

Геол. ан. Балк. пол. Ann. Géol. Penins. Balk.	60	1	359-376	Београд, децембар 1996 Belgrade, Decembre 1996
--	----	---	---------	---

УДК 552.517(497.11-15)

Оригинални научни рад

## ПИЗОЛИТИ У СЕДИМЕНТИМА ДОЊЕГ ТОКА РЕКЕ САВЕ

од

Миливоја Јовановића\* и Видојка Јовића\*\*

У раду су приказане седиментолошке карактеристике пизолита из доњег тока реке Саве (код Шапца). Одређен је садржај пизолита у песковитом шљунку, проучен њихов минерални и хемијски састав и дискутован њихов постанак.

**Кључне речи:** пизолит, песковити шљунак, Сава, карбонати.

### УВОД

Пизолити у рецентним седиментима били су до сада непознати у нашој литератури. Вишегодишњим испитивањем минералошко–петролошког састава природне мешавине неvezаних седимената (песак, шљунак, прах) из корита доњег тока реке Саве, утврђено је присуство знатног броја зрна са овојима – пизолита.

Пизолити су пронађени у песковитом шљунку који је експлоатисан из корита реке Саве са дубине од 9 до 12 m на месту удаљеном 300–700 m изводно од моста код Шапца. Дебљина песковитог шљунка у том делу речног корита била је око 2 m.

У фракционом агрегату који се користи за производњу бетона долази до њиховог различитог концентрисања, а истовремено и до делничног ломљења овоја на неким зрнима при просејавању. То је у великој мери помогло да се пизолити лакше идентификују и уврсте у редовне састојке песковитог шљунка доњег тока реке Саве. Ово је први налаз тих јединствених форми у слатководним, речним седиментима код нас.

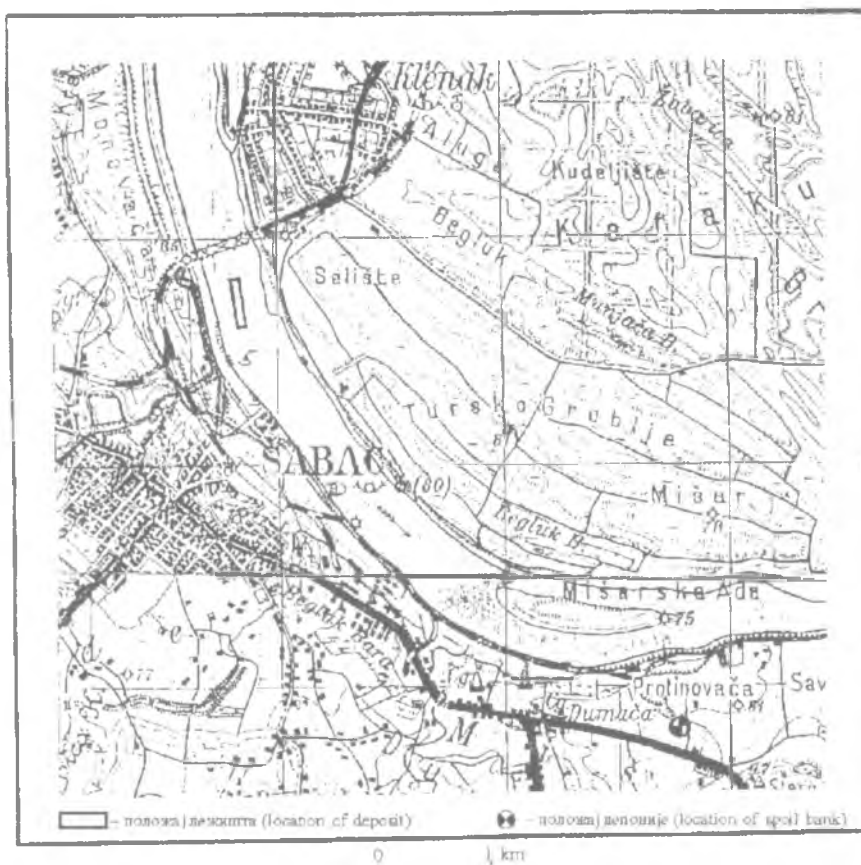
### ДЕФИНИЦИЈА И НОМЕНКЛАТУРА ПИЗОЛИТА

Пизолити представљају лоптаста до елиптична тела чији радијус прелази 2 mm (Donahue, 1969). Они се састоје од језгра и овоја у коме се понегде уочавају концентричне ламине. Овоји су најчешће изграђени од калцита и арагонита, а веома ретко од оксида мангана, хидрогетита, гинсита, лимонита, силиције и фосфата (Carozzi, 1960). Пизолити се сврставају у карбонатне седименте, и у оквиру њих у велику групу "обавијених зрна" (Wolf, 1960). Према Wolf–у (1960) и Peryt–у

\* Институт ИМС д.д., Булевар Војводе Мишића 43, Београд  
\*\* Рударско–геолошки факултет, Булевар 7, Београд.

(1983) који су извршили поделу "обавијених зрна" (coated grains), пизолити спадају у ооиде (или вадонде) од којих се једино разликују по величини (2 mm).

Овакво гледиште прихваћено је од многих аутора (Donahue, 1969). С друге стране, неки аутори као Flügel (1986) пизолите јасно раздвајају од ооида како по димензијама (2 mm) тако и по пемаринској генези. Граница између ооида и пизолита од 2 mm у прошлости је дуго била основа по којој су све форме веће од 2 mm називане пизолитима. Тако се данас префикс "piso" користи испред назива за форме чија величина износи између 2–10 mm (пизоонд).



Сл. 1. Карта положаја лежишта шљунка у кориту Саве.

Fig. 1. Map with location of the sandy gravel deposit in the showing Sava riverbed.

