

PERMIAN PLAYA-TYPE LAKES IN THE MIROVO AREA

Hristo Dimitrov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: ihristo_dimitrov@mgu.bg

ABSTRACT. Playa-type lakes are closed, endorheic basins formed under arid and semi-arid climatic conditions. The primary objective of this study is to analyse the geological development model of a typical continental depositional environment during the Permian period in the Mirovo area, based on the interpretation of geophysical data (well logs and seismic sections) and core data. In the eastern part of the Provadiya Syncline, a classic example of recurrent playa lake environments is identified, characterised by specific horizontal and vertical spatial facies zonation and evaporitic cyclicity in their central parts. It is there that creamy-pink to orange-red evaporite sediments were deposited, alternating with typical continental arid-environment argillite, siltstone, and marl, as well as occasional anhydrite, limestone, and dolomite. The vertical successions of salt layers alternating with terrigenous sediments in the stratigraphic section serve as indicators of shifting periods between lake desiccation (salt formation) and refilling. The study of sections formed in playa lake environments is important from the point of view of petroleum geology, as dense clay sediments and evaporite bodies act as excellent, effective seals—a crucial element of the petroleum system.

Key words: Permian lakes, playa, evaporitic cyclicity, Mirovo.

ПЕРМСКИ ЕЗЕРА ТИП ПЛЯ В РАЙОНА НА МИРОВО

Христо Димитров

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Езерата тип пляя представляват затворени, безотточни езера, които се образуват в условия на ариден и субариден климат. Основната цел на настоящето изследване е въз основа на интерпретацията на геофизични данни (сондажните каротажни диаграми и сеизмични разрези) и данните от сондажни ядки да се анализира геоложкият модел на развитие на типичната континентална обстановка на седиментация през пермския период в района на Мирово. В източната част на Провадийската синклинала се установява класически пример за обстановка на многократно развитие на езера пляя, характеризирани се със специфична хоризонтална и вертикална пространствена зоналност на фациесите и евапоритна цикличност в централната им част. Именно там се натрупват кремаво-розови до оранжево-червени евапоритни седименти, които са в алтернатива с типични за континентална аридна обстановка аргилити, алевролити, мергели, а на места и анхидрити, варовици и доломити. Интервалите на смяна в разреза на солена пласт с теригенни седименти са индикатор за смяната на периоди, в които езерото пресъхва (образува се солта), с периоди, в които отново се пълни с вода. Изучаването на разрезите, формирани в обстановки на езера пляя са важни от гледна точка на петролната геология, поради факта, че плътни глинести седиментни и евапоритни тела са чудесни ефективни покривки, в ролята им на важен елемент от петролната система.

Ключови думи: Пермски езера, пляя, евапоритна цикличност, Мирово.

Въведение

Терминът пляя, използван в геологията за описание на затворени безотточни езера в аридни райони, е въведен за първи път от американския геолог Робърт Хил (Hill, 1900). Според дефиницията на Briere (2000) пляята е „вътрешноконтинентален басейн с отрицателен воден баланс през по-голямата част от годината, чиято повърхност е изградена от финозърнести седименти и евапорити“. За да се избегнат погрешни тълкувания на термините пляя, езеро-пляя и себха, авторът пояснява, че езерото-пляя е „плътка, ефемерна (временна) водна маса, която заема част или цялата повърхност на пляята по време на нейното наводняване“. Изясняването на модела на този тип седиментационни обстановки е обект на изследване през годините от редица автори (Hill, 1900; Cooke and Warren, 1973; Neal, 1975; Shaw, 1989; Walker & James, 1992; Cooke et al., 1993; Rosen, 1994; Briere, 2000; Messenger et al., 2016; Kolpakova et al., 2019) в различни райони на планетата.

Основната цел на настоящото изследване е въз основа на интерпретацията на геофизични данни (сондажни каротажни диаграми и сеизмични разрези) и данни от сондажни ядки да се анализира геоложкият модел на развитие на типичната континентална обстановка на седиментация през пермския период в района на Мирово (фиг. 1). В източната част на Провадийската синклинала се установява класически пример за многократно развитие на

езера-пляя, характеризирани се със специфична пространствена (хоризонтална и вертикална) фациална зоналност и евапоритна цикличност в централните им части. Данните от сондажните ядки недвусмислено показват, че седиментите с пермска възраст са отложени именно в обстановка на пляя.

