поровите води са плитки, акумулирани са в кватернерните и плиоценските седименти и допълнително усложняват геотехническите условия. Установените инженерногеоложки и хидрогеоложки условия в съчетание с геоморфоложките особености на терена, създават предпоставки за проявата на определени геодинамични процеси. Територията на гр. Силистра е застрашена от ендегенни (земетресения), екзогенни (плитки свлачища, склоново пълзене, ерозия по дунавския бряг, плитки подземни води, площна ерозия, наводнения и заблатявания) и техногенни (пропадане на лъсови почви, слягане на насипи, кариерни изкопи) рискови физико-геоложки явления и процеси. Въз основа на тази геоложка обстановка територията на град Силистра е разделена на три инженерногеоложки района, всеки с по два или три участъка.

ЛИТЕРАТУРА

- Антонов, Хр., Д. Данчев. 1980. Подземни води в НРБ. - ДИ "Техника", София, 359 с.
- Златарски, Г. 1927. Геология на България. Унив. библи., София, 65, 266 с.
- Бончев, Г. 1942. Тернът на дунавското прибрежие в Тутраканско и Силистренско. - Сп. БАН, 65, кл. прир. мат. 32, 1-8.
- Бончев, Е., Г. Чешитев, Ю. Караюлева. 1956. Бележки върху стратиграфията на апта в Североизточна България. Изв. Геол. инст., 4, 7-76.

- Евлогиев, Й. 1988. Еоплейстоцетът в Придунавска Северна България и границата му с неогена. - Сп. Бълг. геол. д-во, 49, №2, 37-44
- Евлогиев, Й. 1995. Границата неоген-кватернер и стратиграфия на ранния плейстоцен в Тетиса, Централния Паратетис и океана. - Сп. Бълг. геол. д-во, 56, №2, 87-104
- Евлогиев, Й. 2000. Кватернерът в Североизточна България. - Сп. Бълг. геол. д-во, 61, 1-3, 3-25
- Каменов, Б., Ил. Илиев. Трудове върху геологията на България, кн. 2. Инженерногеолошко райониране на България. - БАН, Геол. Институт.
- Карачоров, П., Й. Евлогиев, Р. Главчева. 1996. Последствия от земетресението Вранча - 1990 г. в Североизточна България. - (под печат).
- Кюмджиева, Ем., Н. Попов. 1987. Сарматские моллюсковые сообщества Северо-Восточной Болгарии. - Палеонт., стратигр. и литол. 24, 60-69.
- Минков, М. 1968. Лъсът в Северна България. С., БАН, 192.
- Минков, М., П. Дончев, Й. Евлогиев. 1985. Земната основа на град Силистра. - Научно-техническа конференция "Земната основа на нашия град", Русе
- Попов, Н. 1964. Стратиграфия на кватернера в Северозападна България. - Изв. НИГИ, 217-231.
- Попов, Н., Ем. Кюмджиева. 1987. Миоценът в Североизточна България (литостратиграфска подялба и геолошко развитие). - Сп. Бълг. геол. д-во, 48, №3, 15-33.
- Попов, Н. 1993. Литостратиграфия на неогенските седименти в Русенско и Силистренско. - Сп. Бълг. геол. д-во, 54, №1, 65-70.
- Станчева, М. 1966. Белжки върху стратиграфията и остракодната фауна на плиоцена и постплиоцена в Силистренско. - Изв. Геол. инст., 15, 205-229.
- Стойков, С., С. Бресковски. 1966. Плиоценът в част от Силистренско. - Год. СУ, Геол. геогр. Фак., 59, 1, Геология, 69-76.
- Филипов, Л., Л. Микова. 1967. Кватернерните отложения в част от Северна България между реките Осъм и Янтра. - Год. Комитет геол., 57-74.
- Филипов, Л., Л. Микова. 1977. Плейстоценът между долините на реките Янтра и Русенски Лом. - Сп. Бълг. геол. д-во, 38, №3, 235-250.
- Филипов, Л., Л. Микова. 1983. Кватернерните отложения в Добруджа. - Сп. Бълг. геол. д-во, №2, 149-157.
- Филипов, Л. 1995. Обяснителна записка към геоложка карта на България. Картни листове Тутракан и Силистра. - Геология и геофизика, София, 22 с.
- Яранов, Д. 1956. Лъсът и лъсовите седименти в България. - Изв. почв. Инст., 4, 37-76.
- Яранов, Д. 1961. Границата плиоцен-плейстоцен и стратиграфията на кватернера в България. - Сп. Бълг. геол. д-во, №2, 187-204.

ENGINEERING - GEOLOGICAL CONDITIONS OF THE TOWN OF SILISTRA

Vanushka Petrova, Jordan Evlogiev

Geological Institute at the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia 1113, E-mail: ibg-ban@insoft.inetg.bg

ABSTRACT

The town of Silistra is a cultural and business-administrative center, situated at the Danube riverside at km 375-377. It has been found during the I-st century and during the Rome and Turkish days it had played a role of an important stronghold. It extends at area of 7 square km and has 62 000 inhabitants.

Silistra town is constructed at the flooding terrace (T_0) of the River Danube, the slope section (S) and loess plateau (OAL). Loess delluvial is accumulated at the rearward part of the floodplain terrace. The slope is formed in Pliocene clays and sands, covered by delluvial loess. The plateau is built from Pliocene clays and loess complex (38 m) above. The town has been destroyed or burned down several times and as a result thick embankment has been generated.