Пизолити се формирају у континенталим језерским и вадозно–маринским срединама. Важне континенталне средине представљају кречњачке каличе, латеритске коре (дурикраст), пећине, рудници, као и гејзири и топли извори. Језерски пизолити су познати из слатководних и из сланих језера (Braithwait, 1979). Приобалске хиперсалинске средине су места вадозно–маринских пизолита (Estaban, 1976; Peryt & Piatkowsky, 1977).

Облик пизолита зависи од услова средине њиховог стварања. Пизолити формирани у кретааним водама (пећине, гејзири) имају облике код којих су првобитне

неправилности језгра заобљене путем акреције концентричних ламина, док се код пизолита мирних вода неправилности језгра губе додавањем нових ламина, што доводи до сферичних облика.

Уз оонде и алгалне онкоиде, пизолити представљају значајне облике за интерпретацију депозиционих средина.

## ГРАНУЛОМЕТРИЈСКА ИСПИТИВАЊА ШЉУНКА ДОЊЕГ ТОКА САВЕ

Гранулометријски састав вучепог наноса шљунак–песак–прах доњег тока Саве одређен је на три узорка која су прикупиљена на депонији Г. П. "Думача" из Шапца (сл. 1).

Узорак 1 је узет методом бразде на средини чела депоније између 4. и 5. метра од горње површине етаже. Узорак 2 је прикупиљен такође методом бразде на око 5 m од горње површине етаже, а на удаљености око 120 m од узорка 1 у правцу према Сави. Узорак 3 је узет на остатку депоније ("острву") старе око 7 година тачкастом методом са свих страна "острва".

Гранулометријска испитивања вршена су помоћу два слога сита. За просејавање "крупног агрегата" (честице веће од 2 mm) коришћена су сита отвореног пречника: 125, 90, 63, 45, 31.5, 22.4 mm и 16, 11.2, 8 и 4 mm. За просејавање "ситног" агрегата послужила су округла сита такође са отворима пречника: 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125 и 0.063 mm.

Просечан састав природне мешавине шљунка доњег тока Саве на три узорка износи: шљунак 70.10 %, песак 29.51 %, прах 0.39 % и према трокомпонентном дијаграму пада у подручје песковитог шљунка. Просечна величина зрна овог независног седимента износи 12.50 mm, а просечна сортираност  $S_o = 4.73$  указује на његову врло слабу сортираност.

Одређивање садржаја пизолита у седиментима доњег тока Саве вршено је у узорцима прикупљеним на депонији. На основу добијених резултата у табели 1, у просеку на 14 kg седимента, добија се 0.6 kg пизолита, што представља око 4.5 % од укупне масе песковитог шљунка.

Табела 1. Садржај пизолита у песковитом шљунку реке Саве.

Table 1. The pisolite content in sandy gravel of the Sava river.

Бр. узорка Sample No.	Тежина узорака Sample weight (kg)	Садржај пизолита Pisolite content (kg)	%
1.	10.855	0.710	6.54
2.	10.845	0.470	4.33
3.	20.300	0.735	3.62
Средњи садржај Average content	14.000	0.638	4.56

## ОБЛИК ПИЗОЛИТА

За испитивање облика пизолитских зрна, од прикупљене масе (око 5 kg) фракције 31.5–16 mm методом случајног узорка одбројано је 30 зрна са овојем. Она су означена бројевима од 1 до 30. Ознаке  $a$  и  $a_0$  односе се на осу језгра са овојем (пизолит) и осу језгра са кога је скинут овој. Добијени резултати приказани су у табели 2.

Табела 2. Облик пизолита.  
Table 2. The shape of pisolites.

оса (axis)	број (No.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Пизолит (Pisoline)																
a		33.40	25.00	34.40	26.80	30.50	26.10	30.40	39.12	30.25	27.40	30.70	44.40	34.50	36.10	27.70
b		16.40	23.02	24.20	18.20	28.20	19.10	19.60	32.60	22.20	24.71	18.60	25.60	21.40	28.80	22.60
c		16.20	17.70	13.60	15.70	19.10	17.31	18.60	18.60	18.60	21.00	17.00	16.60	17.90	20.00	14.00
b/a		0.49	0.92	0.70	0.68	0.92	0.73	0.64	0.83	0.73	0.90	0.60	0.57	0.62	0.79	0.82
c/b		0.98	0.77	0.56	0.86	0.68	0.91	0.95	0.57	0.84	0.85	0.91	0.60	0.84	0.69	0.61
матично зрно (parent grain)																
a <sub>0</sub>		25.10	10.70	11.50	15.06	14.40	19.16	26.50	27.70	22.40	17.86	25.60	42.24	34.50	19.80	16.90
b <sub>0</sub>		11.00	9.76	5.50	8.60	11.70	12.90	18.24	21.30	12.80	14.30	15.30	24.04	21.40	17.30	8.02
c <sub>0</sub>		10.50	7.46	3.70	7.30	6.70	10.40	14.92	11.40	9.52	13.80	13.00	15.54	17.40	11.88	7.20
b <sub>0</sub> /a <sub>0</sub>		0.44	0.91	0.48	0.57	0.81	0.67	0.69	0.77	0.73	0.80	0.59	0.60	0.62	0.87	0.47
c <sub>0</sub> /b <sub>0</sub>		0.95	0.76	0.67	0.85	0.57	0.81	0.82	0.53	0.84	0.96	0.85	0.66	0.81	0.68	0.89

Табела 2. (наставак).  
Table 2. (continued)

