

Геол. ан. Балк. полуос. Ann. Géol. Penins. Balk.	59	1	261-285	Београд, децембар 1995 Belgrade, Decembre 1995
---	----	---	---------	---

УДК 550.423:552.524(497.11)

Оригинални научни рад

ГЕОХЕМИЈСКО-МИНЕРАЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ЛЕСА ГОРЊЕГ ЗЕМУНА

од

Адама Даигића*

Лес и лесни седименти су широко распрострањене квартарне формације у Панонској низији и њеном ободу, али има мало података о њиховим минералошким и геохемијским карактеристикама. Рад приказује резултате проучавања једног од значајних локалитета развића леса на ЈЗ ободу Панонске низије - лесног платоа Горњег Земуна. Проучен је укупно 31 узорак (26 узорака леса, 4 погребених земаља и 1 лесодне глине, из 11 бушотина) из виших нивоа лесне серије. У саставу леса заступљени су кварц, калцит (трагови до 16%), доломит, фелдспати (плагиокласи), хлорит и монтморијонит. Проучени су хемијски састав леса (9 узорака) и погребене земље (1 узорак) и садржаји микроелемената у свим проучаваним узорцима. На основу варијационих дијаграма одговарајућих компоненти разматрани су геохемијски процеси везани за образовање и пост-генетске промене лесне серије.

Кључне речи: лес, погребене земље, Горњи Земун, Панонски басен, минералогија, хемијски састав, микроелементи, геохемија, варијациони дијаграми.

УВОД

Лес и лесни седименти су једна од најраспрострањенијих квартарних геолошких формација у средњој Европи. Код нас су широко заступљени у Панонској низији а местимично су развијени и јужно од Саве и Дунава. Међутим, и поред овако значајног развића ове формације, мало је података о њеним минералошким и геохемијским карактеристикама.

У ширем подручју Београда лесна формација је добро развијена на просторима Земуна и Бежаније, на која се све више шири урбано језгро града, а лесни плато Горњег Земуна је и један од значајних локалитета развића леса на јужном ободу Панонске низије. На лесном платоу Горњег Земуна изведе-на су последњих година, у оквиру истраживања геотехничких карактеристика терена за изградњу зграда и индустријских објеката (пројектовао и водио

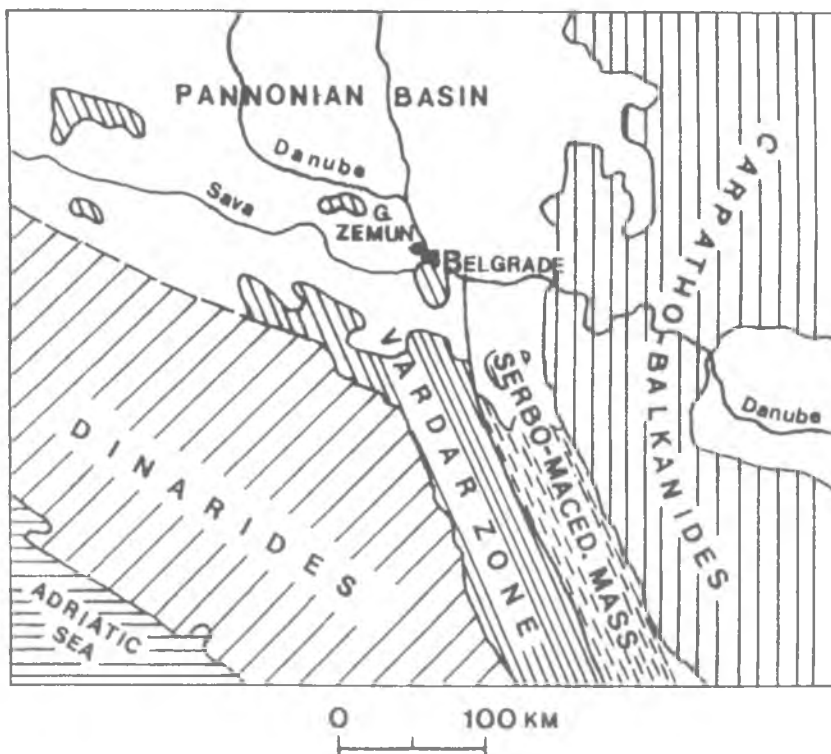
* Рударско- геолошки факултет, Универзитета у Београду, Лаб. за геохемију, Бушина 7, 11000 Београд, Југославија.

"Косовопроект", руководилац Инж. Олга Исаковић) обимнија истражна бушења. Лесни материјали из бушотина подвргнути су, уз геотехничка, и одређеним минералошким и геохемијским истраживањима (Dangić, 1986).

Овај рад приказује минералошко–геохемијске карактеристике леса лесног платоа Горњег Земунa, добијене допуњеним и комплетнијим проучавањима материјала из профила истражних бушотина.

ОСНОВИИ ГЕОЛОШКИ ПОДАЦИ

Плато Горњег Земунa се налази на територији града Београда, и то на делу који припада Панонској низији. Смештен између Саве и Дунава, представља крајњи јужни, ободни, део Панонског неогеног басена (сл. 1).



Сл. 1. Географски и геотектонски положај проучаваног подручја.

Fig. 1. Geographic and geotectonic position of the studied area.

У ширем подручју Београда, које обухвата и плато Горњег Земунa, заступљене су геолошке формације мезозојске, неогене и квартарне старости. Геолошке формације мезозојске старости се појављују јужно од Саве и Дунава и углавном су везане за шумадијску мезозојско–серпентинску греду, коју изграђују уз серпентините и тријаски, јурски и кредни седименти. Северно

од Саве и Дунава ове формације су откривене дубинским бушењем, испод неогених седимената Панонског басена (Sajković, 1990).

Неоген је представљен седиментним формацијама депонованим са прекидима од бурдигала–хелвета до горњег плиоцена, као и магматским степама (гарнидиорити, дацити, апдезити) миоценске старости (Пантић, 1987). Горњи миоцен се појављује на широком простору, представљен седиментима сармата и паона, развијеним у сличним фацијама (глине, лапори, кречњаци, пескови). Плиоцен се не појављује на ужем подручју Београда, али је значајно развијен и ка југу (седименти понта, местимично са угљем, у подручјима посаво–тамнавском и грочанско–смедеревском) и северно од Саве и Дунава ("палудински слојеви", језерске насlage млађих одељака плиоцена). Северно од Саве и Дунава плиоциенски седименти су широко распрострањени испод леса. На ужем подручју града Београда на седиментима паона откривене су фосилне (плиоценске) коре распадања (Dangić, 1985–86; Dangić i Oskoljić, 1992).

Квартар је представљен плеистоценским и холоценским седиментима, који указују на периглацијалне услове (Димитријевић и Павловић, 1987). Доњи плеистоцен није поуздано утврђен, а могле би да му припадају пеке савске и дунавске терасе; средњи плеистоцен је представљен шпире распрострањеном серијом речно–језерских кластичних седимената. Горњи плеистоцен је представљен еолским седиментима – акватичним лесноидним седиментима и лесом. Акватични седименти су малог распрострањења, леже испод леса, а изграђују их алеврити, несковити и шљунковити алеврити и глине.

Лесна формација је широко распрострањена у Панонском басену, а делом је развијена и јужно од Саве и Дунава. Образована је као периглацијална еолска творевина и представљена је лесом и барским лесом (мање распрострањено). Део ове формације је био и јединствен београдско–земунско–сремски лесни плато. Лесне насlage су дебљине до 20 m, заступљено је више лесних хоризоната (8) раздвојених танким прослојцима погребене земље (тамније боје); на подручју Земуна утврђено је 5 лесних хоризоната, а јужно од Саве и Дунава 2–3, изузетно и 4 (Ласкарев, 1962; Димитријевић и Павловић, 1987).

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДИ ПРОУЧАВАЊА

Лесна формација лесног платоа Горњег Земуна проучена је преко материјала из 11 истражних бушотина, који су представљали узорке леса, погребене земље (фосилии продукти површинског распадања леса) и лесноидне глине. Проучено је 26 узорака леса, 4 узорка погребене земље и један узорак лесноидне глине, дакле укупно 31 узорак.

У оквиру лабораторијских истраживања проучене су физичке, минералошке и геохемијске карактеристике ових материјала. У минералошким истраживањима примењене су микроскопија (бинокулар), рендгенске и термичке анализе и калциметрија. У рендгенској дифракционој анализи при-

мењен је метод дијаграма праха. Дијаграми су добијени на дифрактометару Philips PW-1050/25 са генератором PW-1730, коришћени су $\text{CuK}\alpha$ зрачење, графитни монохроматор и брзина сканирања $2\theta=2^\circ/\text{мин}$. Апалнизирани су комплетни узорци и различите фракције, а за детерминацију минерала глина коришћени су и оријентисани препарати и одговарајућа третирања (са етил-лен-гликолом и термичка).