Този район е изследван в продължение на повече от 90 години в различни геоложки аспекти, но преди всичко по отношение на нефтогазоносната перспективност (Цанков, 1942; Бончев и др., 1957; Монахов и др., 1981; Георгиев и др., 1984; Боков и Чемберски (ред.), 1987). В поредица от по-нови публикации (Yanev, 1993; Yanev et al., 1995; Yanev et al., 2005; Dimitrova et al., 2006; Yanev et al., 2007; Yanev, 2019) са представени интерпретации на литостратиграфията, палеогеографията и тектонската еволюция на къснопалеозойския (пермски) разрез в обхвата на Провадийската синклинала.

Геоложка рамка

Литостратиграфска характеристика

В настоящата работа е направен кратък преглед на пермската система, която е основният обект на изследване. В Провадийската синклинала седиментите с пермска възраст са установени в ограничен брой сондажни разрези. (фиг. 1 и 2).



Фиг. 1. Комбинирана обзорна и тектонска схема на изследвания район с местоположение на използваните сондажи и сеизмични профили. Разломите са означени с цифри в кръгчета: 1. Преславско-Шкорпиловски; 2. Южномизийски; 3. Кубратско-Ветрински; 4. Друмевски; 5. Провадийски; 6. Храбровски; 7. Султански; 8. Падински.

Янев (1993) прави подробно литостратиграфско разчленение на пермските разрези, като дефинира стратотипите и въвежда официалните литостратиграфски единици (фиг. 2).

Мировската свита (Янев, 1993) е установена в два сондажа – ОП-1 Мирово и Р-2 Храброво. Изградена е от сиво-черни и сиви аргилити (на места с червеникаво-виолетови до ръждиви нюанси), които са слабо варовити и тънкослоисти. В отделни интервали те прехождат в алевролити и са рядко прослоени от тънки мергелни пластове. Характерни са калцитните и анхидритните включения и прожилки. Седиментите съдържат овъглени растителни останки и оскъдни количества спори. Горната граница на свитата е ясно маркирана на гама-каротажната диаграма. Долната граница не е достигната от прокараните сондажи. Дебелината на тази литостратиграфска единица надхвърля 1400 m. В по-ранни публикации възрастта ѝ се приема за горнопермска, но Dimitrova et al. (2006) допускат и долнопермска принадлежност.