оса (axis) број (No.)	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Пизолит (Pisolite)															
a	31.10	29.64	34.10	27.50	27.90	34.70	35.50	26.54	33.30	33.30	35.00	31.38	27.40	21.90	26.30
b	21.70	20.80	21.30	22.80	24.70	24.40	22.50	22.40	25.70	26.80	23.30	17.70	22.30	19.20	20.40
c	16.50	18.00	16.90	16.00	16.30	18.40	15.10	17.30	17.40	18.02	19.10	15.10	15.30	17.86	16.00
b/a	0.69	0.70	0.62	0.83	0.88	0.70	0.70	0.84	0.77	0.80	0.66	0.56	0.81	0.88	0.77
c/b	0.76	0.86	0.79	0.70	0.66	0.75	0.67	0.77	0.68	0.67	0.82	0.85	0.69	0.93	0.78
матично зрно (parent grain)															
a <sub>0</sub>	27.86	15.92	27.40	8.64	10.36	34.54	23.40	9.40	15.50	20.20	27.96	29.50	17.90	8.30	21.30
b <sub>0</sub>	18.80	9.90	14.80	7.00	8.60	21.80	15.60	7.06	13.50	13.30	17.20	16.54	12.46	6.64	15.10
c <sub>0</sub>	14.10	8.90	12.60	4.50	5.30	17.54	8.20	3.80	8.40	9.10	9.48	11.60	7.40	5.96	13.70
b <sub>0</sub> /a <sub>0</sub>	0.67	0.62	0.54	0.81	0.83	0.63	0.66	0.81	0.87	0.66	0.61	0.56	0.69	0.89	0.71
c <sub>0</sub> /b <sub>0</sub>	0.75	0.89	0.85	0.64	0.82	0.80	0.53	0.54	0.62	0.82	0.55	0.70	0.59	0.89	0.91

Испитивање облика вршело је методом Zingg-a (1964). По том аутору могу се издвојити четири основна облика валутака, и то на основу односа њихових оса:

$$\frac{b}{a} = \frac{\text{средња оса}}{\text{дуга оса}}, \quad \frac{c}{b} = \frac{\text{кратка оса}}{\text{средња оса}}$$

Највећи број изолита има лоптаст (сфероидан) облик. Од укупно 30 пизолита 17 (56,7 %) пада у поље лоптастих, 7 (23,3 %) у поље вретенастих, 5 (16,5 %) у поље дискоидалних, а само 1 (3,3 %) у поље плочастих зрна.

Након скидања овоја са пизолита измерене су осе матичних језгара. Шест језгра је пало у поље лоптастих зрна, два су на граничној линији између лоптастих и вретенастих, осам је дискоидално, десет вретенасто, а три плочаста. Добијени резултати указују да овоји "побољшавају" облик матичних језгара и да се јавља тенденција стварања сфероидних форми.

За одређивање заобљености и сферичности коришћена је метода Wentworth-a (1922):

$$\frac{r_1}{R} - \text{индекс заобљености}$$

$r_1$  – најмањи полупречник

$R$  – средњи пречник

$$R = \frac{D_1 + D_2}{4}$$

$D_1$  – дужица зрна

$D_2$  – ширина зрна

Одабрано је десет пизолита, а резултати су приказани у табели 3. Одређивање заобљености извршено је према класификацији Pettijohn-a (1975): 0.00–0.15 угласта, 0.15–0.25 субугласта, 0.25–0.40 субзаобљена, 0.40–0.60 заобљена и 0.60–1.00 заобљена зрна.

Табела 3. Одређивање заобљености пизолита.

Table 3. Determination of roundness of pisolites.

број (No.)	21	22	23	24	25	27	28	29	30	31
зрно (grain) са превлаком (with coat) $\left(\frac{n}{R}\right)$	0.346	0.752	0.752	0.689	0.585	0.592	0.444	0.827	0.610	0.410
без превлаке (without coat) $\left(\frac{n}{R}\right)$	0.366	0.450	0.540	0.500	0.256	0.127	0.312	0.533	0.610	0.410

број (No.)	21	22	23	24	25	27	28	29	30	31
зрно (grain)										
пизолит (pisolite)	субзаобљен subrounded	добро заобљен well rounded	добро заобљен well rounded	добро заобљен well rounded	заобљен rounded	заобље н rounded	заобљен rounded	добро заобљен well rounded	добро заобље н well rounded	заобљен rounded
матично зрно (parent grain)	заобљено rounded	заобљено rounded	заобљено rounded	заобљено rounded	субугласто- субзаобљен subangular- subrounded	угласто angular	субзаобљено subrounded	заобљено rounded	угласто angular	угласто- субугласт angular- subangular

## МИНЕРАЛОШКО–ПЕТРОЛОШКА ИСПИТИВАЊА ПЉУНКА И ПИЗОЛИТА

Минералашко–петролошка испитивања песковитог пљунка рађена су на композитном узорку који је направљен од узорака 1, 2 и 3. Испитивања су обављена по гранулометријским фракцијама (табела 4).

Табела 4. Минералшко-петрографски састав фракција пљунка.  
Table 4. Mineralogical and petrographical compositions of gravel.

Фракција (у mm) Fraction (in mm)	63-31.5	31.5-16	16-8	8-4	4-2
Тип стене или минерала Type of rock or mineral					
<b>Магматске stijene (Magmatic rocks)</b>					
Вулканисти (Volcanic rocks)	9	9	4	4	6
<b>Седиментне stijene (Sedimentary rocks)</b>					
Пешчар (Sandstone)	33	33	46	41	32
Конгломератични пешчар (Conglomeratic sandstone)	6	2	1		
Кречњак/Доломит (Limestone/Dolomite)	9	5	2		2
Рожнац (Chert)	9	9	5	7	5
Кварцитна бреча (Quartzite breccia)	1				
Пизолити (Pisolites)		1		1	
<b>Метаморфне stijene (Metamorphic rocks)</b>					
Кварцит (Quartzite)	24	13	6	16	16
Кварцни шкриљац (Quartz schist)		1	2	2	1
Гнајс (Gneiss)		1	1		
Кварц-лискунски шкриљац (Quartz-mica schist)		2	3	1	
Амфиболски шкриљац (Amphibole schist)				1	1
<b>Минерали (Minerals)</b>					
Кварц (Quartz)	9	20	20	18	36
Кварц-фелдспатска зрна (Quartz-feldspathic grains)					1

Табела 4. (наставак) Минералшко-петрографски састав песковитих фракција  
Table 4. (continued) Mineralogical and petrographical compositions of sand fraction.