У геохемијским истраживањима примењене су силикатна анализа, спектрохемијска анализа (емисиона спектрографија) и одређивање "абразивних" рН и Eh.

Емисионо-спектрографском анализом је одређиван садржај микроелемената. Спектрограми су снимани на високодисперзном спектрографу са укрштеном дисперзијом СТЕ-1 (СССР), а пробе су побуђиване у плазми једносмерног лука у контролисаној атмосфери ($\text{Ar}+\text{O}_2$). Целокупна прецизност и тачност метода (контролисане преко Ge као унутрашњег стандарда и геохемијских референтних стандарда) су износиле $\pm 12\%$.

За одређивање "абразивних" рН и Eh узорци су припремани засићењем спрашеног материјала водом, преко траке филтер папира, у ексикатору, током 24 сата.

РЕЗУЛТАТИ

Физичке карактеристике

Узорци леса, погребене земље и лесондне глине разликују се у извесној мери по својим физичким карактеристикама.

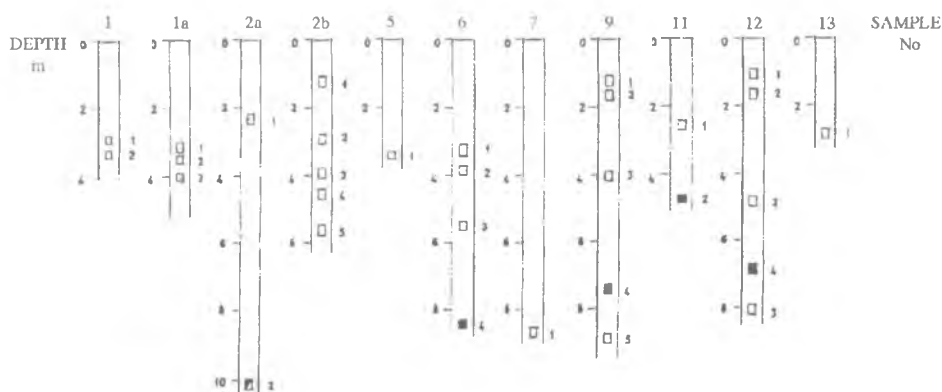
Узорци леса имају карактеристике типичног копненог леса. Боја им варира од светложућкасте до жућкастомрке. Одликују се фином порозиошћу, али се појављују и шупљине, углавном цевастог облика, местимично и са остацима биљног материјала. У неким узорцима су заступљене и карбонатне конкреције ("лесне лутке"), величине и до $n \times cm$. Материјал у сувом стању (осушен на собној температури) је значајне чврстоће. Узорци погребене земље су жутоцрвенкасте до мркоцрвене боје и мање порозни, као и лесондна глина, која је светложућкасте боје.

Минералогија

Микроскопски (под бинокуларом) је проучено 5 одабраних узорака леса (са садржајем CaCO_3 у опсегу од 4–16%). Анализирана је песковита фракција узорака ($>0,1 \text{ mm}$). У свим узорцима утврђени су: кварц, калцит, фелдспат и лискупски минерали (мусковит, алтернанс биотит).

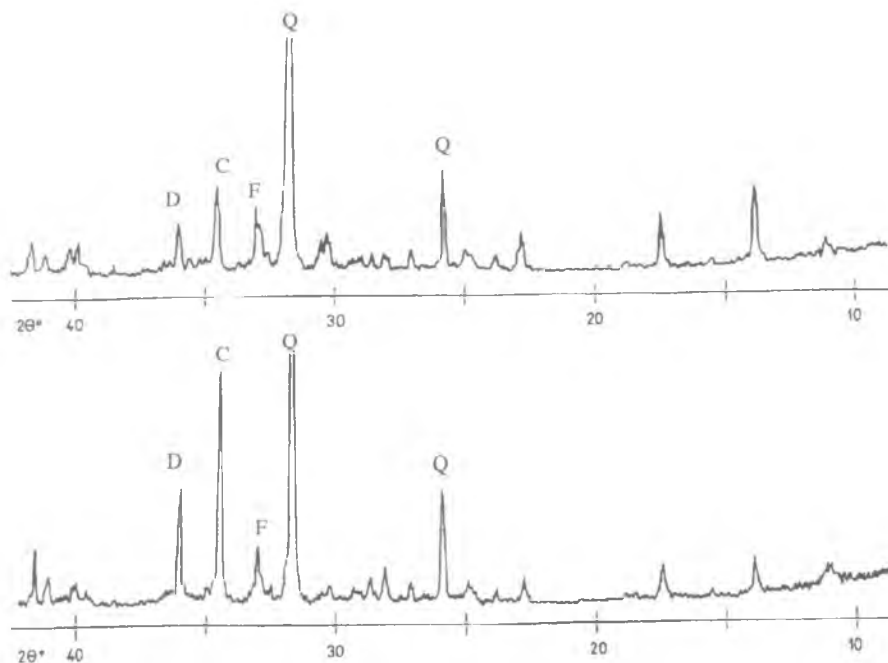
Рендгенском дифракционом анализом проучени су интегрални материјали и фракције $<2 \mu\text{m}$ узорака леса (5 узорака), погребене земље (2) и лесондне глине (1) (сл. 2–4).

У рендгенским дијаграмима интегралног материјала (сл. 2) поуздано су утврђени следећи минерали: кварц, калцит, доломит, фелдспат (албит,



Сл. 2. Профили бушотина са положајима проучаваних узорака, лесни плато Горњег Земунa, локалитет Горњи Земун. Узорци: □ – лес; ◐ – лесна глина; ■ – погребена земља.

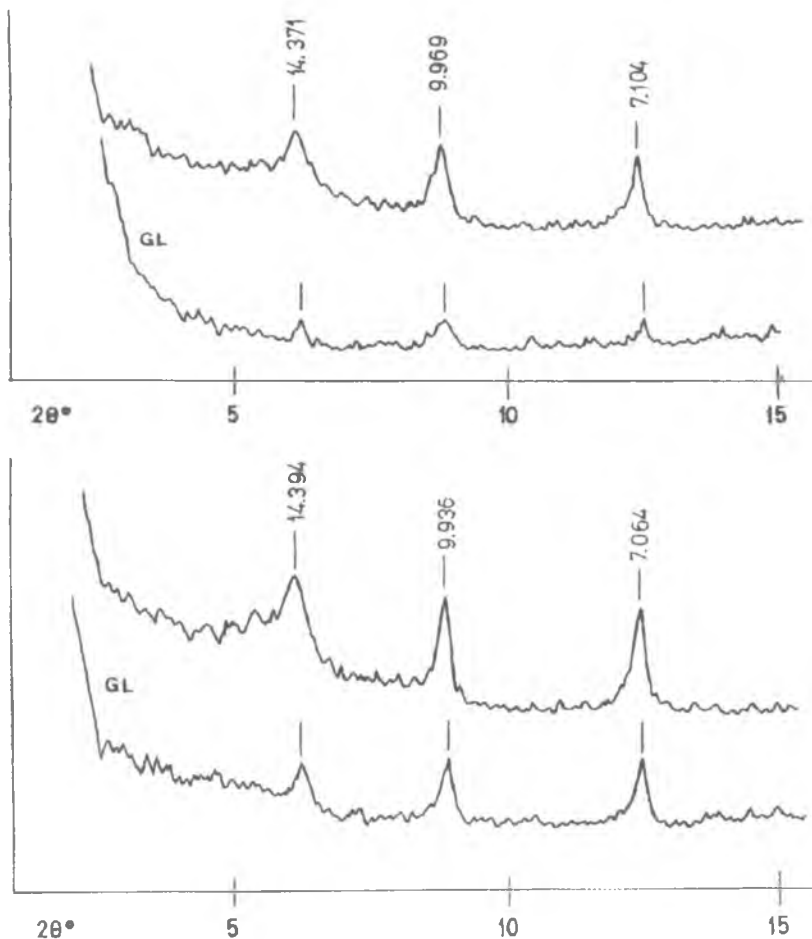
Fig. 2. Bore hole section with position of the studied samples, the Gornji Zemun loess plateau, Gornji Zemun locality. Samples: □ – loess; ◐ – loessal clay; ■ – buried soil.



Сл. 3. Дијаграми рендгенске дифракције праха узорака леса. Горе – узорак из бушотине ГЗ-1, са дубине 2,8–3,0 m. Доле – узорак из бушотине ГЗ-9, дубина 1,1–1,4 m. Q= кварц; C= калцит; D= доломит; F= фелдспат.