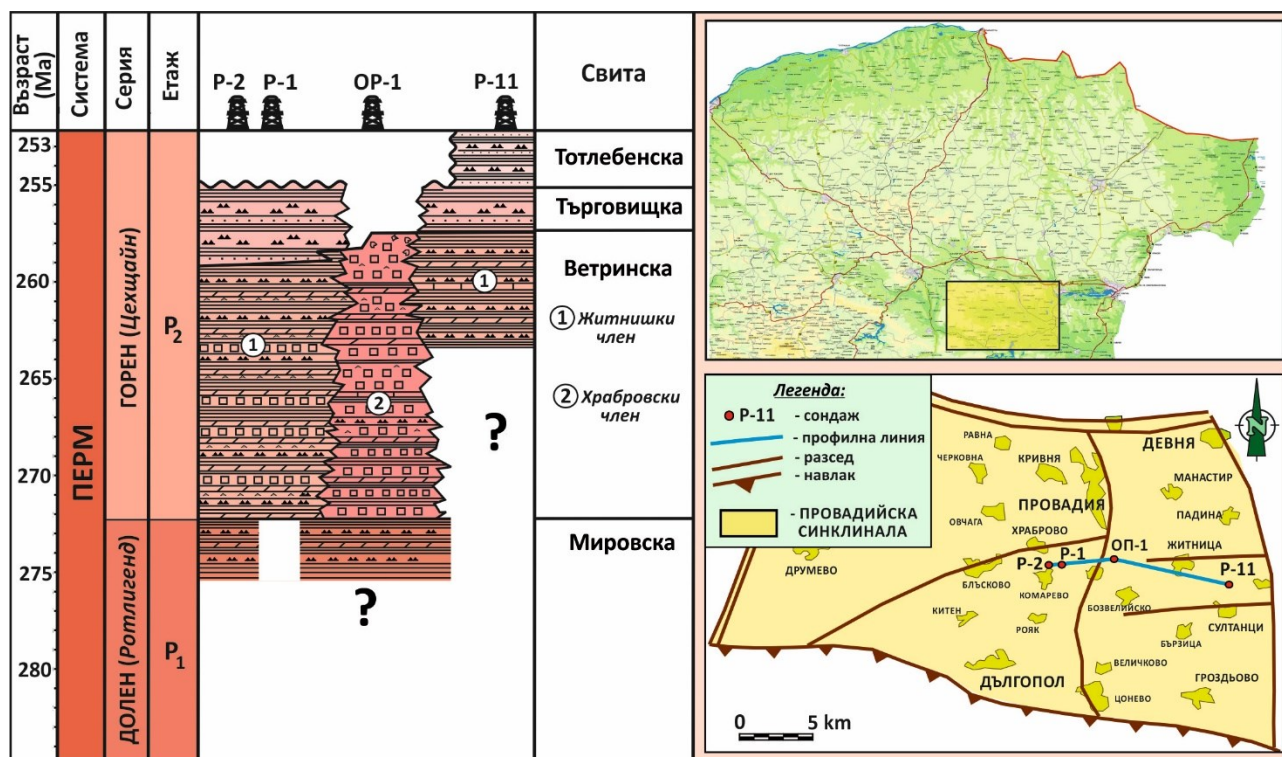
Ветринската свита (Янев, 1993) е пресечена от шест сондажа: Р-1 и Р-2 Храброво, ОП-1, РС-2 и РС-3 Мирово, както и Р-11 Житница. Тя включва два члена – Храбровски и Житнишки. Храбровският член е изграден от кремаво-розов до оранжево-червен халит, сред който се наблюдават сиви до тъмносиви и кафяво-червеникави аргилити в алтернатива с кафяво-червеникави алевролити, мергели и локални прослойки от анхидрит, доломити и варовици. Дебелината му варира значително – от 2000 до 3027 m. Житнишкият член се състои от аргилити с ръждивокафяв, кафяво-червен и тухленочервен цвят, на

места тъмносиви до петнистозеленикави. Дебелината му е около 600 m. Горната и долната граница на свитата са ясно идентифицирани по гама-каротажните диаграми. Според Dimitrova et al. (2006) възрастта на седиментите е горнопермска.

Търговищката свита (Янев, 1993) е пресечена от шест сондажа: Р-1 и Р-2 Храброво, Р-4 и Р-5 Провадия, Р-6 Султанци и Р-11 Житница. Тя е представена от кафяво-червеникави аргилити – слабо варовити и алевролитови, прослоени от варовити алевролити с характерна масивна текстура. На места присъстват тънки пясъчници. Срещат се анхидритни конкреции и прослойки, като анхидритите понякога са слюдести, неравномерно алевролитови и с неясна слоистост до масивна текстура. Дебелината на литостратиграфската единица в сондаж Р-2 Храброво надхвърля 900 m. Възрастта на свитата в по-ранните изследвания е определена като горнопермска, което е потвърдено и от Dimitrova et al. (2006).

Тотлебенска свита (Янев, 1993) е пресечена от четири сондажа: Р-9 Бозвелийско, Р-15 Яворово, Р-6 Султанци и Р-11 Житница. Тя се характеризира с редуване на кафяви аргилити, сиви до розово-сиви алевролити и дребнозърнести пясъчници с виолетово- до зеленикаво-сиви разновидности. Тектурните особености варират от много добре наслоени интервали (Р-6) и такива с вълнистослоистост (Р-9) до лошо сортирани седименти (Р-15).

