VARIETATEA DENSITĂȚII FORMAȚIUNILOR GEOLOGICE DIN REGIUNEA DE SUD A REPUBLICII MOLDOVA

DENSITY VARIATIONS OF GEOLOGICAL FORMATIONS IN THE SOUTHERN AREA OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA

CZU: 552.1(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.80**

Alexandru TAMBUR
ORCID: 0009-0002-2010-6235
E-mail: alexandr.tambur@sti.usm.md
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Andrei DIDUH
ORCID: 0009-0005-3696-0569
E-mail: andrei.diduh@sti.usm.md
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Hanna CHARUSHNIKAVA
ORCID: 0009-0007-8204-5104
E-mail: hanna.charushnikava@sti.usm.md
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Irina COCIU
ORCID: 0009-0006-3141-7687
E-mail: irina.cociu@sti.usm.md
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Victor JELEAPOV
ORCID: 0009-0000-1995-550X
E-mail: victor.jeleapov@sti.usm.md
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Valerian CIOBOTARU
ORCID: 0009-0005-2098-6174
E-mail: valerian.ciobotaru@sti.usm.md
Institutul de Geologie și Seismologie, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Summary. *This study focuses on the geological and petrophysical characterization of the sedimentary formations within the Predobrogean Depression, located in the southern part of the Republic of Moldova. Detailed analysis was carried out in three structurally significant sectors: Baimaclia, Baurci, and Aluatu, based on data obtained from deep boreholes, gravimetric surveys, and seismic methods. The main objective was to investigate the spatial distribution of rock density and its relevance in identifying structural discontinuities and potential hydrocarbon traps. The rock density values, determined through petrophysical analysis, exhibit significant variation with depth, ranging from 1.3 g/cm³ to 2.8 g/cm³. Two major density discontinuities were identified: an upper one corresponding to the stratigraphic boundary between Mesozoic and Cenozoic formations, and a lower one around 1600 m depth, marking the transition to compact Paleozoic rocks. These discontinuities are consistent with gravitational anomalies and suggest the presence of brachyanticlinal structures capable of hydrocarbon accumulation. The integration of density data with geophysical interpretations supports the delineation of two linear density zones aligned with regional tectonic trends, reinforcing the structural model of the depression.*

Keywords: *density, geological prospecting, gravimetry, Jurassic, lithological formations, Paleozoic.*

INTRODUCERE

Investigarea structurii geologice a sudului Republicii Moldova, cu accent pe Depresiunea Predobrogeană, constituie o etapă esențială pentru evaluarea potențialului de acumulare a hidrocarburilor în cuvertura sedimentară regională. În cadrul acestui spațiu geologic, sectoarele Baimaclia, Baurci și Aluatu au fost desemnate, în literatura de specialitate și în documentația tehnică, drept perimetre de interes geologic sporit, fiind obiectul unor activități intense de prospecțiune și explorare [1], [2].

Componentele geologice ale acestor sectoare, caracterizate printr-o stratigrafie complexă și o diversitate litologică notabilă, includ formațiuni sedimentare de vârstă paleozoică și mezozoică, ale căror proprietăți petrofizice determină în mod direct capacitatea de înmagazinare a hidrocarburilor. Lucrările de cartare geologică au evidențiat o corelație clară între distribuția densităților rocilor și existența unor discontinuități litologice, interpretate ca structuri capcană. În acest context, măsurătorile densimetrice dobândesc o relevanță strategică în interpretarea geofizică a datelor gravimetrice și seismice, contribuind la localizarea formațiunilor geologice cu potențial economic de acumulare a hidrocarburilor.

Prospecțiunile geologico-geofizice realizate pe teritoriul menționat au permis localizarea unor forme structurale aparent brahianticlinale, care ar putea funcționa ca structuri-capcană pentru acumulări de hidrocarburi în cantități industriale.