Fig. 3. X-ray powder diffraction pattern of loess samples. Upper– sample from the bore hole GZ1, depth 2,8–3,0 m; Lower– sample from the bore hole GZ9, depth 1,1–1,4 m. Q= Quartz; C= calcite; D= dolomite; F= feldspar.

анортит), амфибол, илит, хлорит. Анализе фракција $<2 \mu\text{m}$ као и различита третирања указују и на могуће присуство смектита (монтморијонита) и халојзита.



Сл. 4. Дијаграми рендгенске дифракције праха глиновите фракције ($<2 \mu\text{m}$) узорака леса: оријентисани препарати, нетретирани и третирани са гликолом (ГЛ). Горе – узорак из бушотине ГЗ–9, са дубине 1,1–1,4 м; Доле – узорак из бушотине ГЗ–12, дубина 1,5–1,8 м.

Fig. 4. X-ray powder diffraction pattern of clay fraction, oriented samples, untreated and treated with ethylen glycol. Upper– sample from the bore hole GZ–9, depth 1,1–1,4 m; Lower– sample from the bore hole GZ–12, depth 1,5–1,8 m.

Кварц. У свим узорцима је један од најзаступљенијих минерала, како у песковитој тако и у финијим (прашинастој и глиновитој) фракцији леса, а значајно је заступљен и у лесоидној глини и иогребеној земљи. У песковитој фракцији заступљени су фрагменти кварца различитих димензија, облика и боја.

Карбонати. Рендгепском анализом су у свим проучаваним узорцима леса поуздано детерминисани калцит и доломит, и то у варијабилним садржајима; калцит је знатно заступљенија фаза. Садржај калцита је одређен калциметријском анализом у свим узорцима – лесу, погребеној земљи и лесоидној глини (табела 1). У лесу (26 узорака), калцит је заступљен у садржајима од трагова до 16%. Заступљене су значајне варијације садржаја калцита како у вертикалном правцу (профили бушотина) тако и у хоризонталном: напр., опсеги садржаја калцита за бушотину ГЗ–2Б (5 узорака) су трагови–3,37%, а за бушотину ГЗ–9 (4 узорка) 2,77 – 16,01%. У погребеној земљи (4 узорка) калцит се појављује од трагова до 3,30%, а у узорку лесоидне глине присутан је у траговима.

Табела 1. Садржај калцита (CaCO_3 –минерала) у узорцима леса, лесоидне глине и погребене земље Горњег Земуна.¹

Table 1. Content of calcite (CaCO_3 –minerals) in loess, loessal clay, and buried soil samples from the Gomji Zemun from loess complex.¹

No.	Материјал и бушотина Materials and bore holes	Узорака Samples	% Калцита Calcite
	Лес (Loess):		
1-2	GZ– 1	2	4,12–4,21
3-5	GZ– 1A	3	0,84–4,21
6	GZ– 2A	1	7,37
7-11	GZ– 2B	5	tr.2–3,37
12	GZ– 5	1	1,45
13-15	GZ– 6	3	1,46–4,21
16	GZ– 7	1	7,39
17-20	GZ– 9	4	2,77–16,01
21	GZ– 11	1	5,79
22-25	GZ– 12	4	6,74–10,1
26	GZ– 13	1	2,64
	Лесоидна глина (Loessal clay):		
27	GZ– 2A	1	0,67
	Погребена земља (Buried soil):		
28	GZ– 6	1	tr.
29	GZ– 9	1	4,86
30	GZ– 11	1	4,21
31	GZ– 12	1	3,30
1-31	Сви узорци (All samples)	31	tr.–16,01

1- Калциметријска анализа (Calcimetric analysis)

2- Трагови (Traces).

Фелдспати. Поуздано су детерминисани рендгепском анализом преко већег броја рефлексија, које указују да се ради о плагиокласима (идентификовани анортит и албит).

Амфибол. Идентификован је преко неколико главних рефлексија малог интензитета у узорцима леса – заступљен је у малим садржајима.

Минерали глина. Рентгенском анализом, у дијаграмима праха интеграл-

них узорака и глиновите фракције (уз одговарајућа третирања) поуздано су детерминисани илит и хлорит; заступљени су у различитим пропорцијама и представљају главне минерале глиновите фракције. Дијаграми праха глиновите фракције неких узорака (после третиранија са етиленгликолом) указују на могуће присуство и малих количина монтмориониита или неког интерстратификованог (mixed-layer) минерала; у неким узорцима је могуће и присуство халојзита. За поуздане одредбе ових минерала неопходна су даља истраживања.

Геохемија

У оквиру геохемијских проучавања апализирани су макрохемијски састав (садржај главних елемената) и садржај микроелемената и одређени су "абразивни" pH и Eh узорака леса, лесоидне глине и погребене земље.

Хемијски састав (главни елементи)

Проучен је хемијски састав 9 узорака леса и једног узорка погребене земље (Табеле 2 и 3).

Табела 2. Хемијски састав (у %) леса Горњег Земунa (9 узорака).

Table 2. Chemical composition (in %) of loess from the Gornji Zemun (9 samples)

	Опсег (Range)	$\bar{x}$	$\pm s$
SiO ₂	38,26 – 58,64	47,23	7,15
TiO ₂	0,09 – 0,13	0,11	0,01
Al ₂ O ₃	6,32 – 21,01	13,88	4,65
Fe ₂ O ₃	3,35 – 4,85	4,35	0,44
MnO	0,19 – 0,26	0,25	0,02
MgO	4,55 – 9,24	6,99	1,41
CaO	15,02 – 21,08	17,10	2,04
Na ₂ O	0,90 – 1,22	1,04	0,11
K ₂ O	1,36 – 2,06	1,57	0,21
P ₂ O ₅	tr – 0,35	0,17	0,11
CO ₂	0,37 – 7,04	2,51	1,94
H ₂ O ⁺	1,63 – 6,93	3,77	1,42
H ₂ O ⁻	0,63 – 1,34	1,04	0,22

$\bar{x}$ = Аритметичка средина (Arithmetic mean)

s = Стандардна девијација (Standard deviation)

Лес и погребена земља су, генерално узев, веома сличног хемијског састава. Карактеришу их доминантна заступљеност SiO₂, CaO и Al₂O₃, значајна заступљеност MgO, Fe₂O₃, CO₂ и K₂O, као и нижи садржаји TiO₂, MnO, Na₂O, K₂O и P₂O₅.

У свим узорцима леса доминантно заступљена компонента је SiO₂; појављује се у опсегу садржаја од око 38,3–58,6%, а средњи садржај је 47,23±17,15% (аритметичка средина + стандардна девијација). У већини узо-

рака друга компонента по заступљености је СаО: појављује се у опсегу око 15.0–21.1%, средњи садржај је $17.10 \pm 12.04\%$. Трећу компоненту по заступљености, Al_2O_3 , карактеришу, у односу на СаО, шири опсег садржаја (6.3–21.0%) и нижи средњи садржај ($13.88 \pm 4.65\%$). Садржај MgO је у свим узорцима значајан, у опсегу је 4.6–9.2%, а средњи садржај је $6.99 \pm 11.41\%$. Садржај Fe_2O_3 је у свим узорцима мањи у односу на MgO и карактерише се уским опсегом варијација (3.4–4.9%) и средњим садржајем $4.35 \pm 10.44\%$.

Табела 3. Средњи хемијски састав леса и погребене земље Горњег Земунa (у %).

Table 3. Average chemical composition of loess and buried soil samples from the Gornji Zemun (in %).

	Лес (Loess)	Погребена земља (Buried soil)	Лес+ Погреб. земља (Loess+Buried soil)
n ¹	9	1	10
SiO ₂	47,23	43,45	46,85
TiO ₂	0,11	0,11	0,11
Al ₂ O ₃	13,88	17,11	14,20
Fe ₂ O ₃	4,35	4,68	4,49
MnO	0,25	0,25	0,25
MgO	6,99	6,88	6,98
CaO	17,10	17,96	17,18
Na ₂ O	1,04	0,95	1,03
K ₂ O	1,57	1,40	1,55
P ₂ O ₅	0,17	0,92	0,25
CO ₂	2,51	1,85	2,44
H ₂ O ⁺	3,77	4,28	3,89
H ₂ O	1,04	1,00	1,04

1 = Број узорака (Number of samples)

Садржаји TiO₂ и MnO су изразито ниски и са уским опсезима варијација. Средњи садржаји су: TiO₂ је $0.11 \pm 0.01\%$, MnO $0.25 \pm 0.02\%$. Садржаји алкалних метала су ниски, али је K₂O у свим узорцима заступљенија компонента. Опсег садржаја K₂O је 1.4–2.1%, а средња вредност је $1.57 \pm 0.21\%$; садржаји H₂O⁺ су у опсегу 0.9–1.2%, средњи садржај је $1.04 \pm 0.11\%$.