Най-голямата установена дебелина на свитата е в сондаж Р-6 Султанци – 118 m. Възрастта на свитата в по-стари изследвания е разглеждана като горнопермска, което е потвърдено от Dimitrova et al., (2006).



Фиг. 2. Литостратиграфска схема на изследвания район по данни от сондажи Р-1 и Р-2 Храброво, ОП-1 Мирово и Р-11 Житница

Тектонска характеристика

В настоящото изследване е използвана тектонската схема, разработена от колектив от български геолози и официално публикувана под редакцията на Боков и Чемберски (1987).

В тектонско отношение проучваният район попада в обхвата на Провадийската синклинала (фиг. 1). Тя е треторазрядна структура, изграждаща най-южната, значително понижена и наклонена на юг периферна зона на Мизийската платформа към прехода ѝ с Предбалкана, известна като Южномизийска периплатформена област (Георгиев и Монахов, 1979). Последната се дефинира като такава по юрско-долнокредните отложения, има на места грабеновиден строеж и най-често е ограничена от ясно изразени разломни структури (Георгиев и Монахов, 1979; Монахов и др., 1981).

Провадийската синклинала е идентифицирана първоначално от Цанков (1942) въз основа на разпространението на горнокредните и палеогенските седименти. По-късно познанията за нея са допълнени от Бончев и др. (1957), Боков и Чемберски (ред., 1987) и Георгиев и др. (1984).

Границите на Провадийската синклинала са категорично установени и детайлно проследени въз основа на наличната сеизмична и сондажна информация. Те са маркирани от значими разломни нарушения с различен характер (фиг. 1).

Източната граница се трасира от Кубратско-Ветринския разлом, който отделя структурата от Горночифлишкия хорст. На запад синклиналата граничи с Търговищката седловина посредством Друмевския разлом. Южната граница се определя от Преславско-Шкорпиловския разлом, който е с възседно-навлачен характер и представлява регионалната граница между Мизийската

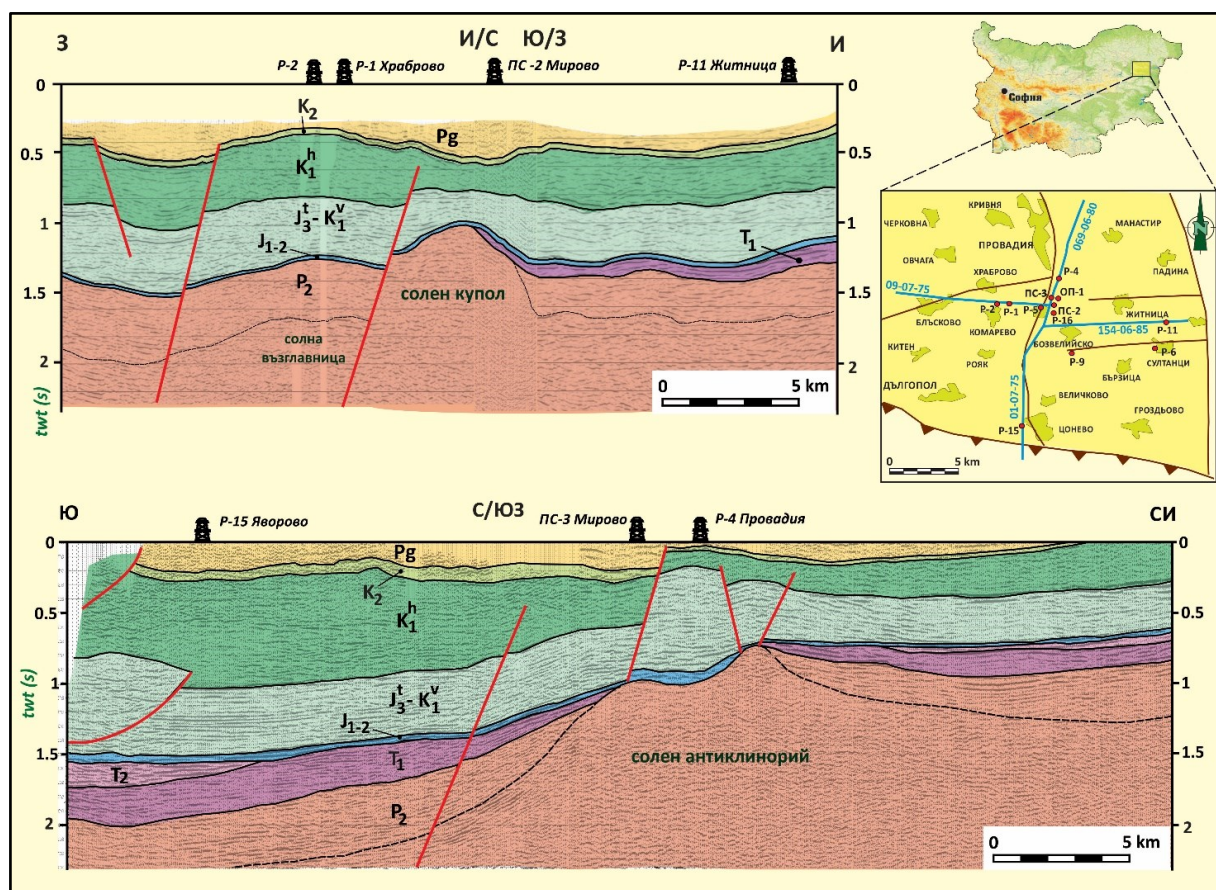
платформа и Източния Предбалкан. Северната граница преминава по Южномизийския разлом, отделящ синклиналата от Севернобългарския свод.