MATERIALE ȘI METODE

Pentru efectuarea acestui studiu a fost efectuată analiza datelor bibliografice și de arhivă, analiza diagrafiilor de carotaj a forajelor adânci, săpate în partea de sud a teritoriului RM și corelate cu regiunile limitrofe. Sursele de date geologice și petrofizice

provin din rapoarte tehnice elaborate în urma forajelor efectuate în perioada anilor 1970–1990.

Determinările densimetrice s-au realizat conform standardelor petrofizice aplicate în analiza carotelor de foraj. Densitățile au fost măsurate atât prin metode directe (pe eșantioane compacte și uscate), cât și prin metode indirecte (carotaj geofizic de sondă – gama-gama, neutron și acustic). Valorile obținute au fost corelate cu adâncimile absolute și au fost grupate pe complexe litologice majore (cuaternar-paleogen, jurasic, paleozoic).

Pentru interpretarea gravimetrică s-au utilizat hărți existente la scările 1:200000 și 1:50000, completate cu date noi obținute prin măsurători de teren, acolo unde a fost posibil. Reducerea datelor gravimetrice la Bouguer s-a efectuat utilizând o densitate medie de 2,3 g/cm³ pentru cuvertura sedimentară, iar în cazurile detaliate, s-au aplicat corecții suplimentare pentru influența stratului intermediar, pe baza distribuției spațiale a densităților determinate experimental.

Pe baza setului integrat de date (densimetrice, gravimetrice, seismice), au fost elaborate două modele spațiale ale distribuției densității la adâncimile de 1000 m și 2000 m. Respectiv, aceste modele au fost generate prin interpolare geostatistică și verificate prin suprapunere cu anomaliile gravitaționale regionale [3].

REZULTATE ȘI DISCUȚII

În urma sistematizării datelor densimetrice referitoare la teritoriile de perspectivă din regiunea de sud a RM, expuse în diverse rapoarte geologice, s-a constatat că, în cadrul Depresiunii Predobrogene, densitățile rocilor variază între 1,3 g/cm³ și 2,8 g/cm³ [4].

Valorile minime ale densității sunt caracteristice varietăților litologice din cadrul așa-numitului „strat intermediar” (noțiune gravimetrică), situat între suprafața de la zi și suprafața de referință (nivelul mării). După compoziție, stratul intermediar este destul de eterogen, ceea ce determină o variabilitate considerabilă a densităților. La calcularea anomaliilor gravimetrice în reducerea Bouguer, la scară detaliată, pentru excluderea influenței „stratului intermediar” se efectuează cercetări petrofizice speciale și se aplică anumite corecții în spațiul densimetric. În regiunea de interes (figura 1), cartările gravimetrice au fost realizate la scările 1:200000 și 1:50000.

Conform analizelor detaliate ale densităților determinate pe carotele extrase în procesul forării sondelor în cadrul Depresiunii Predobrogene din sudul RM, la adâncimi cuprinse între 1400-1600 m se observă o creștere a densității rocilor de la 2,3 g/cm³ la 2,8 g/cm³, iar în limitele sectorului Baurci, la o adâncime de aproximativ 1600 m, se evidențiază o discontinuitate petrofizică caracterizată printr-un „salt” relativ brusc al densităților, cu o diferență estimată de +0,25 g/cm³ (figura 2).

