

| | | | | |
|--|----|---|---------|---|
| Геол. ан. Балк. пол. Ann. Géol. Penins. Balk. | 61 | 1 | 143-165 | Београд, децембар 1997 Belgrade, Decembre 1997 |
|--|----|---|---------|---|

УДК 551.352.4:551.782.11/13(497.11)

Оригинални научни рад

ОРГАНСКЕ ФАЦИЈЕ И ПАЛИНОФАЦИЈЕ МИОЦЕНСКИХ СЕДИМЕНАТА У ДЕПРЕСИЈИ ДРМНО (СРБИЈА)

од

Марка Д. Ерцеговца*, Маје М. Јеремић* и Славице Б. Ђајић**

У раду се приказују органско-петрографске и палинолошке карактеристике органских фација и палинофација из миоценских седимената депресије Дрмно (Костолац). Истививања су обухватила седimente пребадена ("црвена серија" и отнанг-карпат), бадена и сармата. Резултати проучавања палинофација корелисани су са анализама типова керогена из поменутих стратиграфских јединица. На основу палеоеколошке анализе палиноморфи ближе су издвојене средине седиментације према издвојеним типовима вегетације.

Кључне речи: органске фације и палинофације, кероген, средине седиментације, миоцен, Дрмно

Комплексна нафтно-геолошка истраживања терцијарних седимената Поморавља, посебно депресије Дрмно (Костолац), обухватила су и детаљну студију органских фација и палинофација из пребадена ("црвена серија" и отнанг-карпат), бадена и сармата. Истраживања су омогућила добијање података о органској супстанци (кероген) и срединама седиментације у сукцесији миоценских творевина на простору депресије Дрмно. Резултати ових истраживања заједно са другим релевантним органско-геохемијским подацима, омогућили су ближе сагледавање нафтно-гасног потенцијала проучаваног простора.

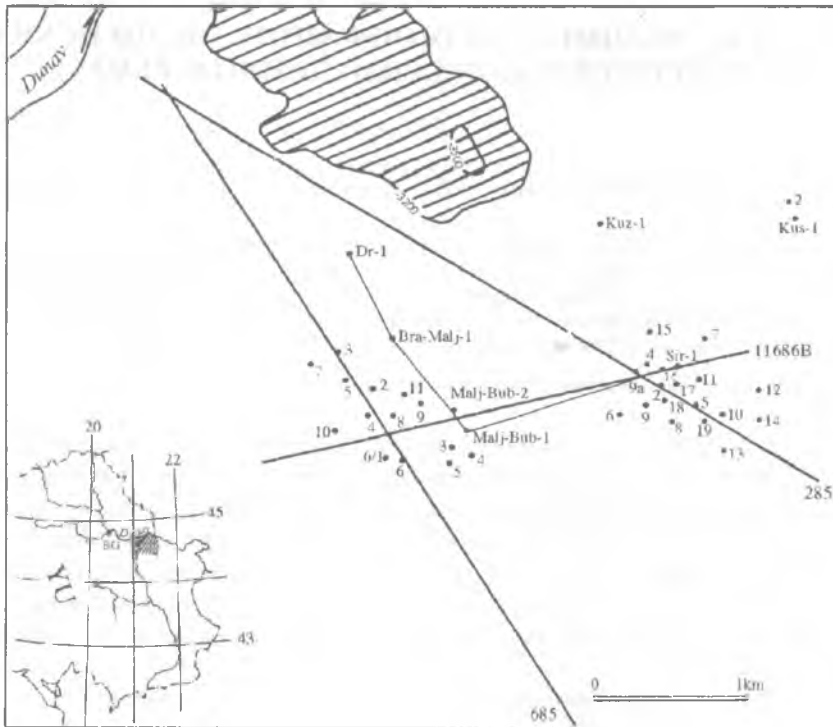
У савременим нафтно-геолошким истраживањима од посебног значаја је утврђивање количине и квалитета органске супстанце у седиментима, који зависе од примарне биопродукције, акумулације, биохемијске деградације и процеса седиментације. Биодеградација се знатно брже одвија на органској супстанци морског типа у односу на терестричну. Палинофације битно зависе од порекла органске материје и степена биодеградације (Demaison and Moore, 1980).

Органска супстанца стене, означена као органска фација, одређује се различитим параметрима органске петрографије и геохемије. У литератури се срећу различите дефиниције и класификације органских фација. Термин органска фација Rogers (1980; по Tyson-у, 1995) први уводи у литературу како би ближе означио органски садржај седимента, порекло органске материје и средину седиментације.

* Институт за регионалну геологију и палеонтологију Рударско-геолошког факултета, Универзитета у Београду, Каменичка б. Београд.

** Геолошки завод "Гемини", Карађорђева 48, Београд.

Jones (1983) и Jones and Demaison (1980) дефинишу органске фаације у оквиру одређених стратиграфских јединица само на основу органског садржаја, независно од литолошког састава стене. Tyson (1995) сматра да је органска фаација "део седимента који садржи различиту асоцијацију органских остатака који се могу препознати у микроскопу и ближе одредити применом геохемијских метода". Combaz (1964) и Powel et al. (1990) посебно разматрају појам палинофаације, која представља скуп различитих органских остатака који се добијају хемијским разлагањем стене (НС1, HF). Састав палинофаације зависи од порекла и средине седиментације. Habib (1982) и Tyson (1995) сматрају да палинофаације представљају специфичан аспект проучавања органских фаација; то су "палинолошки дефинисане органске фаације".



- Sir-1 Истражна бушотина (Exploratory well)
- Деоцентар (Depo-center)
- Повлата отнанг-карпат (Top of Otnangian-Carpathian)

Сл. 1. Географски положај испитиваних бушотина.
Fig. 1. Geographic position of investigated test holes.

УЗОРЦИ И МЕТОДЕ ИСПИТИВАЊА

Анализа органских фаација и палинофаација из миоценских седимената депресије Дрмно извршена је на узорцима из пребадена ("црвена серија" и отнанг-карпат), бадена и сармата. Ознаке узорака и дубине са којих потичу, приказане су у табелама 1 и 2.

Табела 1. Органске фације и палинофације из миоценских седимената депресије Дрмно.
Table 1. Organic facies and palynofacies from Miocene sediments of the Drmino depression.