Basing on geomorphological, lithofacial and engineering-geological signs the following engineering-geological regions on the territory of Silistra have been separated: 1. Region with collapsible loess type II (loess plateau); 2. Region with active slope processes and collapsible loess type I (slope section); 3 Region with technogenerative, collapsible and alluvial soils (floodplain terrace). Ground waters are Karst-leaking one in the low-Cretaceous limestone and porous one in the alluvial terrace sediments and the slope Delluvial. Geological hazard at the territory of the town is determinate primarily from the high seismicity - VIII grade on MSK, presence of collapsible loess soils type I and II, thick anthropogenerated embankments (up to 9 m), shallow groundwaters and from erosion development at the Danube riverbank.

INTRODUCTION

Silistra town is constructed at quaternary sediments. They are characterized with great diversity of genetic types, facial variety and also they have different engineering-geological behaviour. The quaternary sediments genetic types are attended to definite geomorphologic forms. Each geomorphologic formation has a typical lithologic texture, hydrogeological conditions and lithofacial bodies with equal physic-mechanical indexes could be identified within its bounds. Geomorphological formations are generated during the Neotectonic stage (2,5 million years to nowadays). They are an important indicator for the geodynamics in the region. Their footing is formed in Pliocene clays and Barem limestone. This approach for investigation, in compliance with the geological conditions in broad aspect, has been used in studying the engineering-geological conditions in Silistra.

Geologic research has been done in the region of Silistra town by numerous scientists. Among the first researchers have been Zlatarski (1927), Bontchev and Cheshitev (1953, 1954). Neogenetic sediments are very detailed investigated by Stancheva (1966), Stoikov and Breskovsky (1966), Popov (1986), Kojumdjieva, (1981, 1989), Problems on Quaternary are discussed in published materials by Jaranov (1961), Popov (1964, 1968), Minkov (1968), Philipov and Mikova (1967, 1977, 1983), Evlogiev (1988, 1993, 2000). Engineering-geological conditions in the region are studied by Kamenov, Iliev (1963); Minkov (1968), Minkov, Dontchev, Evlogiev (1984); Brutchev, et col. (1994); Karachorov, Evlogiev, Glavtcheva (1996), All this information is a basis for the current research. Number of stock materials have been considered, belonging to

"Energoproject - Sofia", RPO - Varna, RPO - Rousse and Research Laboratory in Geotechnics - Rousse, having totally 110 lithologic and geotechnical drillings and 160 soil samples. Individual drilling studies and mapping in scale 1:5000 have been done additionally.

GEOMORPHOLOGIC FORMATIONS AND LITHOLOGIC STRUCTURES

Basic geomorphological forms in the region of Silistra town are the low floodplain Danube terrace, the loess plateau and the slope between them. The town is located mostly on the floodplain and the slope (fig. 1).

Low floodplain Danube terrace (T_0). Its surface in proximity to the river has an absolute elevation 12-15 m, and the terrace is rising up to 30 m to the south. The terrace is spread out between the Danube bank and the slope. It reaches the state border with Republic of Romania to the east, and includes Aidemir lowlands to the West. The terrain is plain with a low-grade to North. The erosion footing of the terrace has absolute elevation - from -6 to -8 m. It is formed in Barem limestone with strong massive structure and in Alb marls. Floodplain terrace is built of the following lithologic varieties:

- Above the footing lies alluvium of the terrace. The cross-section starts with coarse gravel, sand - filled, having layer thickness 5 to 13 m. Gray dust-sandy clays follow, with layer thickness 6 to 16 m.
- The central and back parts of the terrace are covered from delluvial clayey loess, light brown, with layer thickness 3 to 12 m. Contemporary soil is developed on the alluvial and delluvial deposits.
- The surface of the terrace is covered by a technogenetic

embankment, represented by black humus clays or loess, mixed with fragments of construction materials. It has been generated as a result of ruining the old Rome settlement Durostorum. It has satisfactory area dissemination, with maximum thickness 9 m, which is getting thinner going southward up to 3 m.

Slope (S). It covers the terrain between the low terrace and the loess plateau. The slope is slanting in its low part (at absolute elevation 30-40 m), and is becoming abrupt in height (at absolute elevation 40-80 m). The structure is the following:

- Upper Pontian dust-sandy clays, Dackian sands and bottom-middle Roman clays, marls and sands.
- Pliocene sediments are covered by thin delluvial clayey loess, which reaches up to 16 m in its slanting part of the slope.

Loess Plateau (OAL). It is rising southerly from the town with absolute elevation 80–127 m. It forms wide plains, incised by several gulches. The Loess plateau is called in the geomorphologic literature old abrasive level that is generated from the Dacian lacustrine-fluvial basin. The abrasive surface of OAL is developed in Middle Roman clays at the absolute elevation 88 m during the time - period 2,60-0,99 Ma BP. The following lithologic varieties are accumulated above its surface:

- Crust of weathering from red clays, formed above the Middle Roman clays, aged 0,99-0,80 Ma BP.
- Loess complex with 38 m thickness, covering the relief like a mantle. It is built from 8 dust-sandy loess horizons (the forth and seventh one are weathered), divided from 7 buried soils of loess-like clays. The loess complex is 0,80 Ma BP aged (Evlogiev, 2000).