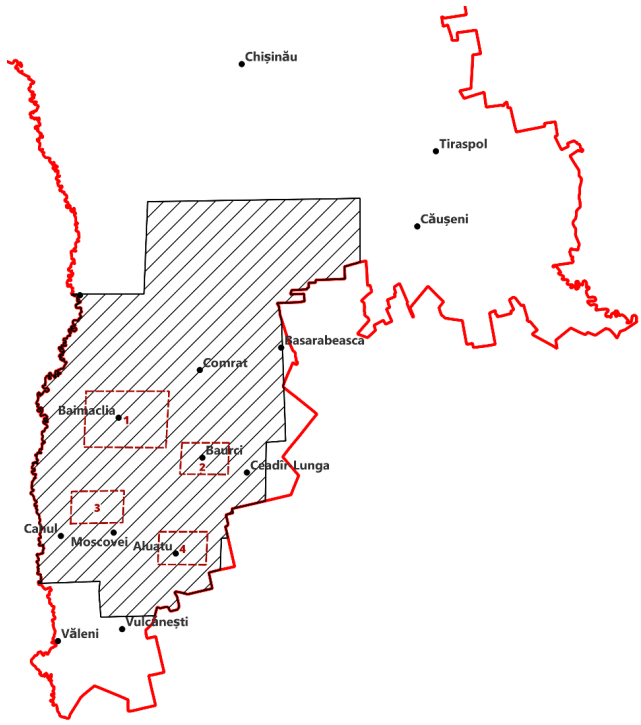


Figura 1. Regiunea de sud a Republicii Moldova în cadrul căreia au fost realizate ridicări gravimetrice la scara 1:200000 și 1:50000.
Sunt conturate sectoarele în care s-au efectuat prospecțiuni geologice pentru identificarea potențialelor acumulări de hidrocarburi: 1 - Baimaclia, 2 - Baurci, 3 - Moscovei, 4 - Aluatu.

Pe baza datelor obținute în urma forării sondelor de mare adâncime, sectoarele Baimaclia, Baurci și Aluatu, sunt considerate zone de perspectivă pentru prospecțiuni și localizarea unor acumulări industriale de hidrocarburi în formațiunile geologice jurasice și paleozoice. Această discontinuitate densimetrică, cu unele abateri, coincide cu suprafața de limită stratigrafică dintre formațiunile sedimentare jurasice și paleozoice. Este important de menționat că diferențierea litologică și cronostratigrafică dintre formațiunile mezozoice și paleozoice din Depresiunea Predobrogeană este încă disputată [5].

Densitățile varietăților litologice pot fi sistematizate în trei grupe, corespunzătoare unor complexe litologice distincte, ce diferă atât prin specificul densimetric, cât și prin vârsta geologică.

Primul complex, cel superior (care nu este reprezentat în diagramele din figura 2), este constituit din formațiunile complexului cenozoic (neogen-eocene) și are grosimi de 400–650 m, conform datelor prezentate în tabelul 1. De exemplu, în sondele din sectorul Baimaclia: P-115, P-12 și P-15, limitele geologice dintre formațiunile jurasice și stratificațiile mai tinere, se găsesc la adâncimi de 770 m, 577,8 m și respectiv 558,5

m (tabelul 1). În sondele P-22, P-30 și P-31, forate în sectorul Baurci, pachetul de strate cenozoic are grosimi de 565 m, 527 m și 612 m, respectiv. În schimb, în sectorul Aluatu, limita superioară a jurasicului se situează la adâncimi mai mici, pachetul de strate prejurasice având o grosime medie sub 350 m (de exemplu, în sonda P-21 – 315 m). Poziționarea topografică a sondelor menționate este ilustrată în figura 4.

Densitățile rocilor din cenozoic variază între 2,2 g/cm³ și 2,4 g/cm³. În general, specificul petrofizic al varietăților litologice din complexul superior nu este clar. Prezența numeroaselor intercalații lenticulare de nisipuri și argile, depuse în condiții sedimentologice variate, nu permite o corelare sigură a datelor densimetrice determinate în sondele forate.