| СТАРУСТ (AGE) | УЗОРАК (SAMPLE NO.) | ОЗНАКА БУШОТИНЕ (SITE) | ДУБИНА (DEPTH) | ОРГАНСКЕ ФАЦИЈЕ И ПАЛИНОФАЦИЈЕ (ORGANIC FACIES AND PALYNOFACIES) (Vol. %) | | | | | | | | | | | AOM STPM | AOM OB | STPM OB |
|--|------------------------|------------------------------|-------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------------------|-------|----------|-------------|-----------|------------|
| | | | | AOM | | STPM | | | OB | | PL | spores pollen | algae | plankton | | | |
| | | | | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | | | | | | | |
| САРМАТ (SARMATIAN) | 1364 | BRA-1 | 1127.0 | 1.0 | 9.0 | - | 6.0 | 47.0 | 21.0 | 8.0 | 8.0 | ++ | - | - | 0.20 | 0.35 | 1.82 |
| | 1147 | HRA-3 | 1413.0 | - | 33.0 | - | 3.0 | 30.0 | 28.0 | - | 6.0 | ++ | - | - | 1.00 | 1.18 | 1.16 |
| | 1137/83 | DR-1 | 1430.0 | - | 41.0 | - | 26.0 | 27.0 | 2.0 | 1.0 | 3.0 | ++ | + | - | 0.80 | 13.66 | 17.66 |
| | 1267 | BRA-1 | 1436.0 | - | 9.0 | - | 26.0 | 40.0 | 16.0 | 6.0 | 3.0 | + | - | - | 0.14 | 0.41 | 3.00 |
| БАДЕН (BADENIAN) | 1311 | SIR-7 | 1478.0 | 2.0 | 5.0 | - | 7.0 | 30.0 | 52.0 | 2.0 | 2.0 | ++ | - | - | 0.20 | 0.13 | 0.69 |
| | 1361 | BUB-2 | 1740.0 | 4.0 | 8.0 | - | 9.0 | 36.0 | 36.0 | 4.0 | 3.0 | +++ | + | + | 0.27 | 0.30 | 1.13 |
| | 1362 | BUB-3 | 1762.0 | 3.0 | 2.0 | - | 1.0 | 60.0 | 24.0 | 2.0 | 8.0 | +++ | - | + | - | 0.19 | 2.34 |
| | 1140/83 | DR-1 | 1788.0 | 8.0 | 31.0 | - | 5.0 | 31.0 | 21.0 | - | 4.0 | ++ | + | - | 1.10 | 1.86 | 1.71 |
| | 1142/83 | DR-1 | 1863.0 | 2.0 | 8.0 | - | 15.0 | 54.0 | 13.0 | 3.0 | 5.0 | ++ | + | - | 0.15 | 0.63 | 4.31 |
| | 412/85 | BRA-1 | 1883.0 | - | 3.0 | - | 13.0 | 68.0 | 14.0 | 1.0 | 1.0 | + | - | - | - | 0.20 | 5.40 |
| | 1143/83 | DR-1 | 1938.0 | - | 5.0 | - | 40.0 | 42.0 | 5.0 | 3.0 | 5.0 | ++ | + | + | - | 0.63 | 10.25 |
| | 1278 | BRA-9 | 1932.0 | - | 4.0 | - | 15.0 | 50.0 | 25.0 | - | 6.0 | + | + | - | - | 0.16 | 2.60 |
| | 1145/83 | DR-1 | 2063.0 | 2.0 | 5.0 | - | 17.0 | 57.0 | 5.0 | 7.0 | 7.0 | ++ | + | ++ | 0.10 | 0.58 | 6.17 |
| | 1149 | BRA-3 | 2065.0 | - | 4.0 | - | 79.0 | 14.0 | - | 3.0 | + | - | - | - | - | 0.28 | 5.64 |
| | 1156 | BRA-1 | 2291.0 | 3.0 | 31.0 | - | 4.0 | 30.0 | 27.0 | 2.0 | 3.0 | + | - | - | 1.00 | 1.17 | 1.17 |
| 1155 | BRA-1 | 2292.0 | 2.0 | 60.0 | - | 5.0 | 14.0 | 16.0 | 1.0 | 2.0 | + | - | + | 3.26 | 3.64 | 1.12 | |
| ПРЕБАДЕН (PRE-BADENIAN) ОТНАНЦИЈАН-КАРПАТИЈАН (OTTANCIJAN-KARPATIAN) | 1134 | SIR-1 | 1621.0 | - | 5.0 | - | 4.0 | 54.0 | 31.0 | 3.0 | 3.0 | ++ | - | - | 0.10 | 0.15 | 1.71 |
| | 1135 | SIR-1 | 1622.0 | 8.0 | 44.0 | - | 2.0 | 37.0 | 8.0 | - | 1.0 | + | - | + | 1.33 | 6.50 | 4.88 |
| | 1138 | SIR-1 | 1665.0 | 50.0 | 18.0 | - | - | 22.0 | 9.0 | - | 1.0 | + | ++ | + | 3.09 | 7.56 | 2.44 |
| | 1313 | SIR-9a | 1726.0 | - | 98.0 | - | - | 2.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 1314 | SIR-9a | 1727.0 | - | 97.0 | - | - | 1.0 | 1.0 | - | 1.0 | + | - | - | - | - | 1.00 |
| | 1141 | SIR-1 | 1795.0 | - | 13.0 | - | - | 36.0 | 39.0 | - | 12.0 | +++ | - | + | 0.36 | 0.33 | 0.92 |
| | 1282 | BUB-1 | 1886.0 | 1.0 | 43.0 | - | - | 30.0 | 8.0 | 1.0 | 17.0 | +++ | ++ | + | 1.47 | 4.90 | 3.13 |
| | 1271 | BRA-2 | 2176.0 | 31.0 | 36.0 | - | 1.0 | 20.0 | 3.0 | 1.0 | 6.0 | ++ | + | + | 3.29 | 17.25 | 5.25 |
| | 1272 | BRA-2 | 2302.0 | - | 85.0 | - | 1.0 | 3.0 | 8.0 | - | 3.0 | ++ | + | - | 21.25 | 10.63 | 0.50 |
| | 1320 | SIR-2 | 1710.0 | - | 29.0 | - | - | 10.0 | 61.0 | - | - | - | - | - | 2.90 | 0.48 | 0.16 |
| 1308 | SIR-2 | 1846.0 | 3.0 | 50.0 | - | 4.0 | 9.0 | 1.0 | 1.0 | 32.0 | +++ | + | + | 4.08 | 26.50 | 6.50 | |
| 1367 | BRA-4 | 2217.0 | - | 91.0 | - | - | 7.0 | - | - | 2.0 | + | - | - | 13.00 | - | - | |
| 1157 | BRA-1 | 2307.0 | 24.0 | 7.0 | - | - | 36.0 | 31.0 | - | 2.0 | + | ++ | + | 0.86 | 1.00 | 1.16 | |
| 1279 | BUB-2 | 2338.0 | 9.0 | 9.0 | - | 34.0 | 34.0 | 12.0 | - | 2.0 | + | - | - | 0.26 | 1.50 | 5.67 | |
| 1152 | BRA-3 | 2617.0 | 5.0 | 69.0 | - | - | 14.0 | 11.0 | - | 1.0 | + | - | + | 5.29 | 6.73 | 1.27 | |
| 1365 | BRA-1 | 2724.0 | 1.0 | 9.0 | - | 1.0 | 56.0 | 28.0 | 1.0 | 3.0 | ++ | - | - | 0.18 | 0.35 | 1.97 | |

Напомена (Note):

AOM % – Аморфна органска материја (Amorphous organic matter). 1. са флуоресценцијом (with fluorescence, sarcopelic/lipinitic AOM), 2. без флуоресценције (NON fluorescence, biodegraded AOM)

STPM % – Терестрични биљни остаци са структуром (Structured terrestrial plant material). 3. кутикуле (cuticule, leaf tissues), 4. ткива (woody, stem tissues), 5. гелифицирано дрвенасто ткиво (gelified woody tissue)

OB % – Непровидни црни фрагменти (Opaque black fragments). 6. инертинити (inertinite), 7. остаци гљива (fungal remains)

PL % – Палиноморфе (Palynomorphs)

* – релативна заступљеност (Relative abundance): + – ретко (rare); ++ – често (common); +++ – врло често (abundant)

Укупна органска материја проучавана је на керогенским концентратима који су добијени обрадом свих узорака са HCl (растварање карбоната) и HF (растварање силиката). Растварање награђених гелозних материја извршено је разблаженом HCl (5%), а неутрализација узорка са 10% NaOH. Издвајање органске материје из стене извршено је центрифугирањем у тешкој течности ($ZnCl_2$; $d=1.9-2.0 \text{ g/cm}^3$). Квалитативно-квантитативна анализа органске материје извршена је у микроскопу уз коришћење пропуштене и одбијене нормалне и флуоресцентне светлости. Постигнути резултати приказани су у табелама 1 и 2.

Табела 2. Органске фације и палинофације из миоценских седимената депресије Дрмно.

Table 2. Organic facies and palynofacies from Miocene sediments of the Drmino depression.

| СТАРОСТ (AGE) | УЗОРАК БР. (SAMPLE NO.) | ОЗНАКА БУШОТИНЕ (SITE) | ДУБИНА КДЕРТНИ (m) | ОРГАНСКЕ ФАЦИЈЕ И ПАЛИНОФАЦИЈЕ (ORGANIC FACIES AND PALYNOFACIES) (Vol. %) | | | | | | | | |
|---------------------------------|--|------------------------------|--------------------------|--|--|--|--|---------------------------|--|--|--|----------------------|
| | | | | AOM (Vol. %) 40 60 80 100 | | | | STPM (Vol. %) 20 40 60 80 | | | | OB (Vol. %) 20 40 60 |
| САРМАТ (SARMATIAN) | 1364 | BRA-1 | 1127.0 | | | | | | | | | |
| | 1147 | BRA-3 | 1413.0 | | | | | | | | | |
| | 1137/83 | DR-1 | 1430.0 | | | | | | | | | |
| | 1267 | BRA-1 | 1436.0 | | | | | | | | | |
| БАДЕН (BADENIAN) | 1311 | SIR-7 | 1478.0 | | | | | | | | | |
| | 1361 | BUB-2 | 1740.0 | | | | | | | | | |
| | 1362 | BUB-3 | 1762.0 | | | | | | | | | |
| | 1140/83 | DR-1 | 1788.0 | | | | | | | | | |
| | 1142/83 | DR-1 | 1863.0 | | | | | | | | | |
| | 412/85 | BRA-1 | 1883.0 | | | | | | | | | |
| | 1143/83 | DR-1 | 1938.0 | | | | | | | | | |
| | 1279 | BRA-9 | 1952.0 | | | | | | | | | |
| | 1143/85 | DR-1 | 2063.0 | | | | | | | | | |
| | 1149 | BRA-3 | 2065.0 | | | | | | | | | |
| | 1156 | BRA-1 | 2291.0 | | | | | | | | | |
| | 1155 | BRA-1 | 2292.0 | | | | | | | | | |
| | ПРЕБАДЕН (PRE-BADESIAN) ОТНАЦАН-КАРПАТ (OTTANCIAN-KARPATIAN) | 1134 | SIR-1 | 1621.0 | | | | | | | | |
| 1135 | | SIR-1 | 1622.0 | | | | | | | | | |
| 1138 | | SIR-1 | 1665.0 | | | | | | | | | |
| 1313 | | SIR-9a | 1726.0 | | | | | | | | | |
| 1314 | | SIR-9b | 1727.0 | | | | | | | | | |
| 1141 | | SIR-1 | 1795.0 | | | | | | | | | |
| 1282 | | BUB-1 | 1886.0 | | | | | | | | | |
| 1271 | | BRA-2 | 2178.0 | | | | | | | | | |
| 1272 | | BRA-2 | 2302.0 | | | | | | | | | |
| ПРЕБАДЕН СЕРИЈА (RED SERIES) | 1320 | SIR-2 | 1719.0 | | | | | | | | | |
| | 1308 | SIR-2 | 1846.0 | | | | | | | | | |
| | 1367 | BRA-4 | 2217.0 | | | | | | | | | |
| | 1157 | BRA-11 | 2307.0 | | | | | | | | | |
| | 1279 | BUB-2 | 2358.0 | | | | | | | | | |
| | 1152 | BRA-3 | 2617.0 | | | | | | | | | |
| 1365 | BRA-1 | 2724.0 | | | | | | | | | | |

Микроскопска анализа органске материје у испитиваним узорцима урађена је према класификацији која је приказана у табели 1. За израду ове класификације коришћен је већи број објављених радова: Masran and Росок (1981), Ерцеговац и др. (1992), Росок et al. (1988) и Tyson (1995) и др. Различити типови органских фација и палинофација класификовани су и према пореклу органске супстанце. Релативно више изражен аутохтони карактер имају остаци фитопланк-

тона, споре и аморфна органска супстанца, док алохтоне фрагменте чине категорије STPM (кутикуле, ткива и, посебно, гелифицирани остаци који одговарају мацералним групама хуминит–витринит) и ОВ (углавном инертинити).