ENGINEERING-GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF LITHOLOGIC VARIETIES

Fourteen types from the lithologic varieties have been found on the territory of Silistra, which build up the floodplain terrace, slope and loess plateau (Fig. 2). Physical - mechanical indexes of the lithologic varieties are determined in result of numerous drillings (25 per km² average) and laboratory testing. The lithologic varieties have been also preserved as engineering-geological varieties (soils) almost everywhere. They consist of dispersed and rocky soils. The technogenetic embankment, delluvial clayey loess, alluvial clays and gravel, Pliocene clays and loess complex were studied from the dispersed soils. The rocky engineering-geological varieties occur in depth. The values of the presented physical-mechanical and strenght indices are average for the engineering-geological varieties (Table 1).

Technogenetic embankment. It is found ubiquitously within the boundary of the floodplain terrace. It has maximum thickness 9 m, and it becomes thin up to 3 m to the south, near the backside of the terrace. It is built of black humus clays and loess, mixed with ceramic fragments and constructional wastes. The consistency of the embankment is considered as having semi-plastic ($I_c=0,58$) to solid-plastic ($I_c=0,83$) for the determined natural water content $w_n=26,0-26,5$ %. The embankment is more compact at the forehead of the terrace and it is characterized with volume density $\rho_n=1,79$ g/cm³, volume density of the skeleton $\rho_d=1,42$ g/cm³, specific density

$\rho_s=2,76$ g/cm³, porosity $n=48,6$ %, water saturation level $S_r=0,93$ and total deformation module $E=80.10^5$ Pa. The embankment is not firm in the central part and it has the following characteristics $\rho_n=1,66$ g/cm³, $\rho_d=1,32$ g/cm³, $\rho_s=2,71$ g/cm³ $n=51,3$ %, $S_r=0,66$ and $E=60.10^5$ Pa.

Contemporary soil. It is formed within the low terrace on alluvial clays and clayey loess. It is built of dusty clays and dust-sandy clays. It is black-colored and contains organic substances. The thickness of the layer varies between 0,3 and 2 m. It is often replaced by embankments, and as a result it is considered as not well sustained. The consistency of the contemporary soil is semi-plastic ($I_c=0,75$). The physical indices have values as follows $w_n=24,8$ %, $\rho_n=2,73$ g/cm³, $\rho_d=1,89$ g/cm³, $\rho_d=1,54$ g/cm³, $n=45,1$ % and η strenght indices - angle of internal friction $\varphi=21^\circ$, cohesion $c=0,14.10^5$ Pa.

Dust-sandy clay (alluvial). It forms well sustained layer with 6-16 m thickness. It occurs at depth from 10 to 15 m. Dust-sandy clays are grey-colored, and turn to grey-beige in the upper part of the layer. They have semi-plastic consistency ($I_c=0,60$), plasticity index $I_p=15,7$, $w_n=25,5$ %, $\rho_n=1,93$ g/cm³, $\rho_d=1,54$ g/cm³, $n=43,6$ %, $S_r=0,90$, $\rho_s=2,73$ g/cm³ and $E=121.10^5$ Pa.

Coarse gravel. It occurs under the alluvial clays. It forms layer with thickness between 5 to 13 m that becomes thinner to the backside of the terrace. The gravel in the footing of the layer consists of gravel with bigger size and sandy filling. The characteristics are $\rho_d=1,90$ g/cm³, $\rho_s=2,65$ g/cm³ $n=28,3$ %, $E=600.10^5$ Pa.

Collapsible loess type I. Clayey delluvial loess from the backside of the terrace and the slanting slope belong to this type. Its thickness is between 7 and 16 m. It does not collapse under geological load and drench. It shows collapsible properties under additional load. The initial load of collapsibility is higher than the geological load for the collapsible layer ($p_{ini}>p_v$). It is characterized with $w_n=18,3-21,5$ %, $\rho_n=1,72-1,85$ g/cm³, $\rho_d=1,45-1,52$ g/cm³, $\rho_s=2,73$ g/cm³ $n=44,3-46,9$ %, coefficient of relative collapsibility $\delta_{col2}=0,020$ under $p=2.10^5$ Pa and $\delta_{col3}=0,025$ under $p=3.10^5$ Pa, $S_r=0,56-0,74$ and $E=114-135.10^5$ Pa.

Non-collapsible loess. It forms thin delluvial covering of clayey loess in the center of the floodplain terrace and abrupt slope.

The clayey loess is between 3 and 9 m thick in the center of the floodplain terrace. It occurs immediately above the water level. It is under the influence of subsurface water, when the River Danube water level is at high water position. This type of loess is non- collapsible under additional load.

The abrupt slope is also covered with not powerful (3-5 m) non-collapsible clayey loess. It occurs above the accumulated on Pliocene clay water body. Physico-mechanical properties of the layer show the following values $w_n=14,9$ %, $\rho_n=1,82$ g/cm³, $\rho_d=1,58$ g/cm³, $\rho_s=2,75$ g/cm³, $n=42,5$ %, $\delta_{col3}=0,012$ under $p=3.10^5$ Pa and $S_r=0,54$. Shallow sliding rashes may occur

there in case of violation on the slope stability from excavating works.