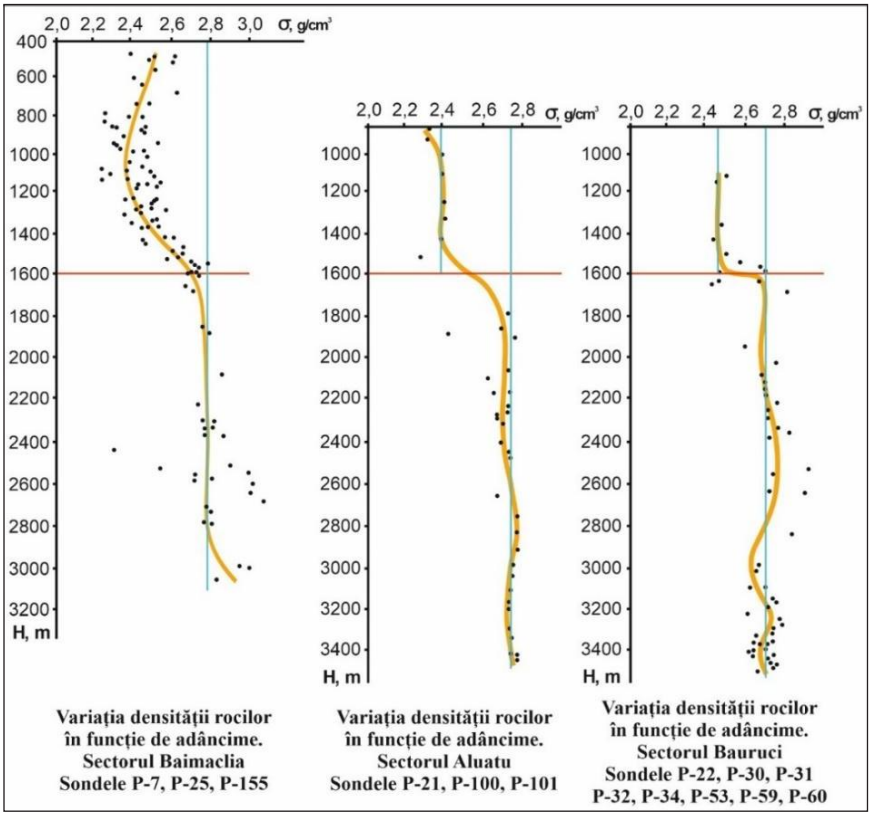


Figura 2. Relația dintre densitatea varietăților litologice și adâncime în diferite sectoare ale Depresiunii Predobrogene (Gurtovenco V.I., 1972)

Complexul mediu, constituit din strate de vârstă jurasică, este caracterizat de o densitate medie de 2,4 g/cm³ (figura 2). Deoarece depunerile jurasice din Depresiunea Predobrogene sunt asociate cu perspective importante pentru localizarea zăcămintelor de hidrocarburi, specificul geologico-structural al complexului mediu a fost studiat în mod detaliat [1], [2].

Din punct de vedere litologic, în stratele jurasicului, în special în cele ale jurasicului mediu, predomină varietățile de gresii, argilite nisipoase și argile. În formațiunile jurasicului superior se remarcă prezența argilitelor, gresiei, precum și a unor pachete de strate constituite din calcare cavernoase-fisurate din etajul oxfordian, precum și ghipsuri cu anhidrite, specifice etajului titonian.

Tabel 1. Formațiunile jurasicului și paleozoicului traversate de foraje. (Conform datelor prospecțiunilor geologice (Enzina L.I., 1964; Poluhtovici B.M.,1967)

				Sonde de cartare geologică (cota absolută a gurii de sondă, m / adâncimea sondei, m / abatajul)				
Grup	Sistem	Serie	Etaj	Sectorul Baurci		Sectorul Baimaclia		Sectorul Aluatu
				P-30	P-31	P-12	P-15	P-21
				* 115,9/ 3056/ D_1	118,3/ 2010,6/ D_2	80,3/ 2002,0/ P-T	129,9/ 3022,2 P-T	48,0/ 2331,0 T(?)
				Limite geologice; cote absolute/adâncime, m				
				Superioare				
MZ	J		J_3	**-411,1/ 527,0	-493,7/ 612,0	-497,5/ 577,8	-427,6/ 557,5	-267,0/ 315,0
				Inferioare				
			J_3th	-540,1/ 656,0	-692,7/ 811,0			
			J_3km	-720,1/ 836,0	-946,7/ 1065,0			
			J_3ox	-969,1/ 1085,0	-1226,7/	-531,5/ 611,8	-448,6/ 578,5	-652,0/ 700,0
			J_2cl	-1116,1/ 1232,0	-1386,7/ 1345,0	-678,5/ 758,8	-533,6/ 663,5	-1029,0/ 1077,0
			J_2bt	-1337,1/ 14530	-1514,7/ 1633,0	-770,5/ 850,8	-651,6/ 781,5	-1496,0/ 1544,0
			J_2bj	-1494,1/ 1610,0	-1560,7/ 1679,0	-1382,5/ 1462,8	-1173,4/ 1303,3	-2038,0/ 2036,0
	P-T							
	C	C_1		-1654,1/ 1770,0	-1663,7/ 1782,0			
	D	D_3		-2448,1/ 2564,0				
		D_2		-2812,1/ 2928,0				

