СПИСАНИЕ НА БЪЛГАРСКОТО ГЕОЛОГИЧЕСКО ДРУЖЕСТВО,
год. 82, кн. 2, 2021, с. 27–32

REVIEW OF THE BULGARIAN GEOLOGICAL SOCIETY,
vol. 82, part 2, 2021, p. 27–32

Палинофациалният анализ – същност и приложение за възстановяване на палеогеографските обстановки: примери от България

Полина Павлишина

Софийски университет „Св. Климент Охридски“, София 1504

Palynofacies analysis – principles and application for paleoenvironmental studies: implications from Bulgaria

Polina Pavlishina

Sofia University “St. Kliment Ohridski”, 1504 Sofia, Bulgaria; E-mail: polina@gea.uni-sofia.bg

Abstract. The use of palynofacies analysis has been steadily increasing during the last decades. This stems from both commercial interests (i.e., hydrocarbon exploration) and academic research of past environments and studies of the global climate changes that took place during the Phanerozoic. In both commercial and academic contexts, there is a need for a better understanding of palaeoenvironmental changes in order to correctly date and interpret the depositional facies recorded in boreholes and outcrops. The present paper introduces this important analysis in the Bulgarian literature with characteristic examples of different palynofacies types documented by the author in Cretaceous sections in Bulgaria and their interpretation. These examples highlight the value of using palynofacies and palynomorph associations in an integrated approach for paleoenvironmental reconstructions in Bulgaria.

Keywords: palynofacies analysis, palynomorphs, amorphous organic matter, phytoclasts.

Резюме. Палинофациалният анализ е един от най-съвременните и използвани методи в палинологията през последните десетилетия. Това произтича както от приложението му в геоложката практика при проучването за въглеводороди, така и в научните изследвания за възстановяване на палеообстановките и изучаване на глобалните климатични промени през Фанерозоя. И в двата случая е необходимо по-пълно разбиране за промените в палеосредата, за да си позволим прецизно датиране и интерпретация на фациесите, които установяваме в сондажите и разкритията. Настоящата публикация обобщава основните принципи и начини на приложение на този важен и използван метод и го въвежда в българската литература с илюстративни примери от кредитни разрези в България, изследвани от автора, и тяхната интерпретация. Тези примери очертават приложението и стойността на комплексното използване на палинофациалните и палинологични данни при палеогеографските реконструкции в България.

Ключови думи: палинофациален анализ, палиноморфи, аморфно органично вещество, фитокласти.

Въведение

Палинофациалният анализ е най-съвременният и комплексен метод, съпътстващ всяко палинологичко изследване. С него се анализира цялото съдържание на органично вещество в палинологичките препарати, след специфичната за това изследване лабораторна обработка и независимо дали те съдържат фосили. Отчитат се количествените взаимоотношения между отделните категории органично вещество, анализира се тяхното поведение при евентуален транспорт и

в процеса на седиментация. Палинофациалният анализ дава ясни сигнали за дълбочината на отлагане на седиментите, динамиката на средата, наличието на безкислородни обстановки, привноса на континентални елементи и продължителността на техния транспорт в басейна и съответно трансгресивните и регресивни насоки в неговото развитие.

За първи път терминът палинофацис е предложен от Combaz (1964) за означаване на цялото количество киселинноустойчиво органично вещество, получено от седиментите след па-

линоложката обработка. Принципите на палинофацалния анализ са въведени и развити от Tyson (1993, 1995), който отново дефинира палинофациеса като цялото количество органична материя, съдържаща се в седиментните скали в рамките на определена обстановка на седиментация. Според него, палинофацалният анализ представлява идентифициране на установените палиноморфи, растителни останки (фитокласти) и аморфно органично вещество, дефиниране на техните абсолютни и относителни количествени взаимоотношения, определяне на размерите и формата на частиците и степента на запазеност. Tyson (1995) предлага модели на разпространение на органичното вещество в стратиграфските последователности и различните части на басейна и извежда принципите за интерпретиране на разграничените типове палинофациеси. Така дефиниран палинофациесът носи изключително богата информация. От една страна, тя е био- и хроностратиграфска чрез таксономично определяне на установените палиноморфи. От друга страна, той определя условията на седиментация, отдалечеността от бреговата линия, палеогеографските и палеоекологичните параметри.