Collapsible loess type II. The surface part of the loess complex from loess plateau belongs to this engineering-geological variety. The thickness of the collapsible zone is 21 m. Here belong first loess horizon (L1), first buried soil (B1), second loess horizon (L2), second buried soil (B2) and third loess horizon (L3). The total collapsing under geologic load is up to 75 cm, according to Minkov (1968). The initial load for collapsing about the collapsible loess is lower than the geologic load ($p_{im} < p_Y$). All apprehensions about the security of the terrain and the constructions on it in case of collapsing derive from the condition $p_{im} < p_Y$. The indices of load-bearing will reduce its values up to three times in case of accidental moistening of the loess base. Depending on the depth of moistening several types of deformation could occur:

zone 6-8 m, $\delta_{col3} = 0,025$ under $p = 3 \cdot 10^5$ Pa, consistency semi-plastic, $E = 135 \cdot 10^5$ Pa; Dust-sandy clay – thickness 6-12 m, consistency semi-plastic, $E = 121 \cdot 10^5$ Pa; water level 8-13 m.

II district - slope processes, collapsible soils type I: 1. Loess-Pliocene complex section (LPC): Collapsible loess type I – thickness of collapsible zone 6-10 m, $\delta_{col3} = 0,025$ under $p = 3 \cdot 10^5$ Pa, $E = 150 \cdot 10^5$ Pa; Water level 5-10 m; 2. Pliocene complex section (PC): Non-collapsing loess – thickness 3-5 m, $\delta_{col3} = 0,012$ under $p = 3 \cdot 10^5$ Pa; Clays and limestone clays thickness 45 m, consistency semi-solid, $E = 200 \cdot 10^5$ Pa; Water level 5-10 m; Potential danger for development of shallow landslides and slope creeping occurrence.

III district - collapsible soils type II: 1. Loess complex section (LC): collapsible zone 21 m, total collapsing 75 cm, $\delta_{col3} = 0,035$ under p_Y (geological load), $E = 150 \cdot 10^5$ Pa, water level 37 m. 2. Reduced loess complex section (LC') – thickness of the collapsible zone 6-21 m, $E = 150 \cdot 10^5$ Pa. Other indications: OAL – old abrasive level; S - slope; T_0 – low terrace

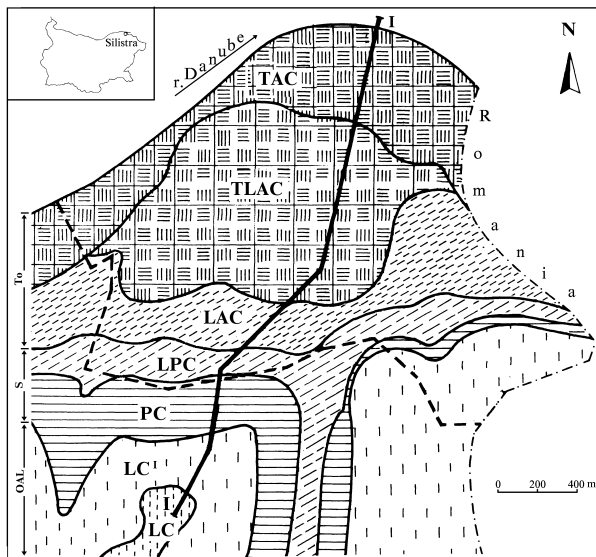


Figure 1. Engineering-geological map

I district - technogenetic, collapsible and alluvial soils: 1. Technogenetic-alluvial complex section (TAC): Technogenetic embankment – thickness up to 9 m, consistency semi-plastic, $E = 80 \cdot 10^5$ Pa; Dust-sandy clay - thickness 6-16 m, consistency semi-plastic, $E = 121 \cdot 10^5$ Pa; Gravels - thickness 5-13 m, $E = 600 \cdot 10^5$ Pa; Water level 4-6 m. 2. Technogenetic-loess-alluvial complex section (TLAC): Technogenetic embankment – thickness up to 7 m, consistency solid-plastic, $E = 60 \cdot 10^5$ Pa; Non-collapsible loess - thickness 3-9 m, consistency solid-plastic; Water level 8-13 m. 3. Loess-alluvial complex section (LAC): Collapsible loess type I – thickness of the collapsible