Тектонските нарушения са оказали решаващо влияние върху геоложкото развитие и съвременния тектонски облик на Провадийската синклинала. Те сегментират структурата на блокове с различна морфология, размери и хипсометрично положение, което е най-силно изразено в нейната източна част. Блоковият строеж е допълнително усложнен от радиални разломи около Мировския солен купол.

По данни на Георгиев и др. (1984) синклиналата се проследява най-ясно по горната повърхност на валанжинските карбонати, където тя проявява изразен асиметричен строеж. Според същите автори най-дълбоко потънала е югоизточната ѝ част – твърдение, което се потвърждава и от настоящото изследване чрез интерпретираните сеизмични разрези (фиг. 3). Южното крило на синклиналата е сравнително тясно и стръмно, докато северното е полегато, с наклон от 4.5° – 5° (Георгиев и др., 1984). В западна посока, след Храбровския разлом (фиг. 1 и 3), структурата започва постепенно да се стеснява и изплитнява, като в обсега на Друмевския разлом преминава в наклонена на юг моноклинала.

Материали и методика

За постигане на поставената цел са извършени детайлни авторски изследвания на седиментния разрез. Те се базират на данни от сондажни ядки, съчетани с комплексна интерпретация на каротажни диаграми и сеизмични разрези, основно в източната част на Провадийската синклинала.



Фиг. 3. Геоложка интерпретация на сборни сеизмични профили от изследвания район

Фактологическата база и геофизичните данни, използвани за интерпретациите, са набрани от 9 дълбоки търсещи, 2 проучвателни и един опорен сондаж (фиг. 1). Във всички изброени сондажи е разкрит разрез с пермска възраст.

Разпознаването, трасирането и обвързването на основните секвентни граници с каротажните диаграми са базирани на сеизмостратиграфска интерпретация.

Детайлният сеизмостратиграфски анализ на синклиналата се базира на интерпретацията на две сборни профилни линии, съставени от общо пет 2D сеизмични разреза. Линиите са с направления съответно север-юг и запад-изток. (фиг.1 и фиг.3).