Целта на настоящата публикация е да обобщи основните принципи и начини на приложение на този сравнително нов, модерен и изключително използван метод и така да го въведе в българската литература с достъпни и илюстративни примери от кредни разрези в България и тяхната интерпретация.

Същност и параметри

Палинофациесът съдържа следните две основни групи органично вещество: 1. континентална фракция, включваща фитокласти, дървесина, кутикули, корк, клечки, спори и полен; 2. морска фракция или морски елементи, представени от динофлагелатни цисти, акритархи, хитинозои, сколекодонти, органичната част от фораминиферните черупки и аморфна органика. Количествените взаимоотношения между тези отделни категории органично вещество се отчитат представително чрез броене на 300 до 400 частици от всеки препарат.

Следвайки класификациите на Tyson (1995) и Batten (1996) в препаратите се анализират и интерпретират следните основни палинофацални параметри: 1) коефициент на континенталните към морски елементи (CONT/MAR ratio); 2) коефициент на непрогледните (opaque) към прозрачните (translucent) и структурирани фитокласти (OP/TR ratio); 3) размер и форма на непрогледните фитокласти; 4) количество

аморфна органика (AOM); 5) процент на палиноморфите спрямо цялото количество органично вещество; 6) коефициент на перидиниевите към гониолаксовите диноцисти. Относителното съдържание на отделните типове органично вещество се оценява визуално с броене в палиноложките препарати.

Коефициент на континенталните към морските елементи (CONT/MAR ratio). Съставът и относителното количество на континенталната фракция отразява отлично параметри като близостта на бреговата линия и дълбочината, количеството на континенталния привнос в басейна, както и състава на растителността върху подхранващата провинция чрез определените видове спори и полен. Този коефициент намалява отчетливо в дълбочина и с отдалечаване от бреговата линия. В секвентностратиграфски смисъл, коефициентът CONT/MAR се увеличава във възходящо изплитняваща стратиграфска последователност и може да документира проградирани или ретроградни брегови линии (Tyson, 1995). Високите стойности на коефициента, съответно значителното количество на континенталните елементи, е характерно за крайбрежните, делтовите и лагунните обстановки. Фигура 1a, b показва палинофациес, богат на континентални елементи, представени от едри структурирани фитокласти и кутикули от разреза при Врабчов дол, Западно Средногорие. Той индикира силно проксимална до лагунна обстановка на седиментация.

Коефициент на непрогледните (opaque) към прозрачните (translucent) и структурирани фитокласти (OP/TR ratio). Коефициентът нараства в дълбочина. В по-дълбоките обстановки количеството на непрогледните фитокласти нараства като резултат от процесите на фрагментация, а също и от по-високия потенциал на запазване на непрогледните фитокласти (Tyson 1993, 1995; Bombardiere, Gorin, 1998, 2000). Много често непрогледните фитокласти се получават и за сметка на прозрачните в процеса на транспорт и окисление в басейна, като количеството им отново е сигнал за по-дълбоководна обстановка на седиментация. Фигура 1h показва палинофациес със значително количество непрогледни фитокласти от Кампанския етаж при с. Петрич, Централно Средногорие. Той индикира, наред с другите параметри, дистална обстановка на седиментация, най-вероятно в областта на средния и външния шелф.

Размер и форма на непрогледните фитокласти. Те са допълнителни белези за разчитане на проксимално-дистални и трансгресивно-регресивни трендове в изучаваните стратиграфски последователности. Малките издъл-

жени фитокласти са характерни за дисталните обстановки, докато крайбрежните, делтовите и най-общо проксималните обстановки се характеризират с преобладаване на големи структурирани фитокласти, които са претърпели кратък транспорт и промяна близо до бреговата линия. Като допълнение, проксималните ансамбли показват и отчетливо разнообразие в размера и формата на частиците, отново поради липса на сортировка и по-продължителен транспорт (Tyson 1993). Сигнали за близостта на бреговата линия или делтови обстановки дава и преобладаващото количество на прозрачна структурирана органика, представена от кутикули, дървесина и прозрачни фитокласти. Фигура 1c, d илюстрира проксимален палинофациес, показващ отчетливо разнообразие в размера и формата на частичките от долноаптския подетаж в разреза при с. Бутово, Централна Северна България.