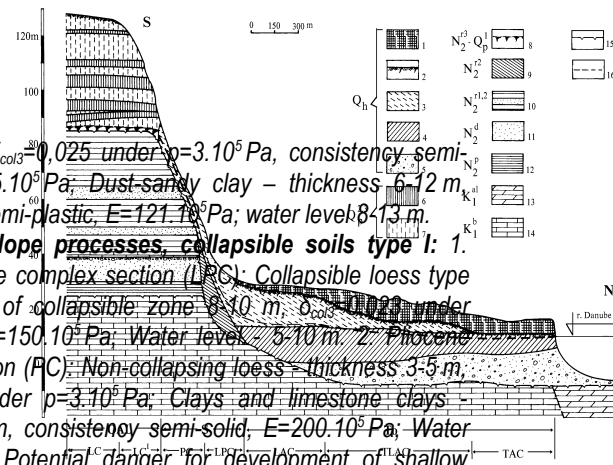


Figure 2. Geological profile I-I

1 - technogenetic embankment; 2 - clay with organic substances (contemporary soil); 3 - clayey loess (delluvial); 4 - dust-sandy clay (alluvial); 5 - coarse gravel with sand filling (alluvial); 6 - loess-like clay (fossil soil); 7 - dust-sandy loess (eolic); 8 - sandy clay, brick-red (weathering layer); 9 - clay with grey nuts and lens sand (delluvial); 10 - alternation from clays, calcareous clays and sandy layers (lacustrine); 11 - fine to mean sand (lacustrine); 12 - dust-sandy clay, layered (lacustrine); 13 - sandy marls; 14 - limestones; 15 - erosive or abrasive surface; 16 - water level; Others: OAL - old abrasive level; S - slope; T_0 - low floodplain terrace; LC - Loess complex; LC' - reduced loess complex; PC - Pliocene complex; LPC - Loess Pliocene complex; LAC - Loess alluvial complex; TLAC - technogenetic loess alluvial complex; TAC - technogenetic alluvial complex; Q_h - Holocene; $Q_p^{2,3}$ - Middle and Upper Pleistocene; $N_2^{3,2}$ - Upper Roman Lower Pleistocene; $N_2^{1,2}$ - Middle Roman; $N_2^{1,2}$ - Lower and Middle Roman; N_2^d - Dacian; N_1^p - Upper Pontian; K_1^{al} - Alb; K_1^b - Baram

1. In case of shallow moistening and presence of additional load from buildings there would be realized collapsing only in the active zone of the foundations - type I; 2. In case of moistening in depth collapsing could be provoked from geologic load only - type II; 3. In case of full water saturation of the collapsible layer both types of collapsing would be realized.

Loess horizons are built of dust-sandy loess and buried soils - of loess-like clays according to their granularity. The mean - average values of the physic-mechanical indices for collapsible zone are the following $w_n=16,8\%$, $\rho_s=2,74\text{ g/cm}^3$, $\rho_n=1,68\text{ g/cm}^3$, $\rho_d=1,44\text{ g/cm}^3$, $n=47,4\%$, $\delta_{colY}=0,035$ under p_Y (geologic load), $Sr=0,6$; $E=150\cdot 10^5\text{ Pa}$.

Sandy marls. They fill the crest-like forms in the river course and the forehead of the terrace. Their thickness varies from Table 1. Mean average values of physicommechanical characteristics of lithological varieties.

several to 72 m. The physic-mechanical indices have the following values: $\rho_s=2,67\text{ g/cm}^3$, $\rho_n=2,00\text{ g/cm}^3$, $\rho_d=1,65\text{ g/cm}^3$, porosity index $e=0,62$, angle of internal friction $\varphi=25^\circ$, cohesion $c=2,25\cdot 10^5\text{ Pa}$, $E_0=1400\cdot 10^5\text{ Pa}$.

Limestone. It occurs at absolute elevation - 6 to - 8 m in the low terrace and at absolute elevation 25 m in the slope and loess plateau. Limestone here is dense, porcelain-like, strong, light-brown to white - colored, non-uniform carstified. It is stronger carstified in its upper part, and the cavities and caverns are hollow or filled with sand and red clay. Limestone has the following physical-mechanical indices: $\rho_s=2,70\text{ g/cm}^3$, $\rho_n=2,60\text{ g/cm}^3$, $\rho_d=2,50\text{ g/cm}^3$, $e=0,08$ and strenght indices $\varphi=33^\circ$, $c=40\cdot 10^5\text{ Pa}$.

HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS

The ground waters in Silistra region are cavern-carstic and porous-gained waters.

Cavern-carstic waters. They are accumulated in limestone complex, at the age of Baram (The suite of Razgrad). The lower aquifer consists of Lower Cretaceous argillaceous limestones and marls from the suites of Gornaoriahovitsa and Razgrad. The ground waters are formed in carst hollows and caverns of limestone. The formed unconfined underground aquifer has general flow strike to the North. Infiltration from precipitated and surface water feed the aquifer. In Silistra region natural sources of draining are absent, with the exception of Srebarna lake, feed from carst waters of Baram aquifer. Viewing from qualitative aspect the waters are

hydrocarbonic-magnesium-calcium according to their chemical composition and neutral (pH=7-8). Their mineralization is 0.4-0.8 g/l in general and rarely at about 1 g/l.

Porous waters. They are accumulated in alluvial of the floodplain terrace, slope delluvial and Pliocene sandy layers. Alluvial aquifer is two-layered, its lower part have higher water permeability (sands and gravel) and the upper part have lower water permeability (sandy clays). The waters formed in the aquifer are semi-confined and unconfined one. The fluctuation of the water table depends on the water level in the Danube River bed. It is characterized with rich water quantity. The values of conductivity are between 250 and more than 1000 m^2/d . Highest values characterize the West Industrial zone of the town. Water feeding of the aquifer comes from high waters of the Danube River, Lower Cretaceous aquifer and from rainwater flowing in from the slope (slope waters) and

accumulated above the Pliocene clays. It is drained away from the Danube River during mean and low water level and from existing water extracting equipment. The mineralization of alluvial aquifer is under 1 g/l, waters have hydrocarbonic, calcium and calcium-magnesium characteristics. The water table is at 4-6 m in depth in the forehead of the terrace. The presence of technogenetic embankment and shallow ground waters results in significant difficulties for foundation works of buildings and constructions in this part of the town. The water table is at 8 to 13 m depth in the center of the floodplain terrace. The water table is higher at the backside of the terrace due to feeding from rain water, flowing in from the slope (slope waters). The aquifer of the slope is fed from infiltrated surface waters and sandy layers of the Pliocene. The aquiclude of the aquifer consists of Pliocene clay. The slope waters are accumulated at the interface between Pliocene clays and loess delluvial. They occur at depth 5-7 m at the abrupt slope and 5-10 m depth at its low part.