Фракција (у mm) Fraction (in mm)	4-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.125	0.125-0.063
Тип стене или минерала Type of rock or mineral						
<b>Магматске stijene (Magmatic rocks)</b>						
Вулканисти (Volcanic rocks)	6	4				
<b>Седиментне stijene (Sedimentary rocks)</b>						
Пешчар (Sandstone)	32	23	12	10	8	
Кречњак (Limestone)	2	2	2	1	2	5
Рожнац (Chert)	5	17	12	9	10	16
<b>Метаморфне stijene (Metamorphic rocks)</b>						
Кварцит (Quartzite)	16	22	20	30	21	10
Кварцни шкриљац (Quartzite schist)	1		1	1	1	
Амфиболски шкриљац (Amphibole schist)	1					
<b>Минерали (Minerals)</b>						
Кварц (Quartz)	36	32	51	>47	>50	55
Кварц-фелдспатска зрна (Quartz-feldspathic grains)	1		<1	<1	<1	
Фелдспат (Feldspar)			<1	<1	2	5
Лискун (Mica)					<1	6
Кварц-лискунска зрна (Quartz-mica grains)					<1	<1
Амфибол (Amphibole)					<1	<1
Грајат (Garnet)					<1	<1
Калцит (Calcite)					<1	8

Садржај валутака стена или минерала у фракцијама 63–31.5 mm, 31.5–16 mm, 8–16 mm и 4–8 mm изражен је у масеним процентима, а у фракцијама 4–2, 2–1, 1–0.5, 0.5–0.25 и 0.25–0.125 mm у процентима (као број зрна методом случајног узорка).

У фракцијама крупног агрегата запажа се да преовлађују валуци седиментних стена (54–64 %), затим метаморфских стена (12–24 %), а најмањи садржај је одломака кварца (9–20 %) и вулканских стена (4–9 %). У песковитој фракцији повећана је заступљеност кварца (32–>50 %) и метаморфских стена (10–31 %), док су седиментне и вулканске стене мање заступљене него у фракцији шљунка.

Пизолити у шљунковитој фракцији појављују се у зрнима (табла 1, сл. 1) чија величина варира од 5 mm до неколико сантиметара (гигантски пизолит 21 cm; табла 1, сл. 2). Израђени су од два основна дела: примарног зрна (језгро) које најчешће чини одломак стене или организма (шкољке и пужеви), и секундарног дела – белчастог, светлосмеђег, а ређе црног карбонатног овоја око језгра. Пизолитски овој одликује се храпавом и неравном површином која је веома порозна и трошна, што га уједно и највише разликује од осталог шљунка.

Облик пизолита варира од потпуно неправилног до идеалног округластог и у великој мери зависи од дебљине овоја. Тако код пизолита који имају овој и до неколико пута дељни од примарног језгра чешће су правилније форме.

Код већине пизолита на попречном пресеку јасно се уочавају изражене концентричне ламине око језгра (табла 1, сл. 2; табла 2, сл. 1). Број тих ламина као и њихова дебљина, варира од пизолита до пизолита. Концентричне ламине у оквиру једног овоја обично су приближних димензија, а оне најближе језгру прате његов облик. Оне су једна од друге одвојене танким и веома компактним материјалом, дебљине најчешће 1–2 mm и тамније боје (највероватније од Mn или Fe) него околна карбонатна средина. Посматрајући ламине од спољних ка унутрашњим деловима овоја уочавају се неке битне разлике међу њима. Спољне ламине су мекше, порозне и трошне, док се унутрашње ламине, нарочито оне најближе језгру, одликују великом компактношћу и тврдином карбонатног материјала.

У шупљинама, којих има највише у спољним деловима овоја, често се запажају ситна зрна кварца, доломита и калцита, као и мање лиске лискуна.

Матична језгра показују различите облике, и то од неправилног до ретко добро заобљеног. Димензије језгра су од неколико милиметара до неколико сантиметара.

Микроскопска проучавања пизолита вршена су на 5 узорака. Због уједначеног састава и облика могу се извући опште минераложке карактеристике за све узорке. Матична језгра најчешће су израђена од валутака пешчара, кварцита, рожнаца, вулканита, ређе кречњака, одломака љуштурса фосила или целих фосила (пужева и шкољки).

Овоји су израђени од микрита са екстракластима кварца, калцита и фелдспата у шупљинама. Кварц и калцит се најчешће појављују у неправилним зрнима чија је величина око 0,1 × 0,4 mm. Њихова заступљеност у овојима је веома различита.

Јасан прелаз између једне зоне у другу представљају танке ламине, дебљине од 0.1 до 0.2 mm. У деловима овоја који су најближи језгру, танке ламине јасно прате облик примарног језгра. Оне се најбоље уочавају у унутрашњим деловима, а у спољним деловима овоја најчешће су одсутне. Унутрашње зоне, посебно оне око језгра, показују највећу компактност, док су спољашње зоне различите шупљикавости и чврстоће.



## ХЕМИЈСКА ИСПИТИВАЊА ПИЗОЛИТА

Хемијско испитивање пизолитских овоја вршено је на посебно припремљеним узорцима. Први узорак добијен је скидањем тамнијих овоја са 17 пизолита фракције 31.5–16 mm. Цео материјал је прво измешан, а потом анализиран. Други узорак је добијен одвајањем беличастог овоја са једног пизолита фракције 41–31.5 mm.

Хемијске анализе указују на висок садржај СаО (до 50 %) као и на велики губитак жарењем на 1000 °С (табела 5). Садржај осталих састојака доста је нижи и износи до неколико процената. Садржаји SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O и донекле K<sub>2</sub>O у оба узорка су уједначени, док су садржаји Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO и MgO и до шест пута већи у узорку 1. Други узорак показује веће садржаје СаО и СО<sub>2</sub>. Добијени резултати наводе на закључак да пизолити са светлијим овојима имају већи садржај СаО и СО<sub>2</sub>, а мање садржаје Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO и MnO од пизолита са тамније обојеним овојем.