Количество на аморфното органично вещество (АОМ). Високите количества аморфно органично вещество (АОМ) са резултат от комбинацията на нискоенергийни обстановки и добри условия на запазване. Палинофациесите с високи количества аморфна органика индикират дистални, нискоенергийни морски условия на седиментация. Запазването на АОМ и високите количества в палиноложките препарати са директен сигнал за аноксични условия на седиментация и съответно висока първична биопродуктивност в басейна (Tyson, 1993). Фигура 1e показва палинофациес с високо количество аморфно органично вещество от горноалбския подетаж в разреза при с. Толовица, Северозападна България.

Процент на палиноморфите спрямо цялото количество органично вещество. Той обикновено не е голям в палиноложките препарати от морски седименти. Тяхното количество е контролирано пряко от разреждането на аморфното органично вещество (АОМ) и фитокластите (Tyson, 1993). Значителните количества палиноморфи, доминирани от спори, показват ясно близостта на подхранващата провинция. В този случай АОМ е малко в резултат на по-лошите условия на запазване. Сравнителната близост на бреговата линия може да бъде индикирана и от палинофациеси с висок процент палиноморфи, но и значително количество фитокласти (Tyson, 1995). Много характерен белег за липса на транспорт е и установяването на тетради от спори и полен в палиноложките препарати. Фигура 1f, i илюстрира палинофациес със значително количество фитокласти и запазни тетради от полен, принадлежащ към род *Classopollis* от долноаптския интервал в разре-

за при с. Бутово, Централна Северна България (Pavlishina, 2017).

Микропланктонът започва да доминира в групата на палиноморфите в палинофациесите на шелфа. Неговото количество обикновено е обратно пропорционално на спорите и полена сред палиноморфите и също служи за разчитане на проксимално-дистални и трансгресивно-регресивни трендове в изучаваните стратиграфски последователности.

Коефициент на перидиниевите към гониолаксните диноцисти (P/G dinocyst ratio). Отразява съотношението на хетеротрофните (перидиниеви) спрямо фотосинтезиращите (гониолаксни) диноцисти. Въведен е от Harland (1973) и е най-пряк индикатор за привноса на хранителни вещества в басейна, първичната биопродуктивност и близостта на бреговата линия. Високите стойности на този коефициент индикират обстановки, богати на хранителни вещества, висока първична биопродуктивност и близост до бреговата линия. Обратно, ниските стойности на коефициента или ансамблите, доминирани от гониолаксен тип диноцисти са сигнал за дистални обстановки на седиментация и олиготрофни условия в басейна, с нормална биопродуктивност, соленост и привнос на хранителни вещества. Фигура 1g показва палинофациес, доминиран от гониолаксен тип диноцисти от Кампанския етаж при с. Петрич, Централно Средногорие.

Интерпретация

Данните, получени от различните коефициенти, се допълват и дават комплексна оценка на параметрите на средата. Tyson (1993, 1995) предлага модели на разпространение на органичното вещество в различните части на басейна и дефинира трикомпонентни диаграми за интерпретация на разграничените типове палинофациеси. Основни компоненти в тези диаграми са процентите на фитокласти (Phy), аморфно органично вещество (АОМ) и палиноморфи (Pal).

Tyson (1993, 1995) разграничава в предложената от него диаграма 9 основни палинофациални полета, отговарящи на конкретни обстановки на седиментация, както следва: I – силно проксимален шелф или басейн; II – граничен дисаеробен до аноксичен басейн; III – проксимален оксидиран шелф; IV – шелф с преход към басейна; V – глинен оксидиран шелф (дистален шелф); VI – проксимален дисаеробен до оксидиран шелф; VII – дистален дисаеробен до аноксичен шелф; VIII – дистален дисаеробен до оксидиран шелф; IX – проксимален субаеробен до аноксичен