HAZARDOUS PHYSICAL-GEOLOGICAL PROCESSES AND PHENOMENA

Endogenetic, exogenetic and technogenetic hazardous physico-geological processes and phenomena endanger the territory and infrastructure of Silistra. Endogenetic processes are earthquakes - Silistra is situated among three seismic epicenters - Shabla, Gorna Oriahovitsa and Vrancha. Exogenetic hazardous processes are the potential dangerous shallow earth creep, slope creeping, erosion of the Danube river bank, shallow ground waters, surface erosion, flooding and marsh occurring. Technogenetic hazardous processes are the occurrence of loess soils collapsing, generation of thick embankments and terrain violation by stone-pits.

Endogenetic processes

Earthquakes. According to the macroseismic districts in Bulgaria, Silistra belongs to a region with high seismicity - VIII grade of intensity under MSK and seismic coefficient $k_c=0,15$. The town has experienced powerful earthquakes and bore damages on the buildings: from Vrancha earthquake with magnitude 7.2 in 1977, again from Vrancha earthquake $M=6.7$ and 6.1 in 1990 and from the earthquake with Strajitsa epicenter $M=5.3$ in 1986. The earthquake in 1990 damages 16 objects, including 7 public buildings, and the rest of them have been residential blocks. The first ones are buildings above 50 years of age, built up in the central part of the town, having damages on supporting walls and partitions. The second ones are 4-5 storeyed buildings with steel-concrete frames, built up in the central and south part of the town. The damages were a result of not effective construction design, combined with unfavourable engineering-geologic conditions (Karachorov, Evlogiev, Glavcheva, 1992).

Exogenetic processes

Landslides. Potential dangers of occurrence of shallow earth creeping exist in the extent of the abrupt slope. Slope waters at depth 5-7 m are accumulated at the interface between Pliocene clays and delluvial loess. The terrain is not built up, but future excavating works could create conditions about formation of shallow landslides.

Slope creeping. It occurs in the region of the Pedagogic Institute, constructed at the abrupt slope. The building covers wide area, the foundations are on Pliocene clays and loess delluvial with shallow ground waters. The deformations on the construction of the building are due to worsen of soil consistency and occurrence of unabating creeping of the ground. Not constructed vertical planning of the building gives unfavourable impact.

River erosion. The course of the River Danube is formed in alluvial deposits of the floodplain terrace. This fact makes easier the development of erosive processes. They recruit in April and May, when the water level in the river reach up to 670 cm above the pegel (6,5 m). The biggest part of the Danube bank is erosion protected by supporting wall. The only exception is the west part, where the bank is exposed to active undermine and dilution.

Shallow groundwaters. Shallow ones are porous alluvial waters, accumulated in the sediments of the floodplain terrace. They occur at depth 4-6 m at the north part of the terrace and originate difficulties at the foundation of buildings and constructions.

Surface erosion. It is developed in the slope section of the town. During Holocene in result of surface erosion loess complex was deluted and was deposited secondary as delluvial clayey loess, showing the biggest thickness in the low part of the slanting slope. The absence of contemporary soil gives evidence that this process continues until today.

Floodings. The top water levels registered in the Danube River are 740 cm above the pegel (in 1942), i.e. 13.9 m absolute elevation. Danube riverbank is at 15 m absolute elevation in the central and eastern parts of the town and it is sheltered by supporting walls. Flooding endanger west industrial zone, where there are sections with lower level at the riverside. Flooding from storm water do not endanger the territory of the town.

Marsh occurring. Occuring of temporary marshlands are observed in Aidemir lowland, on the west of Silistra. They are formed in the negative lowerings as a result of shallow ground water yielding, hydraulically tied to the Danube waters. The water is retained long time in the marshlands in result of colmatage of the negative formed beds.

Carst phenomena. Barem limestones are non-uniform carstified. Cavern carstic aquifer is formed in carst formations and caverns. The caverns are hollow or filled with sand, rarely filled with red clays. Carstifying in the upper layer of the carbonate horizon is intensive.

Technogenetic processes

Collapsibility. Loess soils are distinctive with their non-firming structure and structural non-stableness. They are inclined to collapsing under self-load and additional loads if moistened.

Technogenetic moistening have caused deformations of terrain and buildings in Kalipetrovo district, built at loess plateau - type II loess base. Constructing of industrial

structures is assured by anti-collapsible preparation of the loess base when the collapsibility of the terrain is type II - most-frequently by heavy beetle and improving foundation conditions by deep excavations and realization of concrete-soil pillows. The foundation of the TV tower Silistra is accomplished in the following order: realization of 7.7 m deep excavation; densification with heavy beetle; constructing of concrete-soil pillow and foundation on it at elevation 119.30 m. Water protection measures have been taken at the end of constructing.