Табела 3. Заступљеност различитих палеоеколошких типова вегетације у миоценским седиментима депресије Дрмно.

Table 3. Distribution of various paleoecological types of vegetation in the Miocene sediments of the Drmno depression.

| ХРОНОСТРАТИГРАФСКЕ ЈЕДИНИЦЕ (CHRONOSTRATIGRAPHIC UNIT) | процена дебљина (average thickness) (m) | -мочварна вегетација (swamp vegetation) | | мезофилне шуме (mesophyllous forest) | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|--|---|--|--|------------------------------|--|--|
| | | Луроридија и Руброфлора (Polytrichaceae влажна станишта различитих климатских појасова) (wet substratum, various climatic belts vegetation groups: mosses (bryophytes) (Taxodiaceae, Cyperaceae, Nymphaeaceae)) | дештава жбунаста мочвара (shallow swamp) (Myricaceae, Alnus, Cyrillaceae) | водне биљке (Sphaerocarpaceae, Cyperaceae и друге водне биљке (water plants)) | палминоли редови (palmlike vegetation) Coniferae (Pinus, Picea, Cedrus, Abies, Tsuga, Podocarpus) | -супротна вегетација брзоског подлога (Palmae, Leguminosae, Zorobaceae и др.) -Супрелифе (Quercus) растително-субна станишта | -subtropical vegetation of the hill slopes (Palmae, Leguminosae, Sapotaceae etc.) -Capuliferae (Quercus) -drier substratums | листопадна вегетација речних долина (deciduous vegetation: liquid plums) (Coryla, Betula, Salix, Juglans, Ceregrinus, и др.) | биљке олука станишта Epilobium, Ilex (отркосце (Crepis, Anemone), Dentaria, Ranunculus (срце, турски)-морске биљке са поличним салмицијем у подножју) (plants of drier substratum) | фитопланктон (phytoplankton) | | |
| ПАНОН (PANNONIAN) | 289 | 6% 1% 16% | | | | | | | | | | |
| САРМАТ (SARMATIAN) | 394 | | | | | | | | | | | |
| БАДЕН (BADENIAN) | 505 | | + | | | ++ | | | | | | |
| ПРЕБАДЕН (PRE-BADENIAN) | 189 | | + | | | +++ | | | | | | |
| ПРЕБАДЕН (PRE-BADENIAN) црвена серпиа ("red serpis") | 310 | | | | | ++ | | | | | | |

На основу анализе палинофација извршена је реконструкција средина седиментације у оквиру сукцесије миоценских седимената у депресији Дрмно. Карактеристике органских фација и палинофација корелисане су са расположивим подацима о литофацијама из којих потичу анализирани узорци. Са нафтно–геолошког становишта посебно су интересантне корелације између палинофација и степена термичких промена сапропелног и угљевитог типа керогена. Еволуција миоценске флоре у функцији палеоклиматских и палеоеколошких услова на ширем простору Паратетиса послужила је као основни критеријум за реконструкцију средина седиментације на простору депре-

сије Дрмно (Thomson and Pflug, 1953; Пантић, 1956; Pantić and Mihajlović, 1980; Nagy, 1969, 1992; Planderova et al., 1975; Planderova, 1990; и др.). Палеоботанички критеријуми за реконструкцију средина седиментације приказани су у табели 3.

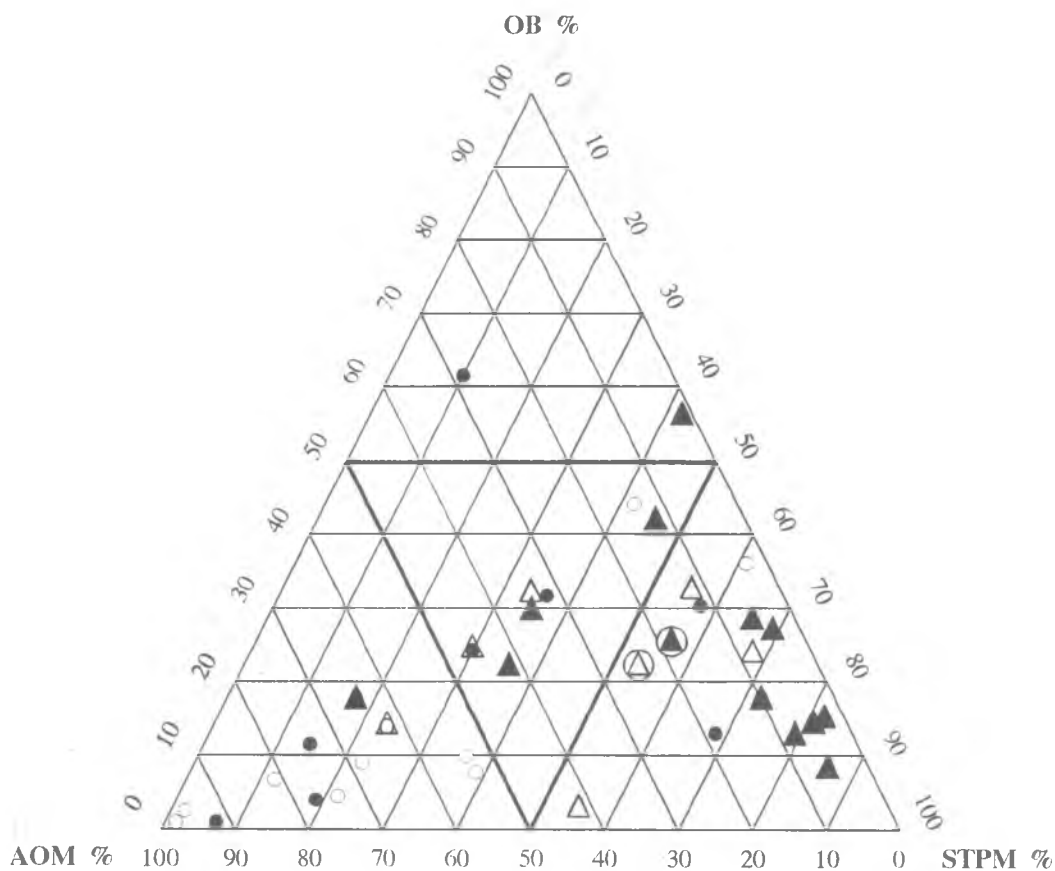
За реконструкцију средина седиментације и акумулације органске супстанце на простору депресије Дрмно коришћени су и други критеријуми који су добијени паралелним проучавањима OS у пропуштеној и одбијеној светлости (палинологија и органска петрографија). Једноличан састав таксона у асоцијацији палиноморфи указује на постојање "ограничених" (издвојених) средина седиментације у односу на шири истражни простор. Одсуство палиноморфи најчешће одражава неповољан развој вегетације или постојање повећаних оксидационих услова у фази седиментогенезе и дијагенезе, што је обично праћено високим учешћем инертинита. Доминантни тип керогена је коришћен као један од критеријума за ближу идентификацију средина акумулације и трансформације укупне органске суистанце. Високо учешће витринита и инертинита, као и фитошланктона (перидинее, коколитофориде, празинофите и др.) указује на морски режим седиментације. Зоне са доминантним учешћем аморфног типа органске супстанце (АОМ) обично су праћене са повећаним садржајем пирита. Оне се карактеришу мирним режимом седиментације (без биотурбација) и аноксичним условима. Тамо где доминира органска супстанца терестричног порекла (STPM) може се претпоставити близина извора (обала) јер се она транспортује са копна у водену средину. Степен оксидације категорије зрна STPM указује на интензитет преталожавања и дужину транспорта. Турбидитна средина седиментације окарактерисана је високим учешћем преталожених палиноморфи и јако ниским степеном сортираности органских остатака. Последица овакве седиментације је присуство помешаних типова керогена у истим узорцима. Ламиниране органске микроструктуре у оваквим срединама нису присутне.

РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Главне карактеристике органских фазија и палинофазија, као и средина седиментације и акумулације органске супстанце миоценоских седимената у депресији Дрмно приказане су на табелама 1, 2 и 3. На тернерним дијаграмима (сл. 2 и 3) графички је приказан положај и међусобни однос издвојених категорија органских фазија и палинофазија, као и типова керогена, за испитиване литостратиграфске јединице. Ови дијаграми омогућавају корелацију резултата паралелних проучавања органске супстанце у пропуштеној и одбијеној светлости. Из њих се може сагледати и нафтно-гасни потенцијал седимената пребадена, бадена и сармата.