Фиг. 1. Типове палинофацис, избрани от кредни разрези в България

a, b – палинофацис, доминиран от едри структурирани фитокласти и кутикули, разрез Врабчов дол, Западно Средногорие; *c, d* – палинофацис с несортирани по размер и форма фитокласти, долноаптски подетаж, разрез при с. Бутово, Централна Северна България; *e* – палинофацис с високо количество аморфно органично вещество, горноалбски подетаж, разрез при с. Толовица, Северозападна България; *f* – запазени тетради от полен от род *Classopollis*, долноаптски подетаж, разрез при с. Бутово, Централна Северна България; *g* – палинофацис, доминиран от гониолаксов тип диноцисти, Кампански етаж, разрез при с. Петрич, Централно Средногорие; *h* – палинофацис със значително количество непрогледни фитокласти, Кампански етаж, разрез при с. Петрич, Централно Средногорие; *i* – палинофацис със значително количество фитокласти и палиноморфи, долноаптски подетаж, разрез при с. Бутово, Централна Северна България. Мащаб – 10 μm

Fig. 1. Palynofacies types with examples from the Cretaceous succession in Bulgaria

a, b, palynofacies dominated by translucent phytoclasts and cuticles, Vrabchov Dol section, Western Srednogorie; *c, d*, palynofacies with unsorted by size and shape phytoclasts, lower Aptian, Butovo section, Central North Bulgaria; *e*, palynofacies dominated by amorphous organic matter, upper Albian, Tolovitsa section, Northwest Bulgaria; *f*, tetrads from the pollen genus *Classopollis*, lower Aptian, Butovo section, Central North Bulgaria; *g*, palynofacies dominated by gonyaulacacean dinoflagellate cysts, Campanian, section Petrich, Central Srednogorie; *h*, palynofacies dominated by opaque phytoclasts, Campanian, Petrich section, Central Srednogorie; *i*, palynofacies dominated by the phytoclast and palynomorph group, lower Aptian, Butovo section, Central North Bulgaria. Scale bar – 10 μm

басейн. Фигура 2 показва трикомпонентна диаграма с данните от разреза Врабчов дол близо до град Трън, Западно Средногорие. Изследваните проби ясно попадат в палинофациалното поле I, отговарящо на силно проксимален шелф или басейн. В допълнение с другите коефициенти, изведени при микроскопските наблюдения, цялостната интерпретация в този случай предполага лагунна или силно прибрежна обстановка на седиментация през късния Сантон и ранния Кампан в тази област (Nikolov et al., 2020).

Геохимични данни, допълващи палинофациалния анализ

При палеогеографските реконструкции резултатите от палинофациалния анализ се допълват успешно от геохимичните данни, получени от същите стратиграфски последователности. Това се отнася особено за данните от геохимичните характеристики на цялостното количество органичен въглерод (TOC) и от Rock Eval анализа. Данните от микроскопските наблюдения се сравняват с тези геохимични характеристики. За палинофациалния анализ най-голямо значение имат стойностите на цялостното количество органичен въглерод (TOC), максималната температура на отделяне на въгледороди при пиролиза (T_{max}), характеризираща степента на зрялост на органичното вещество, стойностите на водородния индекс (HI), оценяващи типа и произхода на органиката.

Акумулацията на органично вещество (OM) в седиментите се оценява чрез анализ на цялостното количество органичен въглерод (TOC). То дава ясен сигнал за дълбочината, първичната

Фиг. 2. Трикомпонентна диаграма с разграничени палинофациални полета (по Tyson, 1995), показваща разположението на палинологичните проби от разреза при Врабчов дол, Западно Средногорие (Nikolov et al., 2020)

Fig. 2. Ternary diagram with palynofacies fields (after Tyson, 1995) illustrating the position of the palynological samples in Vrabchov Dol section, Western Srednogorie (Nikolov et al., 2020)

биопроductивност и разтворимостта като функция от климата. Стойностите му зависят от три основни фактора: 1) привнос на органично вещество в басейна; 2) запазване на постъпилото органично вещество в процеса на седиментация; 3) разтваряне на органичното вещество като следствие от климата (Tyson, 1995). Според Tyson (1995) съдържанието на TOC варира в широки граници, като стойности около 0,1% характеризират дълбокоморските пелагични отложения, а тези от 94% са характерни за въглищата.