Пермски езера тип пляя в района на Мирово

Анализ на гама и неутрон-гама каротажните диаграми

За сондаж ОП-1 Мирово са анализирани две каротажни диаграми, тъй като той пресича изцяло горнопермския разрез (фиг. 4а). Стойностите в тях са представени в импулси в минута. На гама (GR) и неутрон-гама (NGR) каротажите седиментите от тип „пляя“ се разпознават чрез циклично редуване на физичните свойства, отразяващо прехода от теригенна към солена фаза. Това се изразява чрез силно „назъбена“ каротажна крива. Глинестите нива (влажна фаза) се характеризират с високи GR стойности поради наличието на радиоактивни елементи (K, Th) в глинестите минерали. Обратно, евапоритните интервали (суха фаза) показват екстремно ниски стойности, тъй като

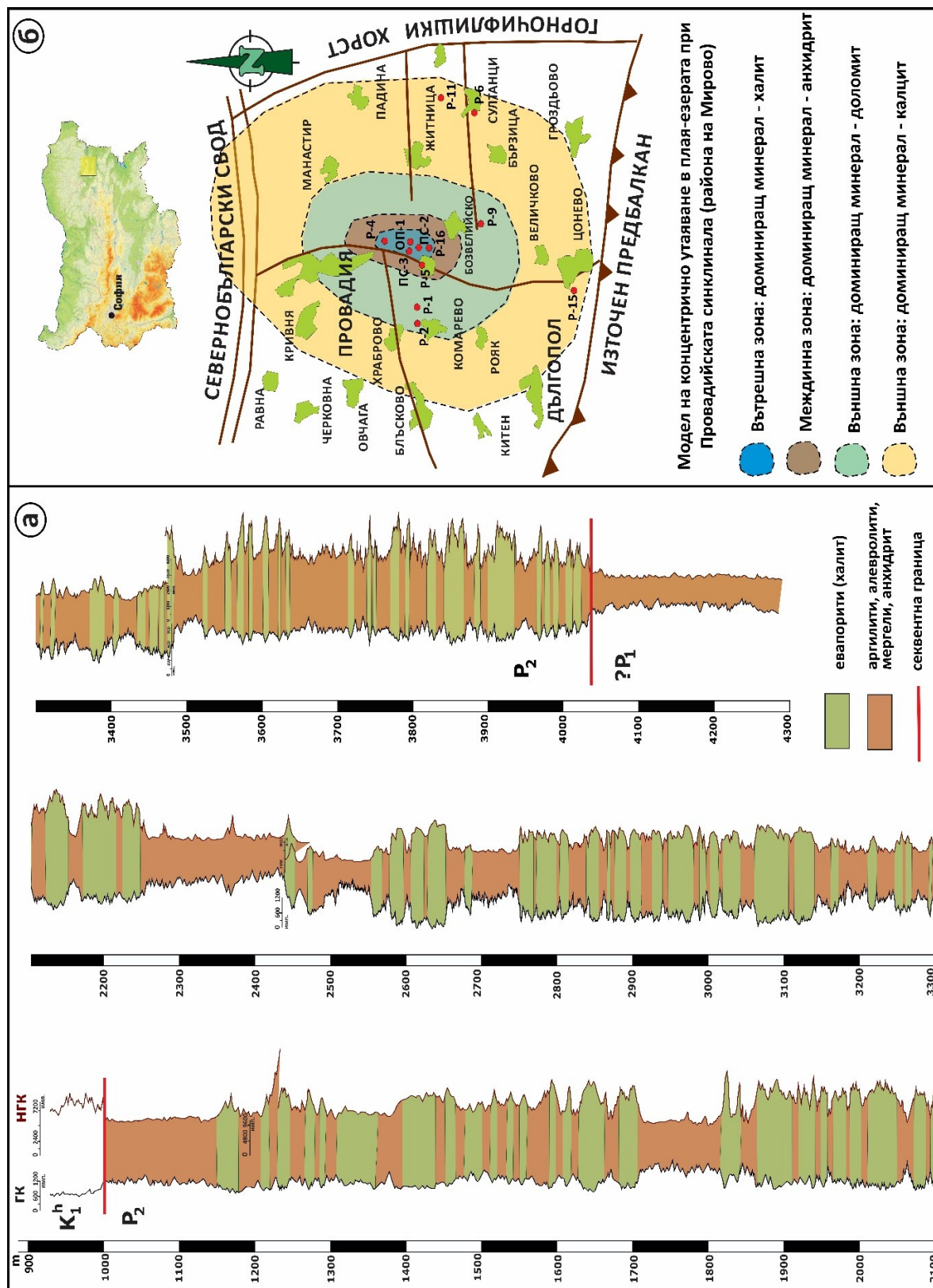
чистият халит и анхидритът практически не притежават естествена радиоактивност.