"Црвена серија" (пребаден)

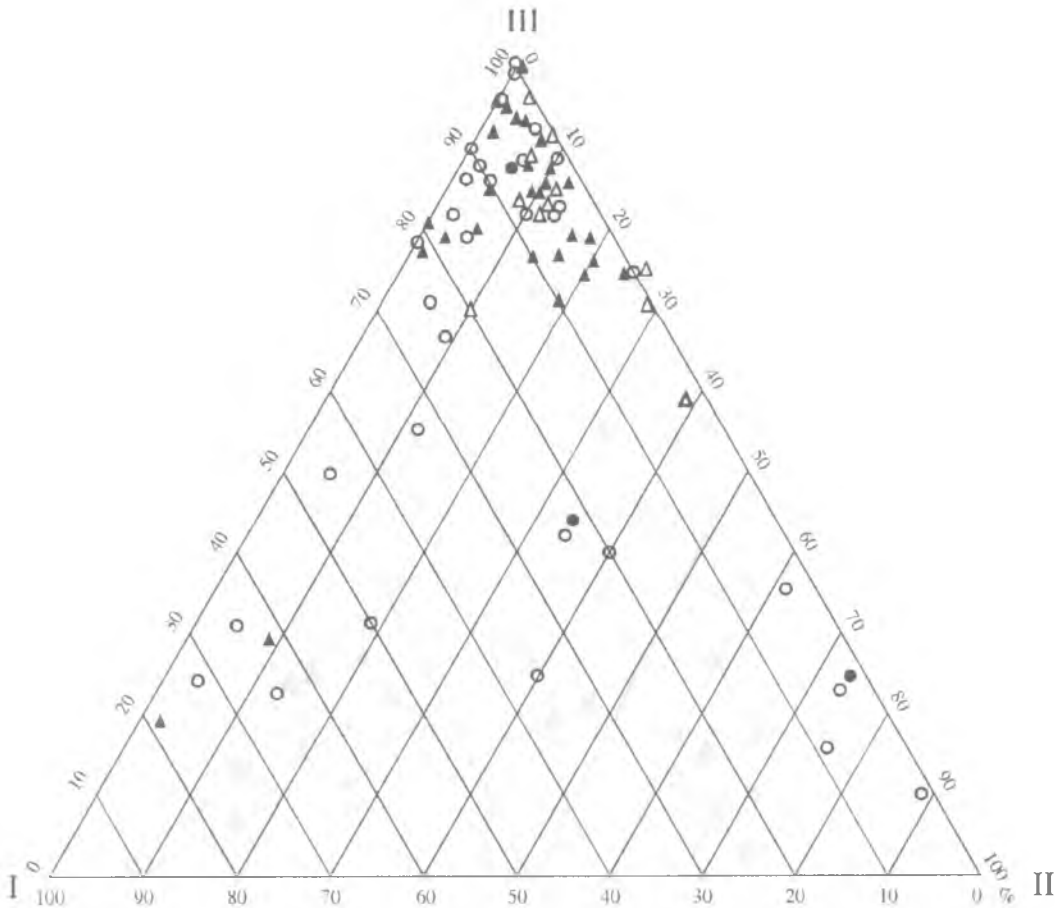
Седименти "црвене серије" према суперпозиционом односу у истражним бушотинама (Сир-1, Бра-Маљ-1, Маљ-Буб-1 и др.) условно припадају доњем миоцену. Дебљина ове серије варира од 150-530 m и представљена је сложеним литолошким саставом (различито обојени песковити лапорци, глинци, ситнозрни и средњезрни пешчари и др.). Стварани су у мешовитим субакватично до континенталним условима са доминацијом теригених седимената (Ерцеговац и др., 1984, 1993).



ЛЕГЕНДА (LEGEND):

- △ - Сармат (Sarmatian); △ - средњи (mean)
- ▲ - Баден (Badenian); ▲ - средњи (mean)
- - Отнанг-карпат (Ottangian-Karpatian); △ - средњи (mean)
- - "црвена серија" ("red series"); ▲ - средњи (mean)

Сл. 2. Тернерни дијаграм заступљености
 Fig. 2. Ternary diagram of abundance.



- ЛЕГЕНДА (LEGEND): I - Аморфни тип керогена - сапропелни са и без флуоресценције
Amorphous kerogen - sapropelic with/without fluorescence
- II - Угљевито-сапропелни тип керогена (липтинити)
Coaly-sapropelic kerogen (lipinites)
- III - Угљевити тип керогена (хуминити, витринити, инертинити)
Coaly kerogen (huminite, vitrinite, inertinite)
- △ - Сармат (Sarmatian);
- ▲ - Баден (Badenian);
- - Отманг-карпат (Otmangian-Karpatian);
- - "црвена серија" ("red series");

Сл. 3. Тернерни дијаграм заступљености типова керогена у пребаденским ("црвена серија" и отманг-карпат), баденским и сарматским седиментима.

Fig. 3. Ternary diagram of abundance of kerogen types in pre-Badenian ("red series" and Otmangian-Karpatian), Badenian and Sarmatian rocks.

Према карактеру палинофлоре, творевине "црвене серије", које се означавају као пребаден, највероватније припадају доњем миоцену, мада се не може искључити ни присуство горњег олигоцена. У раду се творевине "црвене серије" третирају као горњи олигоцен–доњи миоцен (у смислу прелазних слојева). Налазак облика *Polypodiaceoisporites marxheimensis* Krutzsch, *Ephedripites (Distachyapites) tertiaris* Krutzsch, *Engelhardtoidites microcoryphaeus* R. Potonie, *Tricolporopollenites vilensis* Th. & Pf., *Tetracolporopollenites* sp. и *Boehlensipollis* sp. потврђује изнето схватање о старости "црвене серије" у којој није констатован други палеонтолошки материјал. Поређења ради треба истаћи да је слична асоцијација спора и полена утврђена у бушотини Гроцка–1 у седиментима који се налазе на дубини између 1140 и 1300 m, испод бадена, који је фаунистички документован (Кнежевић и др., 1994).

Палиноморфе из "црвене серије" су сличне палиноморфама из доњег дела егерског ката Мађарске (Nagy, 1992) и егенбурга Словачке (MF–2 и MF–3 зоне, Planderova, 1990). Према карактеру микрофлоре може се закључити да су ови седименти стварани у ограниченим воденим срединама (језера) под одређеним утицајем бракичног развоја (спорадични наласци диноциста). У палиноспектрима доминира полен четинара (алохтона асоцијација) и сунтропска вегетација брдских падина (*Pityosporites microalatus* Th. & Pf., *P. labdacus* Th. & Pf., *Podocarpidites libellus* Krutzsch, *Tricolporopollenites henrici* Th. & Pf., *T. microhenrici* Th. & Pf., *Tricolporopollenites villensis* Th. & Pf., *T. cingulum fusus* Th. & Pf. и др.) (табела 3). Полен мочварне вегетације (посебно фамилија Cupressaceae, Taxodiaceae, Nyssaceae и др.), присутан углавном испод 10%, доказ је постојања слатке воде (мочварни простори).

На табелама 1 и 2 и дијаграму слике 2 приказани су резултати анализе органских фаација и палинофаација. Аморфна органска супстанца (углавном без флуоресценције), наранцасте до мрке боје, најчешће је присутна у високим процентима. Тамо где је висок удео АОМ утврђена је знатно нижа заступљеност остатака ткива и кутикула (STPM). Из табела 1 и 2 се уочава да у категорији зрна STPM доминантан значај имају остаци гелифицираног ткива (хуминит–витринит), што указује и на израженије преталожавање већ измењеног органског материјала. Категорија зрна ОВ се повремено јавља у високим процентима у испитиваној сукцесији. То сведочи о израженим променама услова акумулације ОВ (са присуством честих турбидитних секвенци?).

Највећи број узорака из појединих секвенци "црвене серије" одликује се повећаним учешћем мање или више разложеног биљног материјала са копна. Виши делови "црвене серије", судећи по заступљености АОМ, највероватније су стварани у средини са мирнијом седиментацијом.

Субакватичност средине потврђују и проблематични наласци перидинеа и дијатомеја (?*Coscinodiscus*).

На основу досадашњих проучавања термичке зрелости керогена и геотермије седимената пребадена, бадена и сармата у депресији Дрмно (Ерцеговац и Костић, 1993) према тренду пораста температуре са дубином претпоставља се да температура у седиментима "црвене серије" на дубини од 1400 m (Сир–13) до 3030 m (Бра–Маљ–1) износи између 80–150°C. Средње вредности за рефлексију налазе се у опсегу 0.52–0.62% R_g, што значи да се кероген налази у фази ране катагенезе.

Отнанг–карпат

Седименти отнанг–карпата у депресији Дрмно леже преко "црвене серије" и представљени су хетерогеним литолошким саставом (пешчари, алевролити, глинци, конгломерати, ређе лапорци, песковити и лапоровити кречњаци и др.). Они имају променљиву дебљину; од 50 m (буш. Бра–Маљ–5) до 320 (Бра–Маљ–1). На основу анализе остракодске и фораминиферске фауне Гагић (1990) сматра да ови седименти припадају отнанг–карпату. Седименти отнанг–карпата стварани су у морској и бочатно–језерској средини (Ерцеговац и др., 1993).

Карактеристике палиноморфи из отнанг–карпата депресије Дрмно веома су блиске са описаним асоцијацијама из карпатског ката Мађарске (Nagy, 1969; 1992), посебно по садржају спора Pteridophyta, као и са зонама MF–4 (горњи отнанг–најнижи карпат) и MF–5 (карпат–доњи баден) Словачке (Planderova, 1990). У отнангу на простору Словачке је владала топла клима веома погодна за развој суптропске вегетације типа Schizaceae–Nyssaceae–Myricaceae–Cyrillaceae.

У седиментима отнанг–карпата уочена је већа разноврсност спора Pteridophyta са богатом орнаментиком (*Polypodiaceoisporites* cf. *simplicatus* Nagy, *P. muricinguliformis* Nagy, *Mecsekisporites miocaenicus* Nagy, *Cicatricosisporites* sp., *Verrucatosporites alienus* Th. & Pf. и др.) и полена четинара. У асоцијацијама из појединих узорака јављају се заједно палиноморфе суптропских и умерено–топлих биљних облика (*Leio-triletes adriennis pseudomaximus* Krutzsch, *Cicatricosisporites* sp., *Juglanspollenites verus* Raatz, *Tricolpopollenites* cf. *asper* Th. & Pf.), али се генерално може закључити да је владала релативно топла клима у којој су преовлађивале листопадне шуме речних долина (*Alnus*, *Pterocarya*, *Carya*) и суптропске четинарске шуме.