Deformations from technogenetic moistening could occur only in the active zone of the foundations of buildings and structures at the regions with type I loess base. Such deformations are registered in the south part of Silistra.

The seismic influences are "operating mechanism" for occurrence of collapsibility if a technogenetic moistening of loess ground are present.

Technogenetic embankment. Larger part of Silistra territory is constructed on technogenetic embankments. At the towns center they reach 9 m depth. The embankment is non-firm and it performed unfavorable soil ground for foundation purposes. The embankment is flooding by the ground waters at high waters in the north part of the town. Under these circumstances building construction at the embankment results in deformation of these building. The new building construction is implemented with deep excavations. If the embankment overcoming is not possible, then a pile foundation is implemented.

Violation on the terrain from clay-pits. Deep excavating works in the southern part of the town have been done for the needs of the Bricks factory in the slope section. A vertical angle of friction is formed 25 m in height. There exists a danger from gravitational sliding down of the ground massive from the slope.

PRELIMINARY DATA FOR ENGINEERING-GEOLOGICAL DISTRICTS DEFINING

It is developed preliminary engineering-geological districts defining on the territory of Silistra based on the determined geomorphologic-lythostratigraphical, engineering-geological and hydrogeological conditions and the hazardous physico-geological processes and phenomena that are caused. We call it preliminary because it is foreseen including of new areas (West industrial zone and Kalipetrovo district), thickening of drillings and increasing the number of tested soil samples. Here are defined three districts, according to engineering-geological conditions and geodynamic processes occurrence. The districts are sub-divided into 2 or 3 sections, according to defined differences in engineering-geological varieties (Fig. 1):

I district – technogenetic, collapsible and alluvial soils

It covers the territory of the town, situated within the bounds of the low floodplain terrace. It is built of collapsible loess, technogenetic embankment and alluvial deposits. Hazardous geological processes for this district are earthquakes, loess collapsibility (type I), thick technogenetic embankments,

shallow ground waters, river-bank erosion, flooding, marsh occurring and carst. Three sections are separated at district I:

Technogenetic-alluvial complex section (TAC). It is situated in the northern part of the town, at the forehead of the floodplain terrace. It is built of non-firmed technogenetic embankment up to 9 m thick and alluvial deposits (dust-sandy clays and coarse gravel with sandy filling). The ground waters are shallow and occur at 4-6 m depth. The conditions for engineer structuring are difficult in the TAC section. The foundation is realized at high depth, and in case of impossible embankment overcoming, then a pile foundation is implemented. The shallow ground waters worsen the seismic conditions.

Technogenetic-loess-alluvial complex section (TLAC). It covers the central part of the floodplain terrace. It is also built of non-firm embankment 2-7 m thick. Underneath non-collapsible loess occurs, with thickness from 3 to 9 m and alluvial deposits. Loess is in the range of subsurface waters at high water in the river Danube. It is non-collapsible under additional load. The ground water table is settled at 8-13 m depth.

Loess-alluvial complex section (LAC). It covers the back part of the floodplain terrace. The technogenetic embankment has low thickness (up to 3 m), wherefore it does not cause problems to foundation process of buildings and constructions. The LAC section is built of collapsible loess type I (7-12 m) and alluvial deposits. The loess does not collapse under geological load and moistening. It shows collapsible properties under additional load, in the active foundation zone of buildings and constructions only. For the collapsing layer the initial collapsing load is higher than the geological load ($p_{in} > p_{\gamma}$). Ground waters are accumulated in deluvial loess - at depth 8-13 m. In occurrence of technogenetic moisture-overladen loess ground seismic influence provoke collapse development.

II district - development of slope processes, collapsible soils type I

It covers the slanting and abrupt slope between the floodplain terrace and loess plateau. It is built of non-collapsible loess, collapsible loess type I and Pliocene sediments. Porous slope waters are accumulated at the interface. Hazardous geological processes for the II district are earthquakes, landslides, slope creeping, collapsibility, shallow groundwaters, surface erosion and violation on the geological environment from clay-pit excavations. Based on differences in the engineering-geological conditions and geodynamic processes the district is divided into two sections:

Loess-Pliocene complex section (LPC). It is situated within the bounds of slanting slope. Its surface layer is built of collapsible loess type I, 11-16 m thick. The loess do not collapse under geological load and moistening. It shows collapsible properties under additional load. The initial load for the collapsible layer is higher than the geological load ($p_{in} > p_{\gamma}$). The loess covers Pliocene clays and sands. The ground waters occur at 5-10 m.

Pliocene complex section (PC). This is the abrupt slope section. The loess cover is thin, non-collapsible and occurs on Pliocene clays, limestone clays and sandy layers. The ground

waters are accumulated at the interface. In fulfillment of constructional or excavating works exist conditions for development of shallow landslides and slope creeping occurrence.

III district - collapsible soils type II

It covers the loess plateau territory. The loess has well defined collapsible properties. The most dangerous geological processes for the district are collapsibility and earthquakes. Two sections are defined depending on the thickness of the collapsible zone:

Loess complex section (LC). The loess complex is with its full litho-stratigraphy. The thickness of the collapsible zone is 21 m. The total collapsing under geological load is up to 75 cm. The initial load for the collapsible layer is lower than the geological load ($p_{ini} < p_{\gamma}$). The indices for load-bearing will reduce three times in case of accidental moistening of the loess ground. The ground waters are accumulated above the Pliocene clays (37 m).