В разреза на ОП-1 Мирово са установени 83 евапоритни секвенции, формирани в условия на изразена цикличност (фиг. 4а). Редуването на халит с мергели, аргилити и алевролити е типичен белег за басейн, пулсирал между етапи на пълно пресъхване и периоди на нов приток на повърхностни води. Халитните пластовете са с дебелина от 3 до 40 m и съответстват на периоди на интензивно изпарение и ариден климат. През тези етапи басейните са били изолирани, а солевата концентрация е достигала точката на насищане. Оранжево-червеният цвят на халита подсказва, че по време на отлагането му, е имало приток на окислено желязо от сушата.

Сеизмостратиграфски анализ

Върху сборните сеизмични разреза интервалът с отражения от пермските седименти се характеризира с високочестотно редуване на рефлехтори с висока амплитуда.

Сеизмичните записи са плоски и паралелни дори в обхвата на солните куполи, което е резултат от алтернативата на евапоритни и теригенни пластовете. Това е допълнително доказателство, че евапоритните отложения нямат морски генезис. При морски произход, на сеизмичните профили би се наблюдавала „прозрачна“ картина (лишена от вътрешни отражения) поради голямата дебелина и хомогенността на морските соли.



Фиг. 4. Схема на евапоритните секвенции (по данни от ГК и НГК в ОП-1 Мирово) и модел на концентрично утаяване в плая-езера въз основа на сондажни ядки.

Според класическия модел за езеро тип „пая“, евапоритните минерали се утаяват в концентрични зони спрямо своята разтворимост, успоредно с нарастването на солеността от периферията към центъра на басейна (Walker & James, 1992). Подобна зоналност, изразена чрез специфични автогенни фации, се наблюдава ясно и в източната част на Провадийската синклинала (фиг. 4б). Външната зона (с най-ниска соленост) е установена в

сондажите Р-1 и Р-2 Храброво и Р-11 Житница. Ядковият материал там потвърждава присъствието на най-трудно разтворимите карбонати (калцит и доломит), представени от варовикови и доломитови прослойки. В междинната зона, вследствие на интензивното изпарение, доминира сулфатната седиментация, представена основно от прослойки анхидрит. Централната зона на палеобасейна обхваща участъка при сондажи ПС-2, ПС-3, Р-16, ОП-1

Мирово и Р-4 Провадия. Тя се отличава с най-висока соленост и отлагане на лесно разтворимия халит, където впоследствие са се формирали и солните куполи (фиг. 3).

Заклучение

През късния перм, в условията на специфичен климат и тектонски режим, районът на Мирово е поприще на многократно развитие на езерни системи от тип playa. В резултат на тяхната геоложка дейност се формира характерен седиментен разрез, отличаващ се със закономерна хоризонтална и вертикална зоналност на фациесите и изразена евапоритна цикличност в централните части на басейните. Установени са 83 евапоритни последователности. Изучаването на разрезите, формирани в playa-обстановки, е от съществено значение за петролната геология, тъй като плътните глинести и евапоритни тела служат като високоефективни покривки – ключов елемент на всяка действаща петролна система.

Литература

Боков, П., Чемберски, Х. (ред.). (1987). *Геоложки предпоставки за нефтогазоносността на СИ България*. Техника, София, 332 стр.

Бончев, Ек., Белмустаков, Ем., Йорданов, М. Караголева, Ю. (1957). Главните линии в геоложкия строеж на Предбалкана между долините на Янтра и Черно море. – Изв. Геол. Инст., №5, 3-78.

Георгиев, Г., Монахов, Ив. (1979). Нови данни относно границата между Мизийската платформа и Предбалкана в Североизточна България. – *Год. СУ, Геология*, 71, 1, 367-378.