У седиментима отнанг–карпата јављају се многе преталожене споре и полен из мезозоица и палеогена, које су често оштећене услед дужег транспорта.

Према количини и карактеру АОМ, STPM и ОВ седиментација се претежно одвијала у релативно мирној средини. Присуство спора Pteridophyta и полена суптропских хидрофилних биљака указује на ограничене средине седиментације у испитиваној сукцесији (мочварне фације и др.). Постојање морских услова у појединим деловима сукцесије утврђено је на основу налазака фитопланктонских остатака (*Cymatiosphaera* sp., *Tythodiscus* sp., Dinoflagellateae gen. et sp. indet.).

Из табела 1 и 2 може се констатовати изразита доминација АОМ у испитиваној сукцесији, са изузетком узорака 1134 и 1141. Аморфни тип керогена (АОМ) је претежно тамно–жуте до мрке боје. Са АОМ ретко је удружен фрамбоидални пирит, што указује на низак степен његове минерализације. Учешће категорије зрна STPM (табеле 1 и 2) у већим процентима (30.0–60.0%) запажено је у мањем броју испитиваних узорака у сукцесији отнанг–карпата. Чешће појављивање зрна STPM поклапа се са повећаним учешћем категорије ОВ у истим узорцима. То свакако указује да су у појединим деловима депресије Дрмно постојале фазе седиментације са израженијим терестричним инпутом.

Седименти отнанг–карпата, који се у депресији Дрмно налазе на различитим дубинама (1600–2600 m) одликују се температуром која се креће од 75–135°C. Степен рефлексије витринита се креће између 0.45–0.50% R_g, што указује на недовољну термичку зрелост керогена (касна дијагенеза–рана катагенеза), иако ове творевине припадају продуктивној серији са нафтом.

Баден

Седименти бадена, дебљине око 500 m. на простору депресије Дрмно, карактеришу се јако израженим фаацијалним променама (пешчари, лапорци, глинци, алевролити и кречњаци). Највећу дебљину баден има у бушотини Бра-Маљ-1 (830 m), а према сеизмичким профилима његова дебљина у депресији износи и до 1250 m (Ерцеговац и др., 1993). Ови седименти су настали у морским условима; њихова старост је документована богатом микрофауном фораминифера, на основу којих је Гагић (1990) констатовала присуство доњег, средњег и горњег дела бадена. На стварање баденских седимента у типичним морским условима указује присуство Перидинеа (?*Cleistospaeridium* sp., ?*Homotryblum* sp. и други родови који су познати из палеогених и неогених морских седимента Средње и Јужне Европе), као и веће количине витринита и инертинита.

Неки узорци из бадена садрже полен четинара и до 70%, што је посебна карактеристика палиноспектара средњег и горњег миоцена. У њима је присутан и полен четинара умерено-топле климе (*Abies*, *Tsuga*, *Larix*). Учешће спора Pteridophyta је мање у односу на спектре из старијих седимената у депресији Дрмно. Ограничени мочварни простори такође су документовани (Taxodiaceae, Myricaceae). У бадену је запажено значајније мешање суптропских и арктотерцијарних облика, с напоменом да се увећава удео арктотерцијарних елемената (*Tricolpopollenites asper* Th. & Pf., *Juglanspollenites verus* Raatz, *Faguspollenites* sp.). Клима је била топла и релативно влажна (табела 3).

Баденска микрофлора из депресије Дрмно показује одређене сличности са микрофлором средњег миоцена Пољске (Kohlman-Adamska, 1993; из Planderova, 1990) као и са зонама МФ-6 и МФ-7 (горњи баден) Словачке (Planderova, 1990). У асоцијацијама доминира полен четинара (Pinaceae); често су присутни облици влажних долинских шума (*Alnus*, *Myrica* и Taxodiaceae) и умерено топли облици (*Juglans*, *Quercus*, *Ulmus* и др.) Арктотерцијарни четинари (*Abies* и *Tsuga*) чешће се јављају у седиментима млађим од бадена (табела 3).

Из табела 1 и 2, као и дијаграма са слике 2, уочава се да је највећи број испитиваних узорака из бадена окарактерисан ниским садржајем АОМ и доминацијом категорија STPM и OB, што се може тумачити повишеним хидродинамичким условима средине са повишеним терестричним инпутом. У целини посматран састав баденских органских фаација и палинофаација битно се разликује од оних у отнанг-карпату.

Седименти бадена имају релативно уједначен пораст температуре са дубином (65–120°C). Према измереним вредностима за рефлексiju витринита (0.45–0.53% Rg) кероген се такође налази на сличном степену термичких промена као и кероген из отнанг-карпата.

Сармат

Према подацима из истражних бушотина творевине сармата изграђене су од тамносивих и сивих, ламинираних и песковитих лапораца у смени са лапоровитим глинама, песковитим алевролитима и ситнозрним пешчарима. Дебљина сарматских седимената износи од 240–600 m. Они су настали у бракичном морском басену (Гагић, 1990; Ерцеговац и др., 1984, 1993).

Из сарматских седимената добијена је богата асоцијација фосилних спора и полена. Поленова зрна четинара су најбројнија (понекад и 75% од укупног броја палиноморфи); чешће је појављивање полена *Tsugae* (*Tsugaepollenites verrucatus* Nagy, *T. viridifluminipites* R. Pot. и др.). Палиноморфе мочварних биљака имају такође значајан удео у палиноспектрима, по чему се може закључити да су постојали повољнији услови за развој мочварних простора у приобалном региону (табела 3). Палинолошке асоцијације из сармата највише сличности показују са сарматским зонама из Словачке (MF-7-9; Planderova, 1990) и Мађарске (PN-9; Nagy, 1992). Поред доминације полена четинара (Pinaceae, *Tsuga* и др.), значајнију улогу имају облици карактеристични за умерено-топлу климу (*Quercus*, *Fagus*, *Juglans*, *Carya* и др; табела 3). Слично узорцима из бадена, и овде је уочена доминација категорија зрна STPM и OB (табеле 1 и 2), што је индикација повећаног терестричног инпута. Однос заступљености издвојених категорија палинофација и типова керогена у сармату приказан је на дијаграмима (сл. 2, 3). Поред преталожених витринита, значајно је учешће преталожених палиноморфа. Постојање субакватичне седиментационе средине потврђују и остаци бројних *Peridinea* (носебно врсте рода *Spiniferites*). Карактер органских фација и палинофација указује на средину седиментације релативно високог енергетског потенцијала.

Сарматски седименти се одликују нижим температурама (50–105°C) и вредностима за рефлексију витринита (0.36–0.47% Rr); кероген се налази у фази дијагенезе.

ЗАКЉУЧАК

Детаљна анализа органских фација и палинофација из миоценских седимената депресије Дрмно омогућила је да се закључи следеће:

1. Седименти "црвене серије" (пребаден) мешовито субакватичног до континенталног развоја са јако променљивим режимом седиментације карактеришу се присуством различитих органских фација и палинофација у испитиваним узорцима који су стварани у суптропским климатским условима. Средња вредност за АОМ:STPM износи 3.79, за АОМ:OB 6.09, а за STPM:OB 2.79. У целини посматрано чешће се јављају узорци са АОМ у односу на терестрични инпут (STPM и OB), што се позитивно одражава на њихов нафтни потенцијал. Средњи садржај АОМ износи 42.0%, STPM 28% и OB 23%, а палиноморфи 7%.

2. Творевине отнанг–карната карактерише честа измена депоната са променљивом количном органске материје, која зависи од услова седиментације. Према доминантном типу органских фација (АОМ) у највећем броју узорака из отнанг–карната може се закључити да преовлађују мирне средине седиментације са израженим морским утицајем. Средња вредност за АОМ:STPM износи 4.41, за АОМ:OB 6.76 и за STPM:OB 2.50, што значи да се може говорити о сличним условима акумулације органске материје за време стварања пребаденских творевина у депресији Дрмно. Они су нешто повољнији у отнанг–карнату. Средњи садржај АОМ износи 58.0%, STPM 23.0%, OB 14.0% и палиноморфи 5.0%.

3. Услови седиментације и акумулације органске супстанце битно се мењају у бадену. Седиментација се одвија у правој морској средини, али са више израженим терестричним инпутом. У највећем броју случајева смањује се удео АОМ (17.0%), а повећава учешће OS типа STPM (54.0%) и OB (24.0%); учешће палиноморфа је

слично као и у отнанг–карпату (5.0%). Средња вредност за односе АОМ:STPM износи 0.87, за АОМ:ОВ 1.23 и за STPM:ОВ 3.54. Ови односи несумњиво указују на повећан утицај органске супстанце терестричног порекла, што се неповољно одражава на њихов укупни нафтни потенцијал, тим пре што се кероген налази у фази касне дијагенезе и ране катагенезе.

4. Сличне карактеристике у погледу састава органске фаације са творевинама бадена показују седименти сармата. Садржај АОМ износи 23.0%, STPM 51.0%, ОВ 21.0% и палиноморфи 5.0%. Средња вредност из односа АОМ:STPM износи 0.53, из АОМ:ОВ 3.9 и из STPM:ОВ 5.9.