Резултати спектрохемијских испитивања узорка 1 и 2 приказани су у табели 6. Добијени резултати показују да оба узорка имају повишен садржај елемената из групе ферида. У узорку 2 јавља се двоструко већи садржај хрома, док су садржаји ванадијума приближни. Никал и Со су нешто заступљенији у узорку 1. Осим тога, истиче се један и по пут већи садржај Ti у узорку 2 него у узорку 1. Изразито повишен садржај баријума у узорку 1 за сада се не може повезати ни са једним од минерала који изграђују овој пизолита. Повишени садржаји Ni, Со, Sc и V у тамније обојеним пизолитским овојима условљени су везивањем тих елемената за аморфне минерале Mn и Fe.

## ГЕНЕЗА ПИЗОЛИТА

Стварање пизолита није још увек у потпуности разјашњено. У литератури се наводе три могућа начина: физички, хемијски и биолошки (Tišljar, 1987). И док су марински и вадозни пизолити знатно више проучавани, о генези речних пизолита има мало података. Два основна проблема треба решити да би се разјаснила генеза слатководних пизолита: да ли је калцијум–карбонат таложен преко језгра или је језгро кретано преко већ створеног калцијум–карбонатног муља, као и утврђивање који од фактора подстиче исталоживање калцијум–карбоната. Као што је познато исталоживање калцијум–карбоната из воденог раствора може да буде иодстакнуто: повећањем рН–вредности воде, повећањем температуре воде, присуством амоничних једињења и радом одређене врсте алги (или бактерија).

Повећање рН–вредности воде јавља се у периодима ниског водостаја када се и повећава температура воде, односно смањује растворљивост СО<sub>2</sub> у њој, а то је летњи период. При достизању рН = 7.8 долази до исталоживања калцијум–карбоната.

Савски ров је дугачак расед дуж кога је могуће постојање термалних извора у кориту или речној тераси, а који би у делу дна или терасе повећавали температуру воде и иницирали исталоживање калцијум–карбоната. У том случају, на тако ограниченом простору би били стварани пизолити око свих зрна без разлике.

Уколико се ради о утицају алги или бактерија, намеће се питање због чега су онда ситнија зрна (<4 mm) невезаног седимента без овоја (што важи и за остале факторе који утичу на исталоживање). Могуће је да су ситније фракције "вученог наноса" и по најнижем водостају на овим дубинама (око 12 m) увек у покрету и да се због међусобног трења калцијум–карбонатни овој не може задржати. Осим тога, овоји створени радом

Табела 5. Хемијске анализе овоја пизолита  
Table 5. Chemical composition of pisolitic coats.

	1.	2.
SiO <sub>2</sub>	3.82	3.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.66	1.37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.54	0.95
MnO	1.95	0.30
CaO	46.64	50.47
MgO	1.51	0.60
Na <sub>2</sub> O	0.20	0.20
K <sub>2</sub> O	0.11	0.05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-
S	-	-
SO <sub>3</sub>	-	-
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	39.63	41.93
H <sub>2</sub> O	1.15	0.67
Σ	100.21	99.96

Табела 6. Спектрохемијске анализе овоја пизолита (ppm).  
Table 6. Spectrochemical analysis of pisolite coat (ppm).

	1.	2.
B	x	x
Be	x	x
Ga	x	x
Cr	130	280
V	86	72
Nb	x	x
Mo	x	x
Ni	65	23
Co	21	x
Cu	5	11
Zn	x	x
Zr	740	740
Sn	x	x
Sc	8	x
Y	32	48
Sr	630	560
Pb	34	86
Ba	>1000	160
Ag	x	x
Ti	580	820

x – испод границе детекције (below detection limit)

алги на речном дну би током периода ниског водостаја и најповољније температуре воде (када је алгалио развиће најинтензивније) морали бити масовнија појава. Другим речима, требало би да буде створено много више пизолита него што их сада има (4,56 %) у песковитом шљунку доњег тока реке Саве.

На табли 2 (сл. 2) приказана су пушчана зрна произведена 1913. године у Србији (Крагујевцу), а извађена су заједно са сапдуком са истог места олакле потичу и пизолити. Сва зрна су била са овојима, нека мање, а нека више, што искључује могућност да су калцијум–карбонати овојш створени радом алги.

На основу извршених испитивања утврђено је да су овоји пизолита изграђени углавном од калцита, а спорадично се налазе још кварц, фелдспати, доломит и минерали глина. Калцит се јавља као пелитоморфан до микросталаст. Овакво појављивање калцита указује да је аутигени минерал као и доломит. Кварц, фелдспати и минерали глина су највероватније захваћени у процесу таложења овоја и воде порекло из муљевите суспензије која се кретала по речном дну.

Може се закључити да се стварање пизолита у седиментима реке Саве своди на хемијско таложење калцијум–карбоната око неког језгра и стално котрљање валутка по дну (подједнака дебљина концентричних ламина око језгра).

## ЗАКЉУЧАК

Рецентни пизолити први пут су пронађени код нас у песковитом шљунку корита доњег тока реке Саве. Изграђени су од калцијум–карбоната, ређе од оксида мангана, хидрогетита или доломита. Према досадашњим истраживањима настанак ових форми највероватније се везује за хемијско исталожавање калцијум–карбоната и непрестано котрљање валутака по дну. С обзиром на заступљеност пизолита (око 4.5 %) све указује да је њихов настанак локална појава која је везана за одређене делове корита доњег тока реке Саве.

Геол. ан. Балк. пол. Ann. Géol. Penins. Balk.	60	1	359-376	Београд, децембар 1996 Belgrade, Decembre 1996
--	----	---	---------	---

UDC 552.517(497.11-15)

Original scientific paper

## PISOLITES IN THE LOWER SAVA RIVER DEPOSITS

by

Milivoje Jovanović\* and Vidojko Jović\*\*

The sedimentologic character of pisolites from the lower Sava river, near Šabac, is described in this paper, including the description of pisolite content in sandy gravel, its mineral and chemical compositions, and discussion of its origin.