Садржаји CO₂ и H₂O⁺ су слични: CO₂ у опсегу 0.4–7.0%, а средњи садржај је $2.51 \pm 1.94\%$, H₂O⁺ у опсегу 1.6–6.9%, са средњим садржајем $3.77 \pm 1.42\%$.

Садржај P₂O₅ је у свим узорцима изразито низак – од трагова до 0.35%, а средња вредност $0.17 \pm 0.11\%$. Садржај H₂O је такође низак, у опсегу 0.6–1.3%, са средњом вредношћу 1.04%.

У погребеној земљи (табела 3) садржаји скоро свих компоненти, изузев P₂O₅, су у опсегу варијација садржаја у лесу. Садржај P₂O₅ је 0.92 %, за око 2.6 пута већи од највише вредности у лесу. Садржаји већине компоненти су веома блиски средњим вредностима у лесу (средњи лес). У односу на средњи лес, садржаји SiO₂ (43.5%) и CO₂ (1.9%) су нижи, а садржаји Al₂O₃ (17.1%),

Fe_2O_3 (4.7%) и CaO (18.0%) и H_2O^+ (4.3%) су виши. Средњи састав свих 10 узорака (табела 3) практично одговара саставу средњег леса – пајзначајнија су извесна повећања садржаја алуминије и фосфора.

Микроелементи

Проучавање садржаја микроелемената обухватило је лес, лесоидну глину и погребену земљу. Анализиран је укупно 31 узорак: 26 узорака леса, 4 узорка погребене земље и 1 узорак лесоидне глинне; анализирана је такође и глиновита фракција једног узорка леса (Табеле 4–6).

У анализираним узорцима су детектовани садржаји Ag , B , Ba , Be , Co , Cr , Cu , Ga , La , Mn , Ni , Pb , Sc , Sr , V , Y , Zn и Zr .

У свим узорцима леса детектовани су: Ba , Cr , Cu , Ga , Mn , Ni , Sc , Sr , V и Zr (Табела 4). Остали елементи су детектовани у различитом броју узорака: B у 22, La и Y у 17, Co и V у 16, Zn у 9 и Ag и Be у по 2 узорка. У садржајима до преко 1000 ppm заступљени су Mn и Sr , до 1000 ppm Ba , до 500 ppm Zr , до 200 ppm B , Cr , Ni и V , до 100 ppm La , Y и Zn , до 50 ppm Co , Cu , Ga , Pb и Sc , и до 5 ppm Ag и Be .

Mn , Sr и Ba су најзаступљенији микроелементи. Садржај мангана је у опсегу 320–2050 ppm, а средња вредност је 1255 ± 482 ppm (аритметичка средина + стандардна девијација). Стронцијум карактерише опсег 215–1500 ppm и средња вредност 576 ± 349 ppm, а баријум опсег 230–1000 ppm и средња вредност 591 ± 192 ppm.

Zr , B , Y , La , Sc , Ga , Be . – Садржај цирконијума је у опсегу 90–420 ppm, а средња вредност 191 ± 90 ppm. У односу на Zr , бор је заступљен у нижим садржајима (опсег <8–110 ppm, средња вредност 50 ± 28 ppm), а итријум (опсег <6–72 ppm, средња вредност 33 ± 19 ppm) и лантан (опсег <10–80 ppm средња вредност 35 ± 24 ppm) у још нижим и сличним садржајима. Садржаји скапдијума (опсег 6–36 ppm, средња вредност 16 ± 8 ppm) и галијума (опсег 6–21 ppm, средња вредност 13 ± 15 ppm) су 2–3 пута мањи у односу на Y и La . Садржај берилијума је изразито низак – <1–1,5 ppm, средња вредност <1.2 ppm.

Cr , V , Ni , Co . – Садржај хрома је у опсегу 70–175 ppm, а средњи садржај 119 ± 27 ppm. У односу на Cr , садржај ванадијума је нижи (опсег 39–155, средња вредност 97 ± 27 ppm), садржај никла знатио нижи (опсег 37–120, средњи садржај 59 ± 26 ppm), а садржај кобалта (опсег <3–22 ppm, средњи садржај 11 ± 5 ppm) изразито нижи.

Cu , Zn , Pb , Ag . – Цинк (детектован у 7 узорака) је заступљен у садржајима <30–70 ppm (средњи садржај $<31 \pm 19$ ppm). Олово и бакар су заступљени у нижим и међусобно сличним садржајима: бакар у опсегу 6–23 ppm и са средњим садржајем 13 ± 4 ppm, олово (детектовано у 16 узорака) у садржајима <4–28 ppm, са средњим садржајем 11 ± 7 ppm. Сребро (детектовано само у 2 узорка) је заступљено у садржајима до <1–3 ppm (средња вредност <1 ppm).

У циљу утврђивања начина појављивања микроелемената у лесу анали-

зираи је за један узорак сем комплетног материјала и глиновита фракција (фракција <2 м, узорак 1 из бушотине ГЗ-1).

Табела 4. Садржај микроелемената у 26 узорка леса Горњег Земуна (у mg/kg=ppm)

Table 4. Trace element content in 26 loess samples from the Gomji Zemun (in mg/kg=ppm)

	n ¹	Опсег (Range) ²	$\bar{x}$	$\pm s$
Ag	2	<1 – 3	<1	
B	22	<8 – 110	50	192
Ba	26	230 – 1000	591	192
Be	2	<1 – 1,5	<1,2	
Co	16	<3 – 22	11	5
Cr	26	70 – 175	119	27
Cu	26	6 – 23	13	5
Ga	26	6 – 21	13	4
La	17	<10 – 80	35	24
Mn	26	320 – 2050	1255	482
Ni	26	37 – 120	59	26
Pb	16	<4 – 28	11	7,1
Sc	26	6 – 36	16	8
Sr	26	215 – 1500	576	349
V	26	39 – 155	97	27
Y	17	<6 – 72	33	19
Zn	7	<30 – 70	31	19
Zr	26	90 – 420	191	90

1- Број узорак у којима је елемент детектован, у осталима је испод границе детекције. (Number of samples in that element was detected, in others is under detection limit).

2- Испод границе детекције у свим узорцима. (Bellow detection limit in all samples: Bi, Mo, Nb, Sn, W).

Табела 5. Садржај микроелемената у 4 узорка погребене земље из лесне серије Горњег Земуна (у mg/kg=ppm).

Table 5. Trace element content in 4 samples of burial soil from the loess complex of Gomji Zemun (in mg/kg=ppm).

	n ¹	Опсег (Range) ²	$\bar{x}$	$\pm s$
Ag	–	<1	<1	
B	4	25 – 60	47	17
Ba	4	300 – 760	458	161
Be	1	<1 – 1,3	<1,2	
Co	2	<3 – 20	11	7
Cr	4	110 – 150	134	13
Cu	4	11 – 19	15	4
Ga	4	11 – 17	14	3
La	2	<10 – 47	21	19
Mn	4	760 – 1900	1330	635
Ni	4	37 – 100	69	28
Pb	3	<4 – 17	12	6
Sc	4	8 – 21	15	6
Sr	4	280 – 810	552	292
V	4	60 – 110	83	21
Y	2	<6 – 37	16	16
Zn	2	<30 – 88	52	37
Zr	4	170 – 325	236	74

1- Број узорак у којима је елемент детектован, у осталима је испод границе детекције. (Number of samples in that element was detected, in others is under detection limit).

2- Испод границе детекције у свим узорцима (Bellow detection limit in all samples: Bi, Mo, Nb, Sn, W).

Глиновита фракција је у односу на комплетан материјал узорка значајно обогаћена са цинком (фактор обогаћења >5,5), бором (2.2), стронцијумом (1.7) и незнатно са баком (1.1). С друге стране, ова фракција је незнатно осиромашена са оловом (0.9), нешто значајније са никлом, скандијумом, баријумом и итријумом (0.6–0.7), значајно са хромом, ванадијумом, манганом и галијумом (0.4) и изразито са цинком (0.3).

Садржаји микроелемената у 4 узорка погребене земље приказани су на табели 5. У свим узорцима су детектовани B, Ba, Cr, Cu, Ga, Mn, Ni, Sc, Sr, V

и Zr, у 3 узорка Pb, у ио 2 узорка Co, La, Y и Zn, а у само једном узорку Be.

Доминантно заступљени микроелементи су, као и у лесу, мангаи, стронцијум и баријум. У односу на лес, средњи садржај мангана (1330 ± 636 ppm) је виши, стронцијума (552 ± 292 ppm) скоро исти а баријума (458 ± 161 ppm) нижи.

Табела 6. Средњи садржаји микроелемената у лесу, лесоидној глини и погребеној земљи у лесној серији Горњег Земуна (у mg/kg=ppm).