Водородният индекс (HI) и $T_{\max}$ са параметри, получени от Rock Eval анализа. Докато $T_{\max}$ характеризира степента на зрялост на органичното вещество в седиментите, стойностите на водородния индекс (HI) са особено важни за сравнение при палеофациалните реконструкции, тъй като оценяват типа и произхода на органичното вещество в седиментните последователности. Характеристиката се основава на разграничените 4 типа кероген (I, II, III, IV), единствено въз основа на химичния им състав, и най-вече съдържанието на водород или водородният индекс (HI). Данните, предложени от Miles (1989) и Tyson (1995) показват, че стойности на HI >300 определят кероген тип I и II, имащ морски произход. В тях органичното вещество е получено от разлагането на водорасли в дълбокоморски условия, а не за сметка на висши растения с континентален произход. Именно кероген тип II се свързва и с добре запазена аморфна органика (АОМ), която може да бъде установена ясно в палинологичните препарати при микроскопските изследвания. Високите стойности на $T_{\max}$ в тези случаи биха могли да бележат висока степен на зрялост на органичното вещество и да подкрепят изводите за дълготраен транспорт на фитокластите в басейна.

Стойности на HI <300 определят наличието на кероген тип III или IV, имащ континентален произход. Това, от друга страна, е ясен сигнал за

близостта на бреговата линия. Образуването на кероген тип III или IV е за сметка на висши континентални растения. Според Tyson (1995) най-благоприятни за тяхното отлагане са богатите на кислород морски и делтови обстановки.

Заклучение

Палинофациалният анализ е най-съвременен и широко използван метод, съпътстващ всяко палинологичко изследване. Той дава комплексна оценка на параметрите на средата чрез данни, получени от различни коефициенти, които се допълват надеждно. Палинофациалният анализ дава най-добри резултати при изследване на последователно събирани проби от определени разрези, в които могат да бъдат разграничени ясни и последователни палинофациеси. В съчетание с данните от Rock Eval анализа, палинофациалният анализ дава обобщена информация за палеоекологичните и палеогеографските интерпретации, оценката на биопродуктивността и за разчитането на трансгресивно-регресивни трендове в седиментните последователности. Неговото приложение е актуално, както в геоложката практика при проучването за въглеводороди, така и в научните изследвания за възстановяване на палеообстановките и изучаване на глобалните климатични промени през Фанерозоя.

Литература References

- Batten, D. J. 1996. Palynofacies. – In: Jansonius, J., D. J. McGregor (Eds). *Palynology: Principles and Applications*. Dallas, Texas, American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, 1011–1064.
- Bombardiere, L., G. E. Gorin. 1998. Sedimentary organic matter in condensed sections from distal oxic environments: examples from the Mesozoic of SE France. – *Sedimentology*, 45, 771–788; <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.1998.00177.x>.
- Bombardiere, L., G. E. Gorin. 2000. Stratigraphical and lateral distribution of sedimentary organic matter in Upper Jurassic carbonates of SE France. – *Sedimentary Geology*, 132, 177–203; [http://dx.doi.org/10.1016/S0037-0738\(00\)00006-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0037-0738(00)00006-3).
- Combaz, A. 1964. Les palynofacies. – *Revue de Micropaléontologie*, 7, 205–218.
- Harland, R. 1973. Dinoflagellates cysts and acritarchs from the Bearpaw Formation (upper Campanian) of southern Alberta, Canada. – *Palaeontology*, 16, 665–706.
- Miles, J. A. 1989. *Illustrated Glossary of Petroleum Geochemistry*. Oxford, Clarendon Press, 137 p.
- Nikolov, V., D. Dochev, P. Pavlishina, S. Brusatte, M. Yaneva, R. Konyovska, V. Vergilov, N. Simov, N. Spassov, L. Hristova. 2020. Welcome to “Cretaceous Park”: Three years of research at the Late Cretaceous tetrapod fossil site near the town of Tran, Western Srednogorie. – *Rev. Bulg. Geol. Soc.*, 81, 3, 141–143.
- Pavlishina, P. 2017. Palynology of the upper Barremian and lower Aptian interval in parts of North Bulgaria. – *Geologica Balc.*, 46, 2, 41–45.
- Tyson, R. V. 1993. Palynofacies analysis. – In: Jenkins, D. J. (Ed.). *Applied Micropalaeontology*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 153–191.
- Tyson, R. V. 1995. *Sedimentary Organic Matter: Organic Facies and Palynofacies*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 615 p.

Постъпила на 02.08.2021 г., приета за печат на 16.08.2021 г.
Отговорен редактор Борис Вълчев