

Вплив вуглеводнів на фізичні властивості осаdів Чорного моря в умовах високих тисків і температур

В.О. Корчін, О.Є. Карнаухова, П.О. Буртний, М.В. Кравчук, 2024

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна
Надійшла 5 січня 2024 р.

У статті ставилося конкретне завдання, а саме: який вплив мають нафтопродукти на фізичні властивості осаdів при заміні ними вологи, що міститься в них, і чи можна реєструвати геофізичними методами скупчення (локалізацію) нафтопродуктів на dні окремих площ Чорного моря. Іншими словами, необхідно оцінити зміни пружних, магнітних, електричних параметрів донних осаdів у зв'язку із наповненням їх (або заміщенням у них морської води) органічними газом-рідкими середовищами. Вперше подано результати комплексних лабораторних досліджень впливу вуглеводнів на швидкість поширення поздовжніх хвиль, магнітну сприйнятливість, питомий електричний опір та відносну діелектричну проникність у донних осадах. Окреслені можливі ознаки вуглеводнів у геофізичних полях.

У результаті встановлено два протилежні ефекти впливу вуглеводнів на пружно-щільнісні властивості у верхніх і більш глибоких горизонтах осаdів за нормальних температурних умов. Ефект різних стадій діагенезу за наявності насичення зразка нафтопродуктом (НП) веде до збільшення швидкості розповсюдження пружних хвиль у мулах. Цей ефект може мати місце в природних умовах при формуванні локалізації — на глибинах, відповідних цим температурам. Можливе оконтурювання локалізації НП зонами загартовування осаdів, областями з більш високими V_p та ρ , а, отже, інтенсивного відображення сейсмоакустичного сигналу, які можуть бути пошуковими ознаками пошуку локалізацій НП у товщах неконсолідованих осаdів. Результати досліджень свідчать, що підвищення температури навіть у ненасичених вуглеводами зразках приводить до невеликої зміни магнітної сприйнятливості. Насичення осаdів вуглеводами приводить до збільшення інтенсивності цього процесу. Встановлено, що під впливом вуглеводнів питомий електричний опір зразків морських осаdів збільшується на кілька порядків, а відносна діелектрична проникність зменшується на кілька одиниць.

Ключові слова: Чорне море, донні осади, вуглеводні, фізичні властивості.

Вступ. Склад і фізичні властивості сучасних осаdів переважно залежать від умов седиментації. Причинно-наслідкова послідовність виявлених закономірностей має такий вигляд: глибина dna → вміст пелітової та алевритової фракцій в осаdі → гідрофільність → початкова вологість (пористість і щільність) ↔ коефіцієнт седиментації. У цій статті розглянуто осади

останньої стадії седиментації та переходу їх у слабконсолідовані утворення. Лабораторні дослідження виконувались на зразках донних відкладів, відібраних за допомогою ударних трубок на геологічних станціях у рейсах, проведених у різні роки на НДС «Професор Водяницький» та «Володимир Паршин». Проби відібрано з керна осаду, піднятого за допомогою

Citation: Korchin, V.O., Karnaukhova, O.Y., Burtnyi, P.O., & Kravchuk, M.V. (2024). The influence of hydrocarbons on the physical properties of the Black Sea sediments under high pressure and temperature conditions. *Geofizychnyi Zhurnal*, 46(2), 3–22. <https://doi.org/10.24028/gj.v46i2.295608>.

Publisher Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, 2024. This is an open access article under the CC BY-NC-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

грунтовідбірної трубки завдовжки 3 м, діаметром 150 мм та упакованого в поліетиленові мішки по всій її довжині.

Райони відбору зразків це північно-західна та північно-східна частини шельфу (глибина відбору 60—155 м) і глибоководні частини Чорного моря, де глибини становлять 1800—2150 м. Група зразків північно-західного шельфу (станції № 2—17) представлена переважно сірими, темно-сірими, дрібноалевролітовими мулами, іноді з включенням уламків черепашок. Осади північно-східного шельфу (станції № 5834—5846) — це сірі, зеленувато-сірі фазеоліново-мідієві мули, в яких переважають уламки раковин. У глибоководній частині Чорного моря були відібрані зразки в західній улоговині (станції № 5781—5788, 5814, 5815) та в западині Сорокіна (станції № 5820, 5822, 5823). Станція № 5781 — алеврито-глиняні осади, в яких спостерігаються рясні виділення газів. У групі станцій 5785