5. За реконструкцију палеосредина коришћен је однос ОВ:STPM из анализе органских фаација и палинофаација (табела 1). За седименте "црвене серије" он износи 0,82, за отнанг–карпат 0,60, за баден 0,44 и за сармат 0,41. Средње вредности се смањују од "црвене серије" према сармату. На основу поменутог односа може се закључити да у пребадену преовлађују дисталине аноксичне фаације у којима АОМ има најчешће доминантну улогу. Ретко присуство кутикула такође више карактерише дисталне аноксичне фаације. Међутим, ниже вредности из овог односа за баден и сармат више упућују на једну делтну седиментацију са значајним присуством органске материје терестричног порекла (проксимални делови?). У њима је утврђен низак садржај АОМ.

6. Судећи по карактеру палинофаација и седиментације нису постојали повољни услови за стварање мочварних фаација на већем простору у сукцесији миоценских седимената депресије Дрмно. Брзона спуштања дна басена и начин његовог запуњавања, посебно у време стварања "црвене серије", нису били погодни за биопродукцију и акумулацију органске материје.

У току стварања миоценских седимената на овом простору могу се издвојити краткотрајне фазе мировања басена, што се одразило на повећано учешће аморфне органске супстанце (АОМ) и смањивање садржаја терестричног биљног материјала. На присуство делтних услова седиментације, као и каналних седимената на већем делу истраживаног простора, свакако указује количина и слаба сортираност органске супстанце терестричног порекла. Честе промене садржаја и типа органске материје су свакако доказ веома хетерогених услова седиментације у времену и простору.

| | | | | |
|--|----|---|---------|---|
| Геол. ан. Балк. пол. Ann. Geol. Penins. Balk. | 61 | 1 | 143-165 | Београд, децембар 1997 Belgrade, Decembre 1997 |
|--|----|---|---------|---|

UDC 551.352.4:551.782.11/.13(497.11)

Original scientific paper

MIOCENE SEDIMENTARY ORGANIC FACIES AND PALYNOFACIES IN DRMNO DEPRESSION (SERBIA)

by

Marko D. Ercegovac^{*}, Maja M. Jeremić^{*} and Slavica B. Djajić^{**}

This work describes organic-petrographic and palynological characters of Miocene sedimentary organic facies and palynofacies of Drmno (Kostolac) depression. Sediments of pre-Bademan ("red series" and Otnangian-Karpatian), Badenian and Sarmatian have also been studied. Palynofacies are correlated with kerogen types from the mentioned stratigraphic units. Palaeoecological study of palynomorphs is used to identify types of vegetation and deduce the sedimentation environments.

Key words: Organic facies and palynofacies, kerogen, sedimentation environment, Miocene, Drmno.

Complex petroleum-geological explorations in Tertiary sediments of Pomoravlje, Drmno (Kostolac) depression in particular, included a detail study of organic facies and palynofacies from pre-Badenian ("red series" and Otnangian-Karpatian), Badenian, and Sarmatian sedimentary rocks. The explorations produced information on organic matter (kerogen) and sedimentation environments for a succession of Miocene rocks in Drmno depression. The exploration results and other relevant organic-geochemical data helped us to assess the petroleum-gas resources of the region.

An estimate of the quantity and quality of organic matter in sedimentary rocks, which always depend on primary bioproduction, accumulation, biochemical degradation, and sedimentation processes, is particularly important in modern petroleum-geological explorations. Biodegradation is much faster in organic matter of marine than terrestrial derivation. Palynofacies essentially depend on the origin of organic matter and level of biodegradation (Demaison and Moore, 1980).

Organic matter of rock, denoted as organic facies, is estimated by various parameters of organic petrography and geochemistry. Various definitions and classifications of organic facies have been proposed. The term "organic facies" is introduced by Rogers (1980).

^{*} University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Institute of Regional Geology and Paleontology, Kamenicka 6, Belgrade.

^{**} Genini Geological Institute, Karadjordjeva 48, Belgrade.

in: Tyson, 1995) to mean the organic content of a sediment, origin of organic matter, and environment of sedimentation. Jones (1983) and Jones and Demaison (1980) define organic facies within certain stratigraphic units only on the basis of organic content, without respect to the lithology. Tyson (1995) interprets organic facies as a "part of sediment containing a varied association of organic remains which can be recognized in microscope and determined using geochemical methods". Combaz (1964) and Powell et al. (1990) consider the concept of palynofacies, which is an assemblage of different organic remains produced by chemical decomposition of rock (HCl, HF). Composition of a palynofacies depends on the origin and sedimentation environment. Habib (1982) and Tyson (1995) maintain that palynofacies are a particular aspect of the organic facies study; these are "palynologically defined organic facies".

SAMPLES AND ANALYTICAL METHODS

Organic facies and palynofacies from Miocene rocks of Drmno depression are analyzed on samples from pre-Badenian ("red series" and Ottungian-Karpatian), Badenian, and Sarmatian sedimentary rocks. Sample numbers and sampling depths are given in Tab. 1 and 2.

Total organic matter was studied on kerogen concentrations, obtained by treating all samples with HCl (carbonate dissolution) and HF (silicate dissolution). For dissolution of extraneous gelosic materials, diluted HCl (5%) was used, and 10% NaOH for sample neutralization. Organic matter was separated from rock by centrifugation in heavy liquid (ZnCl_2 ; $d=1.9-2.0 \text{ g cm}^{-3}$). Qualitative-quantitative analysis of organic matter was performed in microscope using transmitted and reflected normal and fluorescent lights. The results are given in Tab. 1 and 2.

Organic material in selected samples was microscopically analysed in classes given in Tab. 1. The classification is based on many references: Masran and Pocock (1981), Ercegovac et al. (1992), Pocock et al. (1988), and Tyson (1995), etc. Various types of organic facies and palynofacies are classified in relation to the origin of the organic matter. Relatively more autochthonous character is possessed by phytoplankton remains, spores, and amorphous organic matter, whilst allochthonous fragments are those of STPM (cuticles, tissue, and especially gelified remains corresponding to maceral groups huminite-vitrinite) and OB (mainly inertinites) classes.

The analysis of palynofacies was used to reconstruct the sedimentation environment within the succession of Miocene sediments in Drmno depression. Characteristics of organic facies and palynofacies are correlated with the available data on the lithofacies from which the analysed samples were taken. Particularly interesting from the petroleum-geologic aspect are correlations between palynofacies and degree of thermal transformation in sapropelic and coaly types of kerogen. The evolution of Miocene flora controlled by palaeoclimatic and palaeoecological conditions in the general Paratethys served as the principal criterion for reconstruction of the sedimentation environments in the Drmno depression domain (Thomson and Pflug, 1953; Pantić, 1956; Pantić and Mihajlović, 1980; Nagy, 1969, 1992; Planderova et al., 1975; Planderova, 1990; and others).

For reconstruction of the environments of sedimentation and accumulation of organic material in Drmno depression region, other criteria also were used deduced from parallel study of organic matter in transmitted and reflected lights (palynology and organic petro-

graphy). The uniform composition of taxa in the palynomorph association indicates "limited" (isolated) sedimentation environments in relation to the exploration region. The lack of palynomorphs is a common sign of unsuitable conditions for development of vegetation or of increased oxidation in the stage of sedimentogenesis and diagenesis, usually accompanied by high inertinite rate. The dominant kerogen type is used as one of criteria for identification of the accumulation and transformation of the overall organic matter environments. High vitrinite and inertinite, and phytoplankton (peridinae, coccolithophoridae, prasinophytae, etc.) abundance indicates marine sedimentary conditions. Zones with dominant amorphous organic matter (AOM) usually have increased pyrite, and are characterized by calm sedimentation regime (without bioturbation) and anoxic conditions. Where organic matter of terrestrial origin (STPM) is dominant, the proximity of coast is presumed, because it is transported from land into an aquatic environment of sedimentation is characterized by a high rate of reworked palynomorphs and a very low sorting of organic remains. A result of this sedimentation is the presence of mixed kerogen types in the same samples. Laminate organic microstructures are lacking in these environments.

STUDY RESULTS

Principal characteristics of organic facies and palynofacies, and of the environments of organic matter sedimentation and accumulation in Miocene rocks of Drmno depression are given in Tab. 1, 2 and 3. Ternary diagrams (Figs. 2 and 3) graphically depict positions and interrelationships of the selected classes of organic facies and palynofacies, and of kerogen types, for the analysed lithostratigraphic units. The diagrams allow correlation of parallelly studied organic matter in transmitted and reflected lights. They indicate the petroleum-gas potential of pre-Badenian, Badenian and Sarmatian rocks.

"Red series" (pre-Badenian)

The "red series" sediments, based upon superposed stratal continuity in test holes (Sir. 1, Bra-Malj-1, Malj-Bub-1, etc.), are provisionally assigned to the Lower Miocene. The series varies in thickness from 150 to 530 metres and has a complex lithologic composition (varicoloured sandy marlstones, shales, fine- and medium-grained sandstones, etc). The rocks were formed under mixed subaquatic to continental conditions of prevailing terrigenous sediments (Ercegovac et al., 1990).

Rocks of the "red series", denoted pre-Badenian, are most likely Lower Miocene according to the palynofloral character, though the presence of Upper Oligocene is not ruled out. "Red series" rocks are taken in this work to be of Upper Oligocene/Lower Miocene (transitional beds) age. The only palaeoecological material found in these rocks are forms of *Polypodiaceoisporites marxheimensis* Krutzsch, *Ephedripites (Distachyapites) tertarius* Krutzsch, *Engelhardtoidites microcoryphaeus* R. Potonie, *Tricolporopollenites villensis* Th. & Pf., *Tetracolporopollenites* sp., and *Boehlensipollis* sp., which permit the above dating of the "red series". Comparatively, a similar association of spores and pollen, found in deposits between 1140 m and 1300 m deep (hole Grocka-1) beneath Badenian, is faunally documented (Knežević et al., 1994).