Table 6. Average trace element content of loess, loessal clay, and burial soil of the Gomji Zemun loess complex (in mg/kg=ppm).

	Лес (Loess)	Лесоидна глина (Loessal clay)	Погребена земља (Buried soil)
n ¹	26	1	4
Ag	<1	<1	<1
B	50	66	47
Ba	591	1000	458
Be	1,2	1,2	1,2
Co	11	5	11
Cr	119	125	134
Cu	13	19	15
Ga	13	10	14
La	35	<10	21
Mn	1255	2100	1330
Ni	59	105	69
Pb	11	<4	12
Sc	16	20	15
Sr	576	480	552
V	97	100	83
Y	33	43	23
Zn	31	<30	52
Zr	191	330	236

1– Број узорака (Number of samples). Испод границе детекције у свим узорцима (Below detection limit in all samples): Bi, Mo, Nb, Sn, W.

У односу на средње садржаје у лесу, садржаји хрома (134 ± 13 ppm) и никла (69 ± 28 ppm) су нешто виши, кобалта (11 ± 7 ppm) исти, а вапацијума (83 ± 21 ppm) нешто нижи; средњи садржаји бора (47 ± 17 ppm), скандијума (15 ± 6 ppm), галијума (14 ± 3 ppm) и берилијума (<1.2 ppm) су скоро исти, цирконијума (231 ± 74 ppm) виши а итријума (21 ± 11 ppm) нижи.

Садржај микроелемената у узорку лесоидне глине приказан је на табели 6. У односу на средње садржаје у лесу и погребеној земљи, изразито су повишени (фактор 2) садржаји баријума (1000 ppm), мангана (2100 ppm) и никла (105 ppm), а значајно су повишени и садржаји цирконијума (330 ppm) и итријума (43 ppm); с друге стране, значајно је нижи само садржај кобалта (5 ppm).

Скоро сви микроелементи имају сличне садржаје као у лесу, са ужим опсезима варијација, изузев цинка и сребра: цинк је заступљен и у нешто вишим садржајима (до 88 ppm) а сребро није детектовано ни у једном узорку.

Редокс потенцијал (E_h) и pH

"Абразивни" редокс потенцијал (E_h) и pH одређени су за све узорке леса, лесондне глине и погребених земаља. Вредности pH и E_h су сличне за све материјале и показују релативно мале варијације вредности (Табела 7).

Табела 7. Вредности "абразивних" pH и E_h узорака леса, лесондне глине и погребене земље лесне серије Горњег Земуна.¹

Table 7. "Abrasive" pH and E_h for loess, loessal clay, and buried soil samples from the Gornji Zemun loess complex.¹

No.	Материјал и бушотина (Materials and bore holes)	Узорака (Samples)	pH	E_h (mV)
	Лес (Loess):	0		
1-2	GZ- 1	2	8,02-8,11	402-420
3-5	GZ- 1A	3	7,61-8,25	410-420
6	GZ- 2A	1	7,97	438
7-11	GZ- 2B	5	7,76-8,17	389-426
12	GZ- 5	1	8,01	446
13-15	GZ- 6	3	7,62-8,24	406-424
16	GZ- 7	1	8,24	421
17-20	GZ- 9	4	7,68-8,07	410-438
21	GZ- 11	1	8,16	416
22-25	GZ- 12	4	7,93-8,28	419-424
26	GZ- 13	1	8,02	418
	Лесондна глина (Loessal clay):			
27	GZ- 2A	1	7,48	464
	Погребена земља (Buried soil):			
28	GZ- 6	1	7,58	426
29	GZ- 9	1	8,00	417
30	GZ- 11	1	8,23	418
31	GZ- 12	1	8,16	420
1-31	Сви узорци (All samples)	31	7,61-8,28	389-464

"Абразивно" pH за све узорке налазе се у опсегу 7,48-8,28. Узорке леса карактерише опсег вредности 7,61-8,28, са реалтивно малим разликама између профила бушотина. Погребене земље се карактеришу сличним опсегом вредности: 7,58-8,23 а лесондна глина има најнижу вредност pH - 7,48.

"Абразивно" E_h свих узорака је у опсегу 0,389-0,464 V. Узорке леса карактерише опсег вредности 0,389-0,446 V, са доста сличним опсезима вредности по профилима бушотина. Погребене земље се одликују нешто ужим опсегом вредности - 0,417-0,426 V, а лесондна глина има највише E_h , 0,464 V.

ДИСКУСИЈА И ЗАКЉУЧАК

Лесни плато Горњег Земуна, смештен у ширем подручју Београда, између Саве и Дунава, чини јужни обод велике лесне формације Панонске низије. У подручју Горњег Земуна изведена су миинералошка и геохемијска проуча-

вања виших нивоа лесног платоа, до дубине од 10–ак m, који представљају иадизданску зону капиларног zasiћења. У проучаваном делу лесне серпје поред леса заступљени су и погребена земља и лесоидна глина, као интра-лесне творевине (хоризонти). Проучавања су изведена на профилима 11 бушотина (са 1–5 узорака по бушотини, узетих са различитих дубина) и обухватила су 31 узорак, од чега 21 узорак леса, 4 погребене земље и једна лесоидна глина.

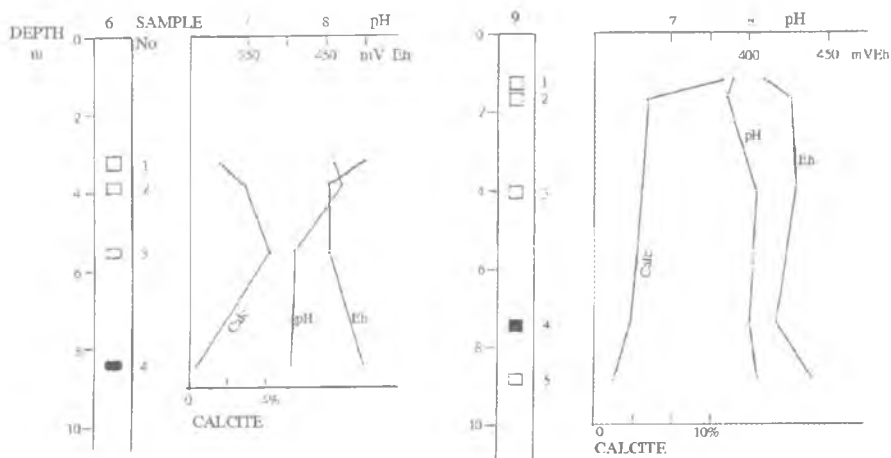
Минералошка проучавања показују да се горњи део лесне серије лесног платоа Горњег Земуна, дебљине 10–ак m, одликује релативно малим варијацијама састава. Најзаступљенија минерална фаза леса је кварц, а уз њега заступљени су и калцит, доломит, фелдспат (плагиокласи), амфибол, илит, хлорит, а могуће је да је спорадично заступљена и мала количина монтморијонита и/или интерстратификованог (mixed-layer) минерала.

Најзначајније су варијације садржаја калцита – у неким узорцима калцит је заступљен у траговима, а максималан садржај је 16%. Лесоидна глина и погребена земља у основи су сличног састава као и лес, али се одликују повећањем садржаја глиновите фракције односно минерала глина; у погребеној земљи заступљени су значајније и оксиди хидроксида гвожђа. Варијациони дијаграми за профиле бушотина на сл. 6–8 показују различите тенденције промене садржаја калцита у вертикалном правцу. Ипак, генерално узев, заступљена је тенденција извесног обогаћења калцита у највишем делу профила и значајно опадање његовог садржаја у погребеној земљи.

Геохемијска проучавања показују да лесну серију карактеришу одређене варијације садржаја и главних хемијских компоненти и микроелемената као и редокс потенцијала (Eh) и pH. Код главних хемијских компоненти, највеће варијације садржаја показују SiO_2 , Al_2O_3 и CaO, што је везано за варијације садржаја пре свега кварца, минерала глина и калцита. Садржаји свих компоненти у погребеној земљи се налазе у опсезима варијација у лесу, изузев P_2O_5 , чији садржај је значајно виши. Ипак, ако се упореди састав погребене земље са средњим лесом (табела 3), уочава се повећање садржаја у погребеној земљи и алуминије као и смањење садржаја силиције и CO_2 , што указује на процесе површинског распадања.