Rocile de vârstă paleozoică, ale complexului inferior, se disting prin densități relativ mari, încadrându-se în intervalul 2,7–2,8 g/cm³, conform determinărilor. Condiţiile de zăcământ şi relaţiile structurale ale rocilor permiane cu elementele similare ale formaţiunii sedimentare triasice nu sunt clar stabilite, astfel, permian-triasicul este prezentat ca o formațiune geologică unitară. Formațiunile permian-triasice traversate de foraje în partea de nord a Depresiunii Predobrogene, în zona brahianticlinalelor Baimaclia, Baurci și Aluatu, sunt reprezentate de strate dislocate, formate din argilite, aleurolite, calcare, anhidrite și gresii.

Secțiunea geologică devonian-carboniferică, străbătută de foraje în sectorul Baurci, este caracteristică regiunii sudice a RM. Între varietățile de roci sedimentare ale acestor sisteme stratigrafice prevalează varietățile de argilite, calcare dolomitizate și marnă.

Comparând curbele variației densității rocilor reprezentate în figura 2 cu datele de foraj din tabelul de mai sus, se observă că nivelul hipsometric de aproximativ -1500 m până la -1550 m, determinat pe baza adâncimilor de 1600 m ale sondelor din sectoarele menționate, poate servi drept reper pentru interpretarea datelor gravimetrice și seismometrice.

Putem admite că, în cuvertura sedimentară a Depresiunii Predobrogene din regiunea de sud a RM, densitatea varietăților litologice prezintă două „salturi”. Una dintre explicațiile pentru această discontinuitate a densității rocilor în raport cu adâncimea poate fi bazată pe un fenomen stabilit prin metode statistice, care corelează densitățile nu doar cu modificările compoziției rocilor cauzate de procesele diagenetice și/sau epigenetice repetate, dar în cea mai mare parte și cu lacunele stratigrafice apărute în procesul evoluției geologice a cuverturii sedimentare. Prin metode empirice a fost determinat defectul de densitate situat la limita formațiunilor geologice de vârste diferite, în raport cu durata geocronologică a lacunei stratigrafice [6]. Această relație nu se respectă întotdeauna în condițiile subsolului, însă, la nivel calitativ, ea este luată în considerare.

Referindu-ne la fragmentul Orogenului Nord-Dobrogean, aflat în extrema sudică a RM, acesta prezintă trăsături specifice platformelor tinere (în cazul nostru, epihercinice) [7]. O analiză mai aprofundată a fost realizată asupra datelor măsurărilor densității varietăților de roci pe carotele extrase din sondele 272 și 273, forate în apropierea localității Zârnești (Cahul), aproape de limita nordică a platformei epihercinice, precum și sondele 265 și 288 (Văleni și Slobozia Mare, Cahul) [2].

Datele petrofizice determinate pe carotele extrase din sonde, evidențiază la nivelul adâncimilor de 450–550 m, o discontinuitate clară, reprezentată printr-o creștere bruscă a densităților de la 2,25 g/cm³ la 2,60–2,70 g/cm³ (figura 3). În sondele forate în apropierea localităților Zârnești, Văratic și Slobozia Mare, cuvertura sedimentară are o grosime de aproximativ 500 m, astfel încât discontinuitatea densimetrică coincide cu suprafața soclului platformei epihercinice, ale cărei roci metamorfozate în faciesurile inferioare se caracterizează prin densități ce nu depășesc 2,70 g/cm³ [5].

O discontinuitate slab pronunțată în câmpul densimetric al subsolului, cu valori între 2,60 g/cm³ și 2,80 g/cm³, se observă la adâncimile de 1100–1200 m. Totuși, deoarece

aceasta a fost identificată doar în două sonde forate în apropiere nemijlocită una față de cealaltă, originea acestei discontinuități densimetrice rămâne incertă [5].