Palynomorphs from "red series" resemble palynomorphs from the lower part of Egerian of Hungary (Nagy, 1992) and Eggenburgian of Slovakia (MF-2 and MF-3 zones, Planderova, 1990). The character of microflora suggests deposition in limited aquatic environments (lakes) under brackish development conditions (sporadic dinocysts). Dominant in palynomorph associations are pollen of conifers (allochthonous) and subtropical vegetation of the hill slopes (*Pityosporites microalatus* Th. & Pf., *P. labdacus* Th. & Pf., *Podocarpidites libellus* Krutzsch, *Tricolpopollenites henrici* Th. & Pf., *T. microhenrici* Th. & Pf., *Tricolpopollenites villensis* Th. & Pf., *T. cingulum fusus* Th. & Pf., etc.) (Tab. 3). Pollen of swamp vegetation (especially the families *Cupressaceae*, *Taxodiaceae*, *Nyssaceae*, etc.), commonly contained by less than 10%, is an evidence of fresh water (swamps).

Tables 1 and 2 and diagram in Fig. 2 give the analytical results for organic facies and palynofacies. Amorphous organic matter (mostly without fluorescence), orange to brown in colour, is mostly very abundant. Where AOM is abundant, the rate of leaf tissue and cuticle remains (STPM) is very low. Tables 1 and 2 show that of dominant importance in the size class STPM is that of gelified tissue remains (huminite-vitrinite), which indicates a significant redeposition of the altered organic material. Particle size class OB is sporadically high in the studied succession, which is an evidence of notable changes in the organic material accumulation conditions (presence of frequent turbidite sequences?).

The largest number of samples from individual "red series" sequences contain an increased rate of more or less decomposed terrestrial plant materials. The upper parts of "red series", according to AOM abundance, were quite likely formed in an environment of calmer sedimentation.

The subaquaticity of the environment is confirmed by problematic finds of peridinea and diatoms (?*Coscinodiscus*).

On the basis of up to date studies of kerogen thermal maturity and geothermy of pre-Badenian, Badenian and Sarmatian sediments in Drmno depression (Ercegovac and Kostic, 1993), and the temperature rise with depth trend, the supposed temperature in "red series" rocks at depths from 1400 m (Sir-13) to 3030 m (Bra-Malj-1) is between 80 and 150°C. Mean values for vitrinite reflectance are within the range 0.52-0.62% Rr, which implies an early stage of catagenesis.

Ottngian-Karpatian

Ottngian-Karpatian sedimentary rocks in Drmno depression lie over "red series" and have heterogeneous lithological composition (sandstone, siltstone, shale, conglomerate, subordinately marlstone, sandy and marly limestones, etc.). The thickness of the rocks is variable from 50 m (Bra-Malj-5) to 320 m (Bra-Malj-1). Gagic (1990) dates the rocks Ottngian/Karpatian on their ostracod and foraminiferal contents. Ottngian/Karpatian sediments were deposited in marine and brackish-lacustrine environments (Ercegovac et al., 1990).

Palynomorphs from Ottngian/Karpatian rocks of Drmno depression are very similar to those described from Karpatian of Hungary (Nagy, 1969, 1992), particularly in pteridophyte spore content, and to zones MF-4 (Upper Ottngian-lowermost Karpatian) and MF-5 (Karpatian-Lower Badenian) of Slovakia (Planderova, 1990). According to

Planderova (1990), during the Ottnangian in Slovakia prevailed warm climate, suitable for subtropical vegetation of *Schizeaceae*–*Nyssaceae*–*Myricaceae*–*Cyrillaceae* type.

Ottangian–Karpatian rocks contain diverse spores of *Pteridophyta* with rich ornamentation (*Polypodiaceoisporites* cf. *simplicatus* Nagy, *P. muricinguliformis* Nagy, *Mecsekisporites miocaenicus* Nagy, *Cicatricosisporites* sp., *Verrucatosporites alienus* Th. & Pf., etc.) and pollen of conifers. Associations from particular samples include palynomorphs of subtropical and moderate–warm plants (*Leiotriletes adriennis pseudomaximus* Krutzsch, *Cicatricosisporites* sp., *Juglanspollenites verus* Raatz, *Tricolpopollenites* cf. *asper* Th. & Pf.), but a general inference is that the climate was relatively warm in which prevailed deciduous vegetation of flood plains (*Alnus*, *Pterocarya*, *Carya*) and subtropical conifers.

Rocks of Ottnangian–Karpatian age contain an abundance of spores and pollen redeposited from Mesozoic and Palaeogene, which are often damaged in long transport.

Quantities and characters of AOM, STPM and OB suggest sedimentation prevailing in relatively calm environment. The presence of *Pteridophyte* spores of subtropical hydrophyllous plants in the studied succession suggest limited sedimentation environments (swamp facies, etc.). Marine conditions in parts of the succession are identified on phytoplankton remains (*Cymatiosphaera* sp., *Tythodiscus* sp., *Dinoflagellateae* gen. et sp. indet.).

Tables 1 and 2 show a marked domination of AOM in the considered succession, except in samples 1134 and 1141. Amorphous kerogen (AOM) is prevailing dark yellow to brown. Framboidal pyrite is rarely associated with AOM, indicating its low mineralization. Particle size class STPM (Tab. 1 and 2) in high percentages (30.0 to 60.0%) is noted in a small number of analysed samples from the Ottnangian–Karpatian succession. The higher STPM size frequency is consistent with the increased PB class in the same samples. This is certainly an indication that there were sedimentation intervals of marked terrestrial supply in parts of Drmno depression.

Ottangian–Karpatian deposits, which lie at various depths (1600–2600 m) in Drmno depression, are characterized by temperatures from 75 to 135°C. Vitrinite reflectance rate rises between 0.45% and 0.50% Rr, which indicates insufficient thermal maturity of kerogen (late diagenesis–early catagenesis), although it is part of a productive petroleum series.

Badenian

Badenian sedimentary deposits, about 500 metres thick in Drmno depression, are characterized by marked facial changes (sandstone, marlstone, shale, siltstone, limestone). Badenian is the thickest (830 m) in hole Bra–Malj–1; seismic profiles show its thickness in the depression up to 1250 metres (Ercegovic et al., 1991). The deposits were laid in marine environments; documented by an abundance of foraminifers, Gagić (1990) determined their Lower, Middle and Upper Badenian age. Sedimentation in typically marine environments is indicated by *Peridinea* (? *Cleistosphaeridium* sp., ? *Homotryblum* sp., and other genera known from Palaeogene and Neogene of Central and South Europe), and large amounts of vitrinite and inertinite.

Some samples of Badenian rocks contain conifer pollen by as high as 70% which is a particular characteristic of Middle and Upper Miocene palynomorph associations. They

include pollen of moderate-warm climate conifers (*Abies*, *Tsuga*, *Larix*). *Pteridophyte* spores are less abundant than in associations of preexisting sediments in Drmno depression. Limited swamp areas are also documented (*Taxodiaceae*, *Myricaceae*). A quite significant mixing of subtropical and arctotertiary forms is noted in the Badenian, with the increasing abundance of arctotertiary elements (*Tricolpopollenites asper* Th. & Pf., *Juglanspollenites verus* Raatz, *Faguspollenites* sp.). The climate was warm and relatively wet (Tab. 3).

Badenian microflora from Drmno depression resembles Middle Miocene microflora of Poland (Kohlman-Adamska, 1993; in Planderova, 1990) and zones MF-6 and MF-7 (Upper Badenian) of Slovakia (Planderova, 1990). A dominant part in associations makes the pollen of conifers (*Pinaceae*), and often there are forms of wet valley forests (*Alnus*, *Myrica*, *Taxodiaceae*) and moderate warm forms (*Juglans*, *Quercus*, *Ulmus*, etc.). Arctotertiary conifers (*Abies* and *Tsuga*) are commoner in late Badenian rocks (Tab. 3).

As can be seen in Tab. 1 and 2 and diagrams in Fig. 2, most of the analysed samples from Badenian are characterized by low AOM content and the dominance of STPM and OB classes, which can be explained by increasingly hydrodynamic environmental conditions and an increased terrestrial material supply. Generally scrutinized, the composition of organic facies and palynofacies significantly differs from those in Ottnangian-Karpatian.

Badenian sediments have relatively uniform temperature rise with the depth (65–120°C). The measured values for vitrinite reflectance (0.45–0.53% Rr) indicate that the level of thermal transformation of kerogen is similar to that from Ottnangian-Karpatian.

Sarmatian

Sarmatian rocks are according to drilling data dark grey or grey, laminate sandy marlstone alternating with marly clay, sandy siltstones, and fine-grained sandstones in a total thickness of 240 to 600 metres. All those rocks formed in a brackish sea basin (Gagić, 1990; Ercegovac et al., 1991).