**Key words:** Pisolite, sandy gravel, the Sava, carbonates.

### INTRODUCTION

Pisolites in recent sedimentary deposits have not been considered in the national geologic literature. A significant presence of crusted grains – pisolites was found in a natural mixture of loose sediments (sand, gravel, silt) from the lower Sava riverbed.

Pisolites were found in sandy gravel, excavated from 9 m to 12 m deep in the Sava riverbed, some 300–700 m downstream of the Šabac bridge. The sandy gravel deposit in the excavation place was 2 m thick.

In the fraction aggregate used for concrete production, the pisolite concentration varied and the crusts of some grains were broken in the sieving. It helped identifying and classifying pisolites as regular constituents of sandy gravel in the lower part of the Sava. This was the first discovery of the unique forms in freshwater, river sediments of this country.

### DEFINITION AND NOMENCLATURE OF PISOLITES

Pisolites are spherical or ellipsoidal bodies of 2 mm or more in radius (Donahue, 1969). A body consists of a nucleus and a crust showing in places concentric laminae. The crust is mostly composed of calcite and aragonite, rarely of oxides of manganese, hydrogoethite, gibbsite, limonite, silica, or phosphate (Carozzi, 1960). Pisolites are classified into carbonate sediments, the group of "coated grains" (Wolf, 1960). Wolf (1960)

\* Institute IMS, Bulevar Vojvode Mišića 43, Belgrade.

\*\* Faculty of Mining and Geology, Djušina 7, Belgrade.

and Peryt (1983), who classified coated grains, assigned pisolites to ooids (or vadoids) from which they differ only in size (2 mm).

This was generally accepted (Donahue, 1969), though some authors, Flügel (1986) for one, clearly distinguish pisolites from ooids both in size (2 mm) and in nonmarine derivation. The boundary between ooids and pisolites of 2 mm has long been the basis on which all forms larger than 2 mm were named pisolites. Thus, the prefix "piso" is presently added to the name of the form sized between 2 mm and 10 mm (piso-ooid).

Pisolites are formed in continental lacustrine and vadose-marine environments. Important continental environments are calcareous caliches, laterite crusts (duricrust), caves, mines, as well as geysers and hot springs. Lacustrine pisolites are known from freshwater and saline lakes (Braithwait, 1979). Lithoral hypersaline environments are the places of vadose-marine pisolites (Estaban, 1976; Peryt & Piatkowsky, 1977).

The shape of pisolites depends on the environmental conditions of their formation. The pisolites formed in flowing waters (caves, geysers) are shaped by accretion of concentric laminae over the originally irregular nuclei, whereas calm-water pisolites have irregular nuclei rounded by the application of new lamina to the spherical form.

Besides ooids and algal oncoids, pisolites are significant bodies for interpretation of depositional environments.

## GRANULOMETRY OF GRAVEL FROM THE LOWER SAVA

The grain-size composition of the lower part of the Sava bedload, gravel-sand-silt, was analysed on three samples collected from the stockpile of Dumača building industry in Šabac (Fig. 1).

Sample 1 was collected from a trench in the stockpile front face, between 4 m and 5 m from the bench upper surface. Sample 2 also was taken from a trench some 5 m below the bench upper surface, about 120 m from the sampling site 1 toward the Sava. Sample 3 was collected from the remains ("island") of a seven-year old stockpile by the point method from all sides of the "island".

For the grain-size analysis, two sets of sieves were used. The "coarse aggregate" (particles of 2 mm or more) was collected from sieves of mesh diameters 125, 90, 63, 45, 31.5, 22.4 mm and 16, 11.2, 4 mm. For "fine aggregate", circular sieves were used of mesh openings 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125, and 0.063 mm.

The average composition of the natural gravel mixture in three samples from the lower Sava riverbed was: 70.10% gravel, 29.51% sand, 0.39% silt, falling into the sandy gravel area of the three-component diagram. The average grain size of this loose sediment was 12.50 mm, and the average sorting  $S_o=4.73$  indicated its very low sorting.

Pisolite content in the lower Sava sediments was determined in the samples collected from a stockpile. It was 0.6 kg of pisolite in an average of 14 kg of sediments, or 4.5% of the total sandy gravel mass, as given in Tab.1.

## PISOLITE SHAPE

For observation of the pisolite grain shape, 30 coated grains were counted from a random sampled mass (about 5 kg) of 31.5-16 mm fraction. Symbols  $a$  and  $a_0$  refer to

axes of the coated (pisolite) and the peeled grains, respectively. The obtained results are given in Tab. 2.

Pisolite shape was analysed by Zingg (1964) method, who distinguished four main shapes of pebbles on their axes ratio.

$$\frac{b}{a} = \frac{\text{medium axis}}{\text{long axis}}; \quad \frac{c}{b} = \frac{\text{short axis}}{\text{medium axis}}$$

Most of pisolites were spherical in shape. Of the analysed 30 pisolites, 17 (56.7%) fell in the field of spheroidal, 7 (23.3%) in the field of fusiform, 5 (16.5%) in the field of discoidal, and only 1 (3.3%) in the field of tabular grains.

Axes of primary grains were measured on peeled pisolites. Six fell in the field of spherical grains, two at the borderline between spherical and fusiform grains, eight were discoidal, ten fusiform, and three tabular grains. This indicated that accretion "improved" the shapes of the primary grains and a trend to spherical forms.

The Wentworth method (1922) was used to determine roundness and sphericity of the grains:

$$\frac{r_1}{R} - \text{roundness index} \qquad R = \frac{D_1 + D_2}{4}$$

$r_1$  - least radius                       $D_1$  - grain length  
 $R$  - average radius                     $D_2$  - grain width

Ten pisolites were selected, and the results are given in Tab. 3. The roundness was determined by Pettijohn classification (1975): 0.00-0.15 angular, 0.15-0.25 subangular, 0.25-0.40 subrounded, 0.40-0.60 rounded and 0.60-1.00 well rounded.