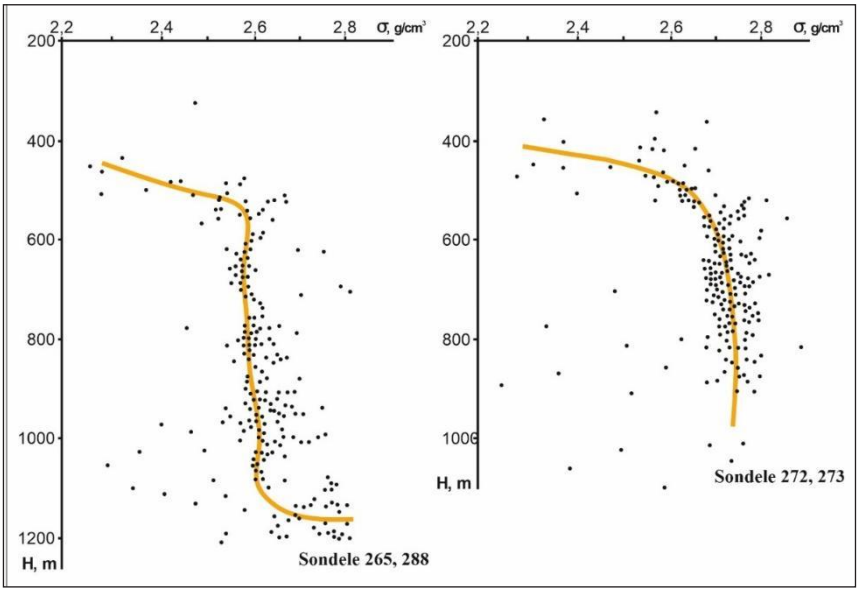


Figura 3. Variația densității rocilor în funcție de adâncime din cadrul platformei epihercinice (Gurtovenco V.I.; 1972, precizat)

Pentru efectuarea interpretării geologice a anomaliilor gravitaționale, studiul densității rocilor este de o importanță deosebită. Așa cum a fost menționat, în zona de studiu au fost identificate două discontinuități densimetrice. Cea superioară corespunde suprafeței de eroziune a stratelor de vârstă jurasică iar cea inferioară, deși nu întotdeauna, coincide aproximativ cu suprafața de eroziune a formațiunilor paleozoice și poate fi considerată limita inferioară a formațiunilor jurasicului mediu.

Folosind datele privind densitatea varietăților litologice, determinate prin metode directe sau prin metode de carotaj în sondele forate în regiunea de sud a RM, au fost elaborate două scheme densimetrice ale formațiunilor geologice aflate la nivelele adâncimilor 1000 m și 2000 m (figura 4).

La adâncimi de aproximativ 1000 m sunt identificate trei „anomalii" evidențiate prin densități relativ reduse, sub 2,4 g/cm³. În limitele sectoarelor Baimaclia și Baurci, valorile minime ale densităților se suprapun practic peste două anomalii gravitaționale locale pozitive, marcate în figura 4 cu cifrele 1 și 2. În schimb, în cadrul sectorului Aluatu, a treia „anomalie" cu densități reduse coincide cu o anomalie gravitațională negativă.

Analizând repartizarea densității varietăților litologice la nivelul adâncimilor de 1000 m, putem admite că în Depresiunea Predobrogenă se disting două zone densimetrice liniare, concordante cu direcția structurală regională. „Anomaliile" densimetrice din sectoarele Baimaclia și Baurci formează o zonă liniară orientată est-vest de-a lungul limitei

nordice a depresiunii. A doua zonă, cu caracter mai probabil, include „anomalia” sectorului Aluatu și se situează în imediata vecinătate a limitei Orogenului Nord-Dobrogean.