Георгиев, Г., Мандев, П., Вълчева, С., Минчева, Т., Желев, С. (1984). Нефтогазоносна перспективност на мезозойските седименти в Провадийската синклинала и Горночифлишкия хорст. – *Год. СУ, ГГФ*, 1, т. 78, 150–170.

Монахов Ив., Желев, С., Георгиев, Г. (19816). Нефтогазоносна перспективност на мезозойските наслаги от южната част на Североизточна България. П. Мандев и И. Начев (Ред.), *Геология и нефтогазоносност на Североизточна България* (стр 88-97). Техника.

Цанков, В. (1942). Геология на Провадийското плато и на солния залеж в източната му част. – *Сп. Бълг. Геол. Д-во*, 14, №2, 83-129.

Briere, P. (2000). Playa, playa lake, sabkha: Proposed definitions for old terms. *Journal of Arid Environments* Volume 45, Issue 1, May, Pages 1-7, <https://doi.org/10.1006/jare.2000.0633>

Cooke R., Warren, A. (1973). *Geomorphology in Deserts*. 436 p. <https://doi.org/10.2307/jj.8441720>

Cooke, R. U., Warren, A., Goudie, A. S. (1993). *Desert Geomorphology*. <https://doi.org/10.1201/b12557>. 534 p.

Dimitrova, T., Petrunova, L., Yanev, S. (2006). Permian palynostratigraphy from Northeast Bulgaria. *Review of the Bulgarian geological society*, vol. 67, part 1-3, p. 104-111.

Hill, R. T. (1900). *Topographic Atlas of the United States*. <https://doi.org/10.3133/70260410>

Kolpakova, M., Gaskova, O., Naymushina, O., Karpov, A., Vladimirov, A., Krivonogov, S. (2019). Saline lakes of Northern Kazakhstan: Geochemical correlations of elements and controls on their accumulation in water and bottom sediments, *Applied Geochemistry*, Volume 107, 8-18.

Messenger, M., Lehner, B., Grill, G., Nedeva, I. & Schmitt, O. (2016). Estimating the volume and age of water stored in global lakes using a geo-statistical approach. *Nature Communications*, 7 (1):13603, <https://doi.org/10.1038/ncomms13603>.

Neal, James T. (ed.) (1975). *Playas and Dried Lakes: Occurrence and Development*. Stroudsburg, PA: Dowden, Hutchinson & Ross Inc., 411 pp.

Rosen, M. (1994). *Paleoclimate and Basin Evolution of Playa Systems*. Geological Society of America, 117 p.

Shaw, P. (1989). Playas, pans and salt lakes. In *Arid Zone Geomorphology*; Shaw, P. A., Thomas, D.G., David, S., Eds.; Belhaven Press: London, UK, pp. 184–208.

Walker, R. G. & N. P. James (eds) (1992). *Facies Models. Response to Sea Level Change*. 409 pp.

Yanev, S. (1993). *Permian in North Bulgaria. II. Formal lithostratigraphy related to the Upper Permian*. *Geologica Balcanica*, 23, 1; 3-24.

Yanev, S. (2019). Permian playas in the Bulgarian part of the Balkan Peninsula. *Paleogeography and paleoclimatic environments. Review of the Bulgarian geological society*, vol. 80, part 1, p. 31–40.

Yanev, S., Lakova, I., Boncheva, I. & Sachanski, V. (2005). The Moesian and Balkan terranes in Bulgaria: Palaeozoic basin development, palaeogeography and tectonic evolution, *Geologica Belgica*, volume 8, number 4. Avalonia-Moesia volume, 185-192. <https://popups.uliege.be/1374-8505/index.php?id=828>.

Yanev, S., M. C. Göncüoğlu, I. Gedik, I. Lakova, I. Boncheva, V. Sachanski, C. Okuyucu, N. Özgül, E. Timur, Y. Maliakov and G. Saydam. (2007). *Stratigraphy, correlations and palaeogeography of Palaeozoic terranes of Bulgaria and NW Turkey: a review of recent data* *Geological Society, London, Special Publications* 2006; v. 260; p. 51-67 [doi:10.1144/GSL.SP.2006.260.01.04](https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2006.260.01.04)