Reduced loess complex section (LC'). The LC thickness is reduced. Collapsible zone is 6 - 21 m thick.

CONCLUSION

Engineering-geological conditions of the Silistra town are complicated on the average. The soil ground of the town is built of thick technogenetic embankments, collapsible loess, alluvial clays and gravel, Pliocene clays and sands and rocky underplate from Baram limestone and Alb marls. Collapsible and technogenetic soils, causing the basic difficulties in building and constructions foundation, cover the most of the studied area. The porous waters are shallow. They are accumulated in the caverns of quaternary and Pliocene deposits and additionally complicate the geotechnical conditions. The determined engineering-geological conditions combined with geomorphologic terrain particularity are precondition for occurrence of particular geodynamic processes. The territory of Silistra is endangered from endogenetic (earthquakes), exogenetic (shallow earth creeping, slope creeping, erosion of Danube riverbank, shallow ground waters, surface erosion, flooding and marsh occurrence) and technogenetic (loess soils collapse, embankment settlement, stone-pit excavations) hazardous physico-geological phenomena and processes. Based on this geological environment the territory of Silistra is divided into three engineering-geological districts, subdivided into 2 or 3 sections each.

REFERENCES

- Антонов, Хр., Д. Данчев. 1980. Подземни води в НРБ. - ДИ "Техника", София, 359 с.
- Златарски, Г. 1927. Геология на България. Унив. библи., София, 65, 266 с.
- Бончев, Г. 1942. Терънт на дунавското прибрежие в Тутраканско и Силистренско. - Сп. БАН, 65, кл. прир. мат. 32, 1-8.
- Бончев, Е., Г. Чешитев, Ю. Караюлева. 1956. Бележки върху стратиграфията на апта в Североизточна България. Изв. Геол. инст., 4, 7-76.
- Евлогиев, Й. 1988. ЕОплейстоцетът в Придунавска Северна България и границата му с неогена. - Сп. Бълг. геол. д-во, 49, №2, 37-44
- Евлогиев, Й. 1995. Границата неоген-кватернер и стратиграфия на ранния плейстоцен в Тетиса, Централния Паратетис и океана. - Сп. Бълг. геол. д-во, 56, №2, 87-104
- Евлогиев, Й. 2000. Кватернерът в Североизточна България. - Сп. Бълг. геол. д-во, 61, 1-3, 3-25
- Каменов, Б., Ил. Илиев. Трудове върху геологията на България, кн. 2. Инженерногеоложко райониране на България. - БАН, Геол. институт
- Карачоров, П., Й. Евлогиев, Р. Главчева. 1996. Последствия от земетресението Вранча - 1990 г. в Североизточна България. - (под печат).
- Коюмджиева, Ем., Н. Попов. 1987. Сарматские моллюсковые сообщества Северо-Восточной Болгарии. - Палеонт., стратигр. и литол. 24, 60-69.
- Минков, М. 1968. Лъсът в Северна България. С., БАН, 192.
- Минков, М., П. Дончев, Й. Евлогиев. 1985. Земната основа на град Силистра. - Научно-техническа конференция "Земната основа на нашия град", Русе
- Попов, Н. 1964. Стратиграфия на кватернера в Северозападна България. - Изв. НИГИ, 217-231.
- Попов, Н., Ем. Коюмджиева. 1987. Миоценът в Североизточна България (литостратиграфска подялба и геоложко развитие). - Сп. Бълг. геол. д-во, 48, №3, 15-33.
- Попов, Н. 1993. Литостратиграфия на неогенските седименти в Русенско и Силистренско. - Сп. Бълг. геол. д-во, 54, №1, 65-70.
- Станчева, М. 1966. Бележки върху стратиграфията и остракодната фауна на плиоцена и постплиоцена в Силистренско. - Изв. Геол. инст., 15, 205-229.
- Стойков, С., С. Бресковски. 1966. Плиоценът в част от Силистренско. - Год. СУ, Геол. геогр. Фак., 59, 1, Геология, 69-76.
- Филипов, Л., Л. Микова. 1967. Кватернерните отложения в част от Северна България между реките Осъм и Янтра. - Год. Комитет геол., 57-74.
- Филипов, Л., Л. Микова. 1977. Плейстоценът между долините на реките Янтра и Русенски Лом. - Сп. Бълг. геол. д-во, 38, №3, 235-250.
- Филипов, Л., Л. Микова. 1983. Кватернерните отложения в Добруджа. - Сп. Бълг. геол. д-во, №2, 149-157.
- Филипов, Л. 1995. Обяснителна записка към геоложка карта на България. Картни листове Тутракан и Силистра. - Геология и геофизика, София, 22 с.
- Яранов, Д. 1956. Лъсът и лъсовите седименти в България. - Изв. почв. Инст., 4, 37-76.
- Яранов, Д. 1961. Границата плиоцен-плейстоцен и стратиграфията на кватернера в България. - Сп. Бълг. геол. д-во, №2, 187-204.

*Recommended for publication by Department
of Hydrogeology and Engineering Geology, Faculty of Geology*