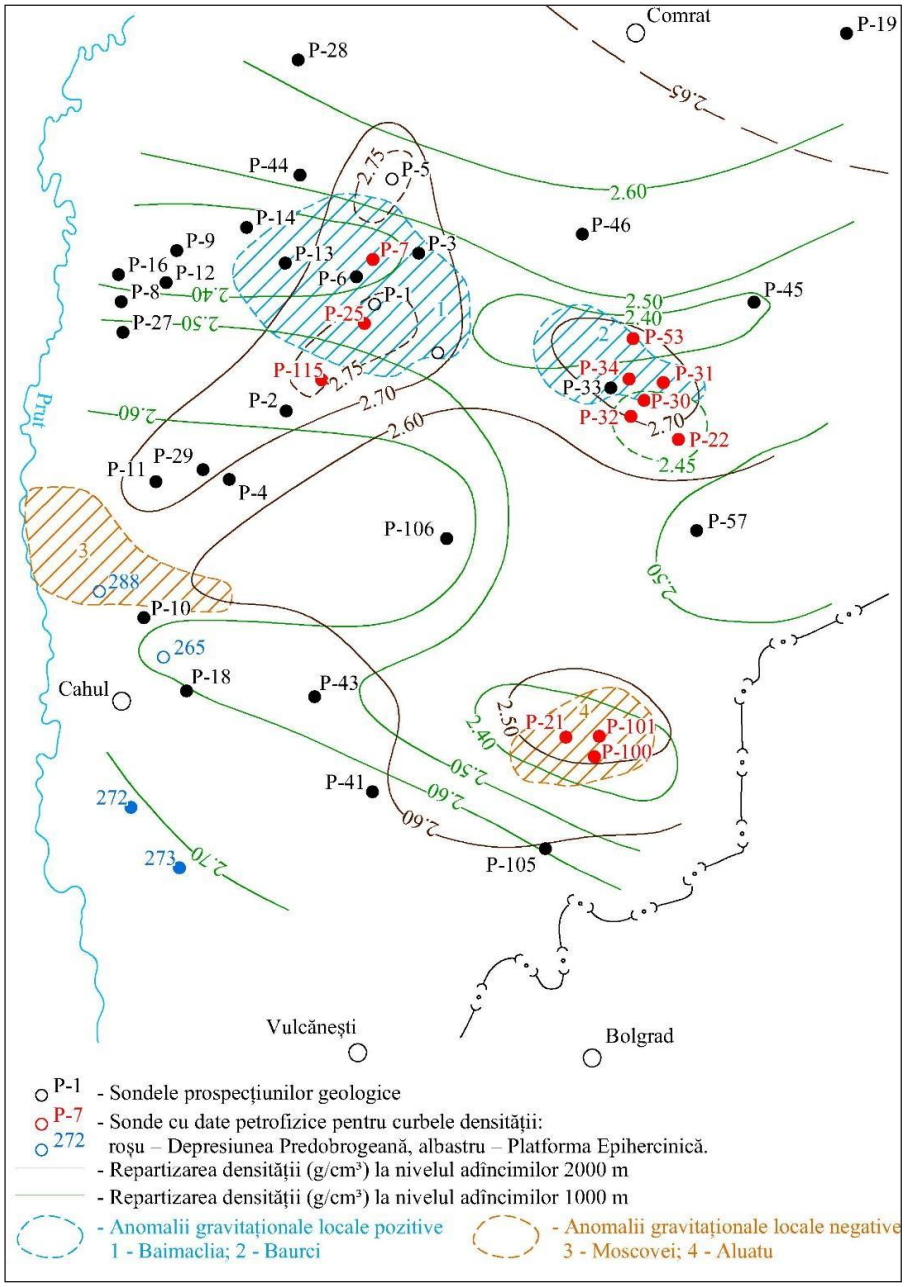


Figura 4. Schema repartizării densității varietăților litologice la nivelul adâncimilor 1000 m și 2000 m (Modificată în baza datelor prezentate de Gurtovenco V.I., 1972)

CONCLUZII

Studiul detaliat al parametrilor petrofizici, în special al densității formațiunilor litologice din Depresiunea Predobrogeană, a permis conturarea unor concluzii esențiale pentru interpretarea structurii geologice și pentru evaluarea potențialului de acumulare a hidrocarburilor în sudul Republicii Moldova. Analiza a fost fundamentată pe integrarea datelor obținute din foraje de mare adâncime, măsurători gravimetrice și seismometrie aplicată, ceea ce a permis corelarea verticală și laterală a valorilor densității cu structura geologică regională.