## MINERALOGICAL-PETROLOGICAL STUDY OF GRAVEL AND PISOLITE

Sandy gravel was analysed from mineralogical and petrologic compositions on a composite specimen of samples 1, 2 and 3, by granulometric fractions (Tab. 4).

The rock pebble or mineral contents in fractions of 63-31.5 mm, 31.5-16 mm, 8-16 mm, and 4-8 mm are expressed in mass percents, and in fractions of 4-2, 2-1, 1-0.5, 0.5-0.25, and 0.25-0.125 mm in percents (random number of grains).

Prevailing in the coarse fractions are sedimentary rock pebbles (54-64%), followed by metamorphic rocks (12-24%), and the lowest are fragments of quartz (9-20%) and volcanic rocks (4-9%). The sand fraction contains increased quartz (32->50%) and metamorphic rocks (10-31%), whilst sedimentary and volcanic rocks are lower than in the gravel fraction.

Pisolites in the gravel fraction are granular (Tab. 1, Fig. 1) varying in size from 5 mm to few centimetres (gigantic pisolite 21 cm; Tab.1, Fig. 2). Each grain is composed of two main parts: primary grain (nucleus), commonly a rock or an organism (shell or gastropod) fragment, and secondary part - whitish, light-brown, or rarely black carbonate coat over the nucleus. The pisolite coat has a rough, uneven surface and is very porous and friable, which mainly distinguishes it from other gravels.

Pisolites vary in shape from highly irregular to ideally spherical, chiefly depending in the coat thickness. Pisolites which have the coat several times thicker than the primary grain are more regular in shape.

In cross sections, most of pisolites show distinct concentric laminae around the nuclei (Tab. 1, Fig. 2; Tab. 2, Fig. 1). Both the number and thickness of laminae vary from one pisolite to another. Concentric laminae of a coat are usually similar in size; those nearest the nucleus conform with its shape. The laminae are separated by thin compact material, 1–2 mm thick and darker (probably from Mn or Fe) than the carbonate environment. The laminae essentially differ from the external to the internal ones. The external laminae are softer, more porous and friable, unlike the internal lamina, particularly those nearest the nucleus, which are compact and hard carbonate material.

Interstices, numerous in outer coats, often contain small grains of quartz, dolomite or calcite, and small mica flakes.

Primary grains vary in shape, from irregular to rarely well rounded, and in size, from a few millimetres to several centimetres.

Pisolites were observed under the microscope on five specimens. Their uniform composition and shape allow some general mineralogical inferences for all the specimens. Primary grains are mainly sandstone, quartzite, chert, volcanic rock, or rarely limestone pebbles, fossil shell fragments or whole fossils (gastropods or pelecypods).

The crusts are of micrite with extraclasts of quartz, calcite, or feldspar in interstices. Quartz and calcite are usually in coarse grains of about 0.1x0.4 mm, highly variable in rate.

Thin laminae, 0.1 mm to 0.2 mm, are distinct transitions from one zone to another. In parts of the coat nearest to the nucleus, thin laminae distinctly fit the shape of the primary grain. They are best observed in the inner, and are generally absent in the outer parts of the coat. The inner zones, those around the nucleus in particular, are compact, unlike the outer ones which vary in porosity and hardness.

### CHEMICAL ANALYSIS OF PISOLITES

For chemical analysis of the pisolite crusts, specially prepared specimens were used. One specimen was produced by peeling dark coats off 17 pisolites of 31.5–16 mm fraction. The material was mixed before the analysis. The other specimen was obtained by separating the whitish coat from a pisolite of 41–31.5 mm fraction.

Chemical analysis indicated high CaO (to 50%) and a high loss of ignition at 1000°C (Tab. 5). The contents of SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, and partly K<sub>2</sub>O, in two specimens, were similar, whereas those of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO and MgO were up to six times higher in specimen 1. The other specimen was higher in CaO and CO<sub>2</sub>. The obtained results lead to the conclusion that light-coated pisolites have higher CaO and CO<sub>2</sub>, and lower Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO and MnO contents than the dark coated pisolites.

Spectrochemical results for specimens 1 and 2 are given in Tab. 6. They show that both specimens have increased elements from ferride group. Specimen 2 has twice higher chrome, and almost equal vanadium. Ni and Co are slightly higher in specimen 2 than 1. The notably increased barium in specimen 1 cannot be associated at present with any of

the minerals forming the pisolite coat. Increased Ni, Co, Sc and V in the dark-coloured pisolite crusts are results of these elements linking with amorphous minerals Mn and Fe.

### GENESIS OF PISOLITES

The formation of pisolites has not been fully explained. Three possible derivations are stated in literature, viz.: physical, chemical and biological (Tišljarić, 1987). While marine and vadose pisolites have been studied more thoroughly, the information on the genesis of fluvial pisolites is scanty. For an explanation of the freshwater pisolite origin, two principal problems should be solved: has calcium-carbonate precipitated over the nucleus or the nucleus was moved over the earlier formed calcium-carbonate mud, and which of the factors enhanced the precipitation of calcium-carbonate? Precipitation of calcium-carbonate from aqueous solution can be provoked by: increased pH of water, increased water temperature, presence of ammonium compounds, and activity of certain algae (or bacteria).

The increased pH of water occurs in periods of low water levels, when also water temperature rises or CO<sub>2</sub> solubility in it is reduced, which is the summer season. Calcium-carbonate precipitates when pH reaches 7.8.

The Sava trough is a long fault along which thermal spring occurrences are likely in the river bed or terrace, which could increase the water temperature on a part of the bed or the terrace and initiate deposition of calcium-carbonate. If so, pisolites could have formed around all grains in a limited area.