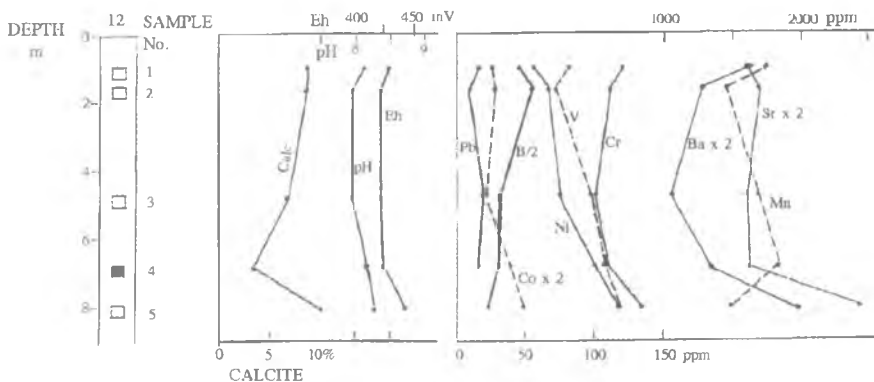
Садржаји микроелемената у лесној серији се одликују такође значајним опсегом варијација (табеле 4–6). Ипак, уочавају се неке значајне тенденције. Прва је да су у односу на лес садржаји микроелемената у погребеним земљама веома слични (главне разлике нешто повишен садржај мангана и нижи садржај баријума), а лесоидна глина показује неке значајне разлике (изразито повишени садржаји баријума, мангана и никла и нижи садржај кобалта). Друга је везана за варијационе дијаграме микроелемената у профилима бушотина (сл. 6) – на овим дијаграмима уочава се извесна тенденција обогаћења микроелемената ка бази профила, односно тенденција њихове миграције и обогаћења одозго напнже. Ова тенденција је праћена и одговарајућим променама pH и Eh у профилима (сл. 5–6). Обогаћење микроелемената у нижим деловима профила уочено је и у профилима карсних боксита (Maksi-

mović i Dangić, 1984) и корама распадања (Dangić i Оsokoljić, 1992), дакле, везано је за процесе површинског распадања.



Сл. 5. Дијаграми варијација садржаја калцита и вредности pH и Eh у профилима бушотина ГЗ-6 (лево) и ГЗ-9 (десно).

Fig. 5. Diagrams showing variations of calcite content and pH and Eh in the sections of the bore holes GZ-6 (left) and GZ-9 (right).



Сл. 6. Дијаграми варијација садржаја калцита и микроелемената и вредности pH и Eh у профили бушотине ГЗ-12.

Fig. 6. Diagrams showing variations of calcite and microelement contents and pH and Eh in the sections of the bore holes GZ-12.

Резултати геохемијско-минералошких проучавања лесне серије лесног платоа Горњег Земуна омогућавају и разматрање проблема порекла и генезе погребених земаља у лесним серијама, о чему постоје коитровверзна схва-тања: да представљају само резидиум површинског распадања леса, настао у

интервалима промене климе, или пак да је мањи или већи део материјала донет са стране (Daniels et al., 1960; Ebens and Connor, 1980). Наша истраживања указују да је погребена земља у лесној серији Горњег Земуна настала површинским расидањем леса (на месту), а да је хоризонт лесоидне глине образован услед промене не само услова деиновања већ и састава материјала приношеног на место образовања лесне серије.

Геол. ан. Балк. пол. Ann. Geol. Penins. Balk.	59	1	261-285	Београд, децембар 1995 Belgrade, Decembre 1995
--	----	---	---------	---

UDC 550.423:552.524(497.11)

Original scientific paper

GEOCHEMICAL AND MINERALOGICAL PROPERTIES OF LOESS AT GORNJI ZEMUN

by

Adam Dangić*

Loess and loessal sediments are widespread Quaternary formations in the Pannonian plain and on its margin, but few information is available about their mineralogical and geochemical properties. This work is presenting the study results for a significant locality of loess development on the SW margin of Pannonian plain - the loess plateau of Gornji Zemun. A total of 31 samples (26 of loess, 4 of buried soil, and 1 of loessal clay, from 11 boreholes) from several loess levels were analysed. The composition of loess includes quartz, calcite (traces to 16%), dolomite, feldspars (plagioclases), and monmorillonite. Chemical composition of loess (9 samples) and buried soil (1 sample) and microelement contents in all the studied samples were analysed. Variation diagrams for respective constituents were used to study geochemical processes that led to the formation and postgenetic changes in the loess series.

Key words: Loess, buried soil, Gornji Zemun, Pannonian Basin, mineralogy, chemical composition, microelements, geochemistry, variation diagrams.

INTRODUCTION

Loess and loessal sediments are one of the most widespread Quaternary geological formations in central Europe. In Yugoslavia, these formations have a large distribution in the Pannonian plain and local development south of the Sava and Danube Rivers. However, published information about their mineralogical and geochemical properties are scarce.

In the broader area of the town of Belgrade, the loess formation is well developed in Zemun and Bežanija, where the town centre is expanding, and the loess plateau of Gornji Zemun is one of significant loess localities on the southern Pannonian margin. The loess plateau of Gornji Zemun was the last few years an exploratory drilling site for the geological-engineering study for construction of houses and plant

* University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Laboratory of Geochemistry, Djušina 7, 11000 Belgrade, Yugoslavia.

buildings (designed and supervised by Kosovoprojekt, Project Engineer Olga Isaković). Apart from the engineering study, loess materials from boreholes were examined for mineral and chemical composition and geochemical properties (Dangić, 1986).

This work is presenting mineralogical and geochemical properties of loess from the Gornji Zemun loess plateau, based also on the additional data from boreholes.

BASIC GEOLOGICAL DATA

The plateau of Gornji Zemun is situated in Belgrade township, in its part which belongs to the Pannonian plain. Located between the Sava and Danube Rivers, it is an area of the extreme southern, marginal part of the Neogene Pannonian Basin (Fig. 1).

Geological formations in the broader town area, including the Gornji Zemun plateau, are of Mesozoic, Neogene and Quaternary ages. Mesozoic formations are developed south of the Sava and the Danube, dominantly associated with the Shumadian Mesozoic serpentine ridge composed by serpentine and Triassic, Jurassic and Cretaceous sediments. Similar formations were discovered by drilling, north of the Sava and Danube Rivers, under Neogene sediments of the Pannonian Basin (Sajković, 1990).

The Neogene is represented by sedimentary formations deposited with some breaks from the Burdigalian–Helvetian to the Upper Pliocene, and magmatic rocks (granodiorites, dacites, andesites) of Miocene age (Pantić, 1987). Upper Miocene formations are extensive, represented by Sarmatian and Pannonian sediments, developed in similar facies (clays, marls, limestones, sands). Pliocene deposits are lacking in Belgrade, but are significant to the south (Pontian sediments, locally with coal, in Posavina–Tamnava and Grocka–Smederevo areas) and north of the Sava and the Danube (paludine beds, lacustrine deposits of upper Pliocene division). North of these two rivers, Pliocene sediments are widespread under loess. In Belgrade proper, fossil (Pliocene) weathering crusts lie over Pannonian sediments (Dangić, 1985–86; Dangić and Ocokoljić, 1992).

Quaternary formations are represented by Pleistocene and Holocene deposits, which indicate periglacial conditions (Dimitrijević and Pavlović, 1987). Lower Pleistocene has not been ascertained and could include some Savian and Danubian terraces. The Middle Pliocene is represented by a quite widespread series of fluvial–lacustrine clastic sediments. Upper Pleistocene is represented by eolian sediments: aquatic loessal deposits and loess. Aquatic sediments have not a significant distribution, lie under loess, and consist of siltstones, sandy and gravelly siltstones, and clays.

The loessal formation is widespread in the Pannonian Basin, and partly developed south of the Sava and Danube Rivers as well. It developed south as periglacial eolian formation represented by a loess and marsh loess (less extensive). A part of this formation was the united Belgrade–Zemun–Srem loessal plateau. The loess deposits are less than 20 m thick, forming eight horizons separated by thin (darker) interbeds of buried soil; in Zemun area, five loess horizons have been recognized, and two or three or locally four occur south of the Sava and Danube Rivers (Laskarev,

1962; Dimitrijević and Pavlović, 1987).

MATERIALS AND METHODS

For the study of Gornji Zemun loess plateau, material was analysed from 11 exploratory holes, which consisted of 31 samples of loess (26), buried soil (fossil products of loess weathering, 4), and loessal clays (1).

Laboratory examinations covered physical, mineralogical and geochemical properties of the materials. Mineralogical study consisted of microscopy (binocular), X-ray and thermal analyses and calcimetry. The method of X-ray powder diffraction analysis was performed using diffractometer Philips PW-1050/25 with generator PW-1730, CuK α radiation, graphite monochromator, at scanning velocity of $2\theta=2^\circ/\text{min}$. Integral samples and various fractions were analysed, and oriented samples and respective (ethylen glycol and thermal) treatments were used for clay mineral identifications.

For geochemical studies, silicate analysis, spectrochemical analysis (emission spectrography), and establishing abrasion pH and Eh were made.

In microelement emission spectrography was used. Spectrograms were produced by a high-dispersion spectrograph STE-1 (USSR) with cross-dispersion, and samples were excited in d.c. arc, in a controlled atmosphere (Ar+O₂). The total precision and accuracy of the method (controlled by Ge as the internal standard and geochemical reference standards) was within $\pm 12\%$.

For "abrasion" pH and Eh determinations, specimens were prepared by suspension of pulverized material in water, through a filter paper band, in the exsiccator, during 24 hours.

RESULTS

Physical Properties

Samples of loess, buried soil and loessal clay differ to same extent in physical properties.

The loess samples examined have typical land loess properties, are light yellowish to yellowish-brown in colour, fine porous, often traversed by tubes, locally with plant remains. Some samples include carbonate concretions (loess dolls) up to $n \times \text{cm}$ in size. When dry (dried at room temperature), its strength is significant.

The buried soil samples are yellow reddish to brown red in colour, less porous; the loessal clay is similar less porous, only light yellowish in colour.

Mineralogy

Microscopically (under binocular), five selected loess samples (with CaCO₃ between 4% and 6%) were studied. The sand fraction ($>0.1 \text{ mm}$) of the sample was

analyzed. The minerals identified in all samples quartz, calcite, feldspar, and mica group minerals (muscovite, altered biotite).

The X-ray diffraction analysis was used to study integral materials and $<2\ \mu\text{m}$ fraction specimens of loess (5), buried soil (2), and loessal clay (1). Some of the obtained diagrams are presented in Figs 3 and 4.

In the X-ray diagrams of the integral material (Fig. 3) the following minerals were identified: quartz, calcite, dolomite, feldspar (albite, anorthite), amphibole, illite, chlorite. The $<2\ \mu\text{m}$ fraction analysis and various treatments indicate the possible presence of smectite (montmorillonite) and hallosyte (Fig. 4).

Quartz. One of the most abundant minerals in all samples, both sand and finer (silt and clay) loess fractions, and a significant mineral in loessal clay and buried soil. Quartz fragments in sand fraction vary in size and colour.

Carbonates. Variable amounts of calcite and dolomite are identified by X-ray analysis in all the examined loess samples; calcite being prevailing. The percent of calcite was established by calcimetric analysis in all samples of loess, buried soil and clay (Tab. 1). It is contained in loess (26 specimens) from trace to 16%. Calcite content significantly varies both vertically (hole sections) and horizontally: for example, calcite ranges for borehole GZ-2B (5 samples) are from traces to 3.37% and for borehole GZ-9 (4 samples) from 2.77% to 16.01%. In buried soil (4 samples), calcite content is from traces to 3.30%, and in loessal clay sample it is detected in traces.

Feldspars are identified by X-ray analysis in a number reflections which indicated plagioclases (identified anorthite and albite).

Amphibole is detected by several main reflections of low intensity in loess samples; its contents in all samples is low.

Clay minerals. X-ray analysis identified, in powder patterns of integral samples and clay fraction (with respective treatment), illite and chlorite. They are essential minerals of the clay fraction and appear in various proportions. Clay fraction powder patterns of some samples (after being treated with ethylene glycol) indicate the possible presence also of small amounts of montmorillonite or some other mixed-layer mineral; some samples may contain hallosyte. For a more reliable identification of these minerals a further study is necessary.

Geochemistry

The geochemical study included analyses of chemical composition (macroelement) and microelements contents, and determination of "abrasion" pH and Eh for loess, loessal clay and buried soil samples.

Chemical composition (macroelements)

The chemical composition was studied on nine loess and one buried soil samples (Tabs 2 and 3).

Generally, loess and buried soil have similar chemical compositions, character-

rised by prevailing SiO_2 , CaO and Al_2O_3 , significant MgO , Fe_2O_3 , CO_2 and K_2O , and lower TiO_2 , MnO , Na_2O , K_2O and P_2O_5 contents.

The dominant component in all loess samples is SiO_2 : it varies from about 38.3% to 58.6%, the average percent being $47.23 \pm 17.15\%$ (arithmetical mean + standards deviation). The second highest in most of the samples is CaO : its range is about 15.0–21.1% or average $17.10 \pm 12.04\%$. The third highest is Al_2O_3 , in a wider range (6.3–21.0%) and lower average ($13.88 \pm 4.65\%$). MgO is significant in all samples, from 4.6% to 9.2% or $6.99 \pm 11.41\%$ on average. Fe_2O_3 is lower than MnO in all samples (3.4–4.9%) or $4.35 \pm 10.44\%$ on average.

TiO_2 and MnO contents are extremely low and within narrow variation ranges. The average contents are: TiO_2 $0.11 \pm 0.01\%$, MnO $0.25 \pm 0.02\%$. Alkali metal contents are low, and K_2O is more abundant in all samples: K_2O 1.4–2.1%, average $1.57 \pm 0.21\%$; H_2O^- is contained by 0.9–1.2%, or average $1.04 \pm 0.11\%$.

Contents of CO_2 and H_2O^+ are similar: CO_2 0.4–7.0%, average $2.51 \pm 1.94\%$; H_2O^+ – 1.6–6.9%, average $3.77 \pm 1.42\%$.

Content of P_2O_5 is very low, from traces to 0.35% or average $0.17 \pm 0.11\%$, in all samples.

Almost all components of buried soil (tab. 3), excluding P_2O_5 , vary within the range similar to those of loess. The percent of P_2O_5 is 0.92%, about 2.6 times higher than the highest in loess. Most constituents approximate average percents of those in loess (average loess). Compared with average loess, SiO_2 (43.5%) and CO_2 (1.9%) are lower, and Al_2O_3 (17.1%), Fe_2O_3 (4.7%) and CaO (18.0%) and H_2O^+ (4.3%) are higher. Average compositions of all ten samples (Tab. 3) virtually correspond to that of the average loess, the most important being somewhat increased alumina and phosphorus.

Microelements

Microelements were studied in loess, loessal clay and buried soil on 31 samples: 26 of loess, 4 of buried soil, and 1 of loessal clay. Also clay fraction of a loess sample was analysed (Tabs 4–6).

The elements detected in the analysed samples are: Ag, B, Ba, Be, Co, Cr, Cu, Ga, La, Mn, Ni, Pb, Sc, Sr, V, Y, Zn, Zr.

The elements detected in all loess samples are: Ba, Cr, Cu, Ga, Mn, Ni, Sc, Sr, V and Zr (Tab. 4). Other elements were detected in different number of samples: B in 22, La and Y in 17, Co and B in 16, Zn in 9, and Ag and Be in 2 each. In concentrations over 1000 ppm were Mn and Sr, below 1000 ppm Ba, to 500 ppm Zr, to 200 ppm B, Cr, Ni and V, to 100 ppm La, Y and Zn, to 50 ppm Co, Cu, Ga, Pb and Sc, and to 5 ppm Ag and Be.

Mn, **Sr** and **Ba** are the prevailing microelements. Manganese is contained within the range 320–2050 ppm, average content 1255 ± 482 ppm (arithmetical mean + standard deviation). Strontium varies within 215–1500 ppm, or 576 ± 349 ppm on average,

and barium within 230–1000 ppm or 591 ± 192 ppm on average.

Zr, B, Y, La, Sc, Ga, Be. Zirconium concentrations vary from 90 ppm to 420 ppm, average 191 ± 90 ppm. Compared with Zr, boron is lower (<8 to 110 ppm, mean value 50 ± 28 ppm), yttrium (range <6–72 ppm, mean value 33 ± 19 ppm), and lanthanum (range <10–80 ppm, mean value 35 ± 24 ppm) in even lower or similar concentrations. The concentrations of scandium (range 6–36 ppm, average 16 ± 8 ppm) and gallium (range 6–21 ppm, average 13 ± 15 ppm) are 2–3 times lower than those of Y and La. Beryllium is very low, <1–1.5 ppm, mean value <1.3 ppm.

Cr, V, Ni, Co. Chrome is contained by 70–175 ppm, or 119 ± 27 ppm on average. vanadium is lower (39–155 ppm, average 59 ± 26 ppm), and cobalt the lowest (<3–22 ppm, average 11 ± 5 ppm).

Cu, Zn, P, Ag. Zinc (detected in 7 samples) is contained by <30–70 ppm (average concentration $<31 \pm 19$ ppm). Lead and copper are lower and found in similar concentrations: copper 6–23 ppm, or 13 ± 4 ppm on average, and lead (detected in 16 samples) <4–28 ppm, or 11 ± 7 ppm on average. Silver (detected only in 2 samples) is contained by <1–3 ppm (average <1 ppm).

In order to establish the mode of microelement occurrences in loess, clay fraction (<2 μm) of one sample from GZ-1 was additionally analysed.

The clay fraction, in relation to complete material of the sample, is enriched in zinc (enrichment factor >5.5), boron (2.2), strontium (1.7), and slightly copper (1.1), but impoverished in lead (0.9), more in nickel, scandium, barium and yttrium (0.06–0.7), significantly in chrome, vanadium, manganese and gallium (0.4), and much in zinc (0.3).

The microelement contents in 4 samples of buried soil are given in Tab. 5. The elements detected in all samples are B, Ba, Cr, Cu, Ga, Mn, Ni, Sc, Sr, V, and Zr, in 3 samples Pb, in 2 samples Co, La, Y, and Zn, and in one sample Be.

Like in loess, the dominant microelements are manganese, strontium and barium. Compared with loess, manganese concentration (1330 ± 636 ppm) is higher, strontium (552 ± 292 ppm) almost equal, and barium (458 ± 161 ppm) lower.

Compared with the mean concentrations in loess, chrome (134 ± 13 ppm) and nickel (69 ± 28 ppm) are slightly higher, cobalt (11 ± 7 ppm) equal, and vanadium (83 ± 21 ppm) somewhat lower; mean concentrations of boron (47 ± 17 ppm), scandium (15 ± 6 ppm), gallium (14 ± 3 ppm), and beryllium (<1.2 ppm) are almost equal, zirconium (231 ± 74 ppm) higher, and yttrium (21 ± 11 ppm) lower.

The concentrations of microelements in loessal clay sample are given in Tab. 6. In relation to mean concentrations in loess and buried soil, much increased (factor 2) are those of barium (1000 ppm), manganese (2100 ppm), and nickel (105 ppm), significantly higher zirconium (330 ppm) and yttrium (43 ppm); much lower is only cobalt (5 ppm).

Concentrations of almost all microelements are similar to those in loess, only in narrower variation ranges, excluding zinc and silver: zinc is slightly higher (to 88

ppm) and silver is undetected in any sample.

Redox potential (Eh) and pH

The "abrasion" redox potential (Eh) and pH are established for all samples of loess, loessal clay and buried soil. The values of pH and Eh are similar for all the materials, and their variations are relatively small (Tab. 7).

"Abrasion" pH for all samples is within the range 7.48–8.28. For loess samples it is 7.61–8.28, relatively little differing between boreholes. Buried soils vary within similar limits: 7.58–8.23, and loessal clay has the lowest pH value of 7.48.

Abrasion Eh of all samples is within 0.389–0.464 V. Loess samples have Eh values of 0.389–0.446 V, with quite similar ranges between the boreholes. Buried soils have Eh values in a narrower range (0.417–0.426 V), and loessal clay has the highest Eh of 0.464 V.

DISCUSSION AND CONCLUSION

The loess plateau of Gornji Zemun, in the broader Belgrade area, situated between the Sava and Danube Rivers, is a part of the southern margin of a large loess formation of the Pannonian plain. Upper levels of the loess plateau in Gornji Zemun, to a depth of some ten metres, forming the capillary fringe, were subject of mineralogical and geochemical studies. The examined part of the loess series, apart from loess, includes buried soil and loessal clay as intraloess formations (horizons). The assay covered 11 borehole sections (1–5 samples per hole, gathered from different depth), or a total of 31 samples: 21 of loess, 4 of buried soil and one of loessal clay.

By mineralogical study it has been found that the upper part of the loess series in the Gornji Zemun loess plateau, some 10 m thick, is quite uniform in composition. The prevailing mineral phase in loess is quartz, associated with calcite, dolomite, feldspar (plagioclases), amphibole, illite, chlorite, and possibly sporadic and low monmorillonite and/or mixed-layer mineral.

Calcite content variations are significant: from traces to the highest 16%. Loessal clay and buried soil are basically similar to loess in composition, and contain increased content of clay fraction (clay minerals); buried soil has significant concentration of iron oxyhydroxide. The variation diagrams for borehole sections in Figs 6–8 show different trends in calcite concentrations in vertical direction. Generally, there is a certain calcite enrichment trend uppermost in the sections, and its significant impoverishment in buried soil.

Geochemical studies indicate for the loess series certain variations in both macro chemical components and microelements, and in redox potential (Eh) and pH. For macro chemical components, variations are the highest in SiO_2 , Al_2O_3 and CaO , which is associated with the variations in the amounts primarily of quartz, clay minerals and calcite. Contents of all components in buried soil vary within the variation ranges for loess, excluding P_2O_5 which is much higher. However, if compared with the composition of average loess (Tab. 3), buried soil has increased alumina and

reduced silica and CO₂ contents, which indicates weathering processes.

Microelements in the loess series also vary within significant ranges (Tabs 4–6) revealing certain trends. One is that, compared with loess, microelements in buried soils are contained in similar rates (major differences are slightly increased manganese and lower barium contents), and loessal clay shows some significant differences (much increased barium, manganese, nickel, and lower cobalt contents). The other is associated with the variation diagrams of microelements in borehole sections (Fig. 6), which show certain microelement enrichment trend at the section base, i.e. their migration and downward enrichment. This trend is associated with respective changes in pH and Eh in the section (Figs 5–6). The microelement enrichment in lower parts of the section has been noted in karst bauxite sections (Maksimović and Dangić, 1984) and in weathering crusts (Dangić and Ocoklić, 1992), both associated with weathering processes.

The results of geochemical and mineralogical studies of the loess series in Gornji Zemun loess plateau allow the approach to the problem of origin and genesis of buried soils in loess series, on which the opinions are controversial: that they are only the residuum of loess weathering, formed in climatic change intervals, or that a smaller or greater portion of the material was brought from another site (Daniels et al., 1960; Ebens and Connor, 1980). Our investigations indicate that the buried soil in the loess series of Gornji Zemun was a product of loess weathering (in situ), and that the loessal clay horizon resulted from changes in the depositional conditions and the composition of yielded material in the place of loess series formation.

ЛИТЕРАТУРА – REFERENCE

- Bailey S. W., 1980: Structures of Layer Silicates. In: Brindley G. W. and Brown G. (eds) Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identification.– Mineralogical Society, 1–123, London.
- Brener R. A., 1971: Principles of Chemical Sedimentology.– McGraw-Hill Book Company, 240 p., New York.
- Brown G. and Brindley G. W. (1980) X-ray Diffraction Procedures for Clay Mineral Identification. In: Brindley G. W. and Brown G. (eds) Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identification – Mineralogical Society, 305–359, London.
- Dangić A., 1985–86: Geohemijsko–mineraloška proučavanja uzoraka stena za projekat DUP–a opštine Stari Grad u Beogradu.– Studija, Fond RGF–a i Fond Instituta za puteve, Beograd, 38 kucanih str., 6 sl., 15 tab., Beograd (nepublikovano).
- Dangić A., 1986: Geohemijsko–mineraloška proučavanja uzoraka lesa u karakterističnim bušotinama u području Gornjeg Zemuna.– Fond RGF–a i Fond preduzeća "Kosovoprojekt", Beograd, 26 ku-canih str., 6 sl., 8 tab., Beograd (nepublikovano).
- Dangić A. i Ocokoljić M., 1992: Fosilna kora raspadanja sedimenata na području starog jezgra Beograda (Dorćol).– Radovi Geoinstituta, 27, 199–213, Beograd.
- Daniels R. B., Handy R. L., Simonson G. H., 1960: Dark-colored bands in the thick loess of western Iowa – Journal of Geology, 68, 450–458.
- Димитријевић В. и Павловић М. Б. (=Dimitrijević and Pavlović), 1987: Квартар. У: Анђелковић М. (ур.) Геологија шире околине Београда, књ. I, Геологија и геодинамика.– Завод рег. геол. палеонтол., Руд.–геол. фак., Унив. Београду, 247–251, Београд.

- Ebens R. J. and Connor J. J., 1980: Geochemistry of loess and carbonate residuum – Geol. Survey Professional Paper 954-G., p. 32, Washington.
- Maksimović Z. i Dangić A., 1984: Geohemijski aspekti porekla i geneze boksita Vlasenice.– Radovi–LXXV, Odeljenje tehničkih nauka, Akademija nauka BiH, knj. 8, 139–151, Sarajevo.
- Reynolds R. C., 1980: Interstratified Clay Minerals. In: Brindley G. W. and Brown G. (eds) Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identification, Mineralogical Society, 249–303, London.
- Пантић Н. (=Pantić), 1987: Кенозоик. У: Анђелковић М. (ур.) Геологија шире околине Београда, књ. I, Геологија и геодинамика.– Завод рег. геол. палеонтол., Руд.–геол. фак., Унив. Београду, 135–138, Београд.
- Sajković I., 1990: Prilog poznavanja geološke građe područja N. Beograd–Zemun sa aspekta istraživanja geotermalnih resursa – XII kongres geol. Jugosl., knj. IV, 513–529, Ohrid.