Concluzii principale:

1. Densitatea formațiunilor geologice din regiunea sudică a RM variază într-un interval larg, între 1,3 g/cm³ și 2,8 g/cm³, reflectând caracterul eterogen al cuverturii sedimentare și succesiunea complexă a unităților litostratigrafice.
2. Două discontinuități densimetrice majore au fost identificate: una superioară, între formațiunile mezozoice și cele mai noi, și una inferioară, în zona de contact cu formațiunile paleozoice, în jurul adâncimii de 1600 m.
3. Nivelul hipsometric, determinat de adâncimile 1600 m ale sondelor poatea servi în calitate de reper pentru interpretările datelor gravimetrice și seismometrice.
4. Valorile ridicate ale densităților (2,7–2,8 g/cm³) sunt asociate cu formațiunile paleozoice, fapt ce le conferă un rol activ în generarea anomaliilor gravitaționale și în stabilirea modelelor structurale de adâncime.
5. Utilizarea unei densități medii de 2,3 g/cm³ pentru reducerea Bouguer este adecvată pentru studiile regionale, dar necesită corecții locale în cazul modelărilor detaliate.
6. Rezultatele susțin ipoteza existenței unor structuri-capcană pentru hidrocarburi în sectoarele Baimaclia, Baurci și Aluatu, în special în complexele jurasice și paleozoice.

Recomandări:

1. Actualizarea hărților gravimetrice la scări mai detaliate, cu încorporarea datelor densimetrice din ultimele campanii de foraj și carotaj geofizic.
2. Aplicarea metodelor geofizice moderne, precum tomografia seismică 2D/3D și inversia gravimetrică avansată, pentru a delimita cu precizie structurile subterane și pentru a estima mai fidel volumele potențiale de acumulare.
3. Efectuarea de corecții densimetrice regionale și locale în modelările gravimetrice, prin considerarea structurii reale a stratului intermediar și a discontinuităților petrofizice documentate.
4. Extinderea cercetărilor în zonele limitrofe (România, Ucraina).

REFERINȚE:

1. Геология СССР. *Том XLV, Молдавская ССР*. «Недра». Москва, 1969.
2. СЛЮСАРЬ, Б. *Юрские отложения северо-западного Причерноморья*. «Штиинца», Кишинев, 1971.

3. TELFORD, W., GELDART, L., & SHERIFF, R. *Applied Geophysics (2nd ed.)*. Cambridge University Press, 1990.
4. РОМАНОВ,Л.,ЕНЗИНА,Л.*Объяснительная записка к стратиграфической схеме юрских отложений МССР*. 1967.
5. ГУРТОВЕНКО, В. *Отчет о результатах рекогносцировочных геофизических исследований глубинного геологического строения южной и центральной частей Молдовы методом обменных волн землетрясений (МОВЗ)*. Кишинев, 1994.
6. ГУРЕВИЧ, Г., БУТАКОВСКИЙ, Б. *Составление сводных сейсмогеологических карт и трансформация гравитационного поля по центральному Причерноморье*. «ТГФ». Киев, 1963.
7. JURAVLE, D. *Geologia României. Vol. I. Geologia terenurilor Est-Carpatice* (Platformele și Orogenul Nord-Dobrogean). Ed. Stef, Iași, 2009. ISBN 978-973-1809-55-7.

N.B. *Lucrarea este efectuată în cadrul Subprogramului de cercetare GeoSeism cu codul 01.09.01 și proiectului „Delimitarea ariilor de perspectivă în scopul prospecțiunilor de hidrocarburi din sudul Republicii Moldova cu scopul asigurării independenței energetice”, cu cifrul 23.70105.7007.11.*