As to the algal or bacterial factor, the question is why small grains (<4 mm) of loose sediments are coatless (which also refers to other factors controlling the deposition). A speculation is that small fractions of the bed load are always moved at this depth (about 12 m) even at the lowest water level and are thus prevented by friction from the calcium-carbonate coating. Besides, the coats produced by algal action on a river bed would have been a massive occurrence during the low water level and suitable water temperature (when the algal growth is flourishing). In other words, there would have been many more pisolites formed than there are now (4.56%) in the sandy gravel of the lower Sava river-course.

Table 2 (Fig. 2) shows rifle-bullets manufactured in 1913 in Serbia (Kragujevac), extracted in a case from the same place where pisolites were found. All grains were coated, some more some less, which excludes the possibility of the calcium-carbonate formation by algal action.

The analyses concluded that pisolite coats were dominantly formed of calcite, and sporadically quartz, feldspars, dolomite and clay minerals as well. Calcite is pelitomorphic to microcrystalline. This occurrence of calcite indicates it as a autigenic mineral, like dolomite. Quartz, feldspars and clay minerals have probably been caught during the coating and originate from mud suspension that moved over the riverbed.

It may be inferred from the above stated that pisolites in the Sava river sediments formed by the chemical precipitation of calcium-carbonate over some nuclei and the continuous rolling of pebbles over the riverbed (uniform thickness of concentric laminae around the nucleus).

Recent pisolites were first found in this country in sandy gravel on the lower Sava riverbed. The pisolites are composed of calcium-carbonate, rarely of manganese oxides,

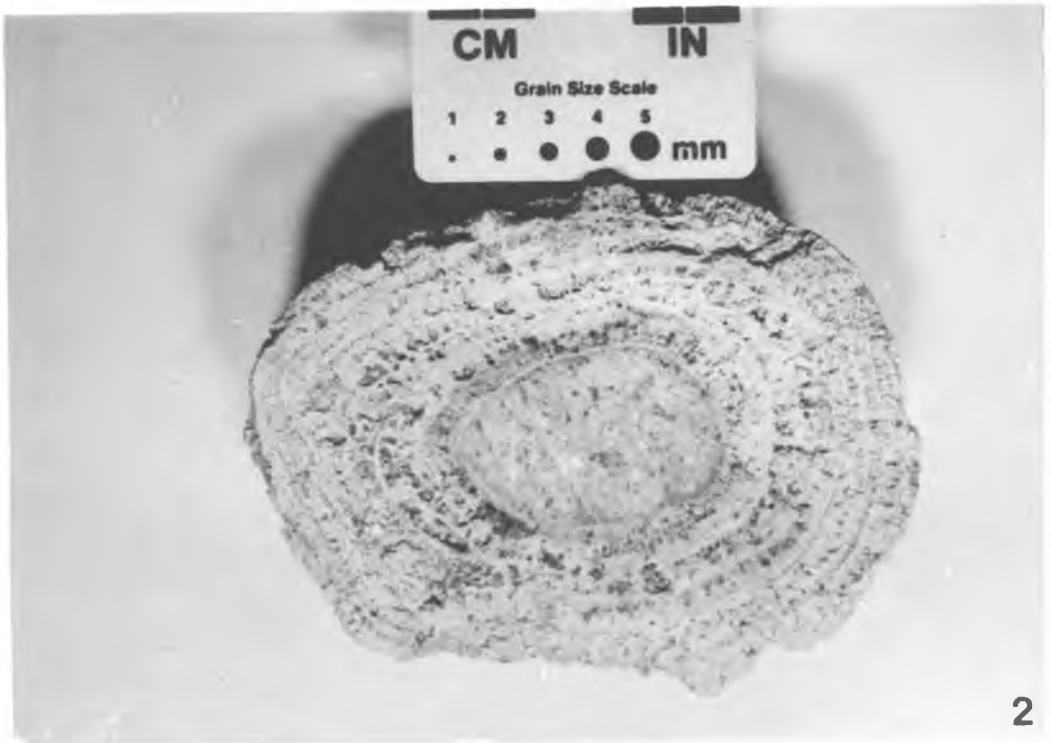


hydrogoethite or dolomite. In the present state of our knowledge, pisolites are the likely products of chemical precipitation of calcium-carbonate and continuous rolling over the riverbed. The rate of pisolites (about 4.5%) indicates their local origin related to certain riverbed areas of the lower Sava.

#### ЛИТЕРАТУРА – REFERENCES

- Braithwaite C. J. R., 1979: Crystal textures of recent fluvial pisolites and laminated crystalline crusts in Dufed, South Wales.– *J. Sedim. Petrol.* 49, 181–194.
- Carozzi A. V., 1960: *Microscopic Sedimentary Petrography*.– John Wiley & Sons, 485 p., London.
- Donahue J., 1969: Genesis of oolite and pisolite grains: an energy index.– *J. Sedim. Petrol.* 39, 1399–1411.
- Estaban M., 1976: Vadose pisolite and caliche.– *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 60, 2048–2057.
- Flügel E., 1982: *Microfacies Analysis of Limestones*.– Springer-Verlag, Berlin.
- Peryt T., 1983: *Coated Grains*.– Springer-Verlag, 655 p., Tokyo.
- Peryt T. & Piatkowsky T. S., 1977: Algal-vadose pisolith in the Zechstein Limestone (Upper Permian) of northern Poland – *Sedim. Geol.* 19, 275–287.
- Pettijohn F. J., 1957: *Sedimentary Rocks*.– Harper Int. Edit., New York.
- Tišljar J., 1987: *Petrologija sedimentnih stijena* – Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 242 s., Zagreb.
- Wentworth C. K., 1922: A scale of grade and class term for classifying sediments.– *J. Geol.* 30, 377–392.
- Wolf K. H., 1960: Simplified limestone classification.– *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 44, 1414–1416.
- Zinnig T., 1964: Beitrag zur Schotteranalyse.– *Schweiz. Miner. Petrol. Mitt.* 15, 39–140.

ТАБЛА I PLATE



# ТАБЛА II ПЛАТЕ