Sarmatian rocks yielded an abundant association of fossil spores and pollen. Pollen grains of conifers are most abundant (occasionally 75% of all palynomorphs); pollen of *Tsuga* (*Tsugaepollenites verrucatus* Naggy, *T. viridifluminipites* R. Pot., etc.) prevailing over others. Swamp plant palynomorphs also have a significant part in palynomorph associations, which suggests suitable conditions for swamp vegetation in coastal region (Tab. 3). Sarmatian palynological assemblages resemble respective Sarmatian zones of Slovakia (MF-7–9; Planderova, 1990) and Hungary (PN-9; Nagy, 1992). Second most abundant after the pollen of conifers (*Pinaceae*, *Tsuga*, etc.) are forms characteristic of moderate-warm climate (*Quercus*, *Fagus*, *Juglans*, *Carya*, etc.; tab. 3). Like in Badenian samples, these show the prevalence of STPM of OB size classes (Tab. 1 and 2), which is an indication of increased supply of terrestrial material. The abundance rates of the identified palynofacies classes and kerogen types in Sarmatian rocks are given in Figs. 2 and 3. The second highest to resedimented vitrinite is resedimented palynomorphs. A subaquatic sedimentation environment is confirmed by remains of numerous *Peridinea* (species of *Spiniferites* genus in particular). The character of organic facies and palynofacies indicates a sedimentation environment of relatively high water energy.

Sarmatian sediments are characterized by lower temperatures (50–105°C) and vitrinite reflectance values (0.36–0.47% Rr); kerogen is in the diagenetic stage.

CONCLUSION

A detailed analysis of organic facies and palynofacies from Miocene sediments of Drmno depression provided for the following inferences:

1. Sedimentary rocks of "red series" (pre-Badenian) of mixed subaquatic to continental derivation and variable sedimentation regime, are characterized by the presence of varied organic facies and palynofacies in analysed samples which formed under subtropical climatic conditions. The mean values of AOM/STPM, AOM/OB and STPM/OB ratios are 3.79, 6.09 and 2.79, respectively. Generally, samples with AOM are more frequent than the terrestrial input (STPM and OB), which is adding to their petroleum potential. The mean contents are: AOM 42.0%, STPM 28%, and OB 23%, and palynomorphs 7%.

2. Otnangian–Karpatian rocks are characterized by frequent alteration of deposits with variable amounts of organic matter, depending of sedimentation conditions. According to the dominant type of organic facies (AOM) in most of samples from Otnangian–Karpatian rocks, calm sedimentation environments under marine influence are prevailing. Mean AOM/STPM is 4.41, AOM/OB 6.76 and STPM/OB 2.50, which indicates similar conditions of organic matter accumulation during the formation of pre-Badenian rocks in Drmno depression. These conditions are more suitable in the Otnangian–Karpatian, as mean contents are: AOM 58%, STPM 23%, OB 14%, and palynomorphs 5%.

3. The conditions of both sedimentation and accumulation of organic matter substantially changed in the Badenian. The sedimentation environment was marine, but terrestrial input was higher. In most of samples AOM is lower (17%) and organic matter of STPM (54%) and OB (24%) types higher; palynomorph content is similar to that in Otnangian–Karpatian (5%). Mean values of AOM/STPM, AOM/OB and STPM/OB ratios are 0.87, 1.23 and 3.54, respectively. These ratios indubitably indicate the increase in organic matter of terrestrial derivation, affecting their total petroleum potential; this all the more so that kerogen is in the late diagenetic and early catagenetic stages.

4. Similar characteristics in respect of the organic facies with Badenian rocks are possessed by Sarmatian sedimentary rocks. The organic matter contents are: AOM 13%, STPM 51%, OB 21%, and palynomorphs 5%. Mean ratios are AOM/STPM 0.53, AOM/OB 3.9, and STPM/OB 5.9.

5. For reconstruction of the palaeoenvironments the ratio OB/STPM was used from the analysis of organic facies and palynofacies (Tab. 1). For "red series" rocks it was 0.82, for Otnangian–Karpatian 0.60, for Badenian 0.44, and Sarmatian 0.41. The mean values decrease from the "red series" to the Sarmatian. The mentioned ratio suggests for the Badenian the prevalence of distal anoxic facies with mainly dominating AOM. Sparse cuticles also characterize more the distal anoxic facies. However, lower values of this ratio for Badenian and Sarmatian are more indicative of a deltaic sedimentation at a significant rate of terrestrial organic matter (proximal parts?). Their AOM content is low.

6. Judging by the character of palynofacies and sedimentation, the conditions were not suitable for the formation of swamp facies over a large area in the succession of

Miocene deposits of Drmno depression. The rate of the basin subsidence and the manner of its filling, particularly during the "red series" formation, were not suitable for bioproduction and accumulation of organic matter.

The period of Miocene sediment deposition in this region was interrupted by short quiescent intervals in the basin, which resulted in increased deposition of amorphous organic matter (AOM) and decreased terrestrial plant material. The presence of deltaic sedimentation conditions, and channel sediments over most of the study region, is certainly indicated by the quantity and poor sorting of terrestrial organic matter. Frequent change in the content and type of organic matter is a certain evidence of very heterogeneous sedimentation conditions in time and area.

ЛИТЕРАТУРА – REFERENCES

- Combaz A., 1964: Les palynofaciés.— *Rev. Micropaleontol.*, 7, 205–218.
- Demaison G. J. and Moore G. T., 1980: Anoxic environments and source oil genesis.— *Organic Geochemistry*, 2, 9–31.
- Ерцеговац М. и Виторовић Д. (=Ercegovac and Vitorović), 1984: Могућност генезе угљоводоника у терцијарним седиментима Поморавља и Подунавља (Србија).— *Геол. ан. Балк. пол.*, 48, 215–230. Београд.
- Ерцеговац М., Обрадовић Ј. и Виторовић Д. (=Ercegovac et al.), 1992: Карактеристике органских фација и средине седиментације мезозојских и терцијарних творевина у приобалном делу Црне Горе.— *Ibid.*, 56/2, 1–15. Београд.
- Ерцеговац М., Грубић А., Ђоковић И., Кузељевић Б., Маровић М., Виторовић Д., Бранковић М., Гркавац С., Костић А. и Прстојевић Б. (=Ercegovac et al.), 1993: Прилог познавању геолошко–геохемијских карактеристика депресије Дрмно (Србија) са аспекта нафтно–газног потенцијала.— *Ibid.*, 57/1, 373–393. Београд.
- Ерцеговац М. и Костић А. (=Ercegovac and Kostić), 1993: Термичка зрелост керогена и геотермија неогених седимената у депресији Дрмно (Србија).— *Ibid.*, 57/2, 331–356. Београд.
- Гагић Н. (=Gagić), 1990: Први налази микрофосилних заједница карпатијена и отнангијена у Пожаревачком подунављу (Стиг, Србија).— *Ibid.*, 54, 277–285. Београд.
- Habib D., 1982: Sedimentary supply origin of Cretaceous black-shales. In: Schlanger S. O. and Cita M. B. (Eds.) *Nature and Origin of Cretaceous Carbon-Rich Facies*.— Academic Press, 113–127, London.
- Jones R. W. and Demaison G. J., 1980: Organic facies – stratigraphic concept and exploration tool.— *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, 64, 729 p.
- Jones R. W., 1983: Organic matter characteristics near the shelf–slope boundary.— *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (SEPM), Special Publication*, 33, 391–405.
- Кнежевић С., Спајић О., Павловић М., Ерцеговац М. и Петровић М. (=Knežević et al.), 1994: Стратиграфска проучавања терцијарних наслага у бушотини Г–1 у Гроцкој.— *Геол. ан. Балк. пол.*, 58/1, 39–49. Београд.
- Masran Th. C. and Pockock S. A. J., 1981: The classification of plant derived organic matter in sediment. In: J. D. Brooks (Ed.) *Organic maturation studies and fossil fuel exploration*.— Academic Press.
- Nagy E., 1969: Palynological elaborations the Miocene layers of the Mecsek Mountains.— M.
- Nagy E., 1992: A comprehensive study of Neogene sporomorphs in Hungary.— *Geologica Hungarica*, 53, Inst. Geol. Hung., 379 p., Budapest.
- Пантић Н. (=Pantić), 1956: Биостратиграфија терцијарне флоре Србије.— *Геол. ан. Балк. пол.*, 24, 199–321. Београд.

- Пантић Н. и Михајловић Ђ. (=Pantić and Mihajlović), 1979/80: Neogene флоре Балканског копна и њихов значај за палеоклиматологију, палеобиогеографију и биостратиграфију (III).— Геол. ан. Балк. пол., 43–44, 239–261. Београд.
- Planderova E., Klaus W. and Nagy E., 1975: Palynologische Charakteristik der Egerien und mikrofloristische Korrelation der Schichtengruppen in der Tschechoslowakei, Ungarn und Österreich.— Chronostratigraphie und Neostatotypen, V. Veda, 553–577, Bratislava.
- Planderova E., 1990: Miocene microflora of Slovak Central Paratethys and its biostratigraphical significance.— Dionyz Štúr Institute of Geology, 144 p., Bratislava.
- Pocock S. A. J., Vasanthi G. and Venkatachala B. S., 1987–88: Introduction to the study of particulate organic materials and ecological perspectives.— Journal of Palynology, Vol. 23–24, G. Thanikaimoni Memorial Volume, 167–188, New Delhi.
- Powell A. J., Dodge J. D. and Lewis J., 1990: Late Neogene to Pleistocene palynological facies of the Peruvian continental margin upwelling, Leg 112. In: Suess E. et al. (Eds.) Proceedings of the Ocean Drilling Project, Scientific Results, ODP, College Station, Texas, 112, 297–321.
- Thomson P. and Pflug H., 1953: Pollen und Sporen des Mitteleuropäischen Tertiärs.— Paleontographica, B, 94, 138 S., Stuttgart.
- Tyson R. V., 1995: Sedimentary organic matter: organic facies and palynofacies.— Chaman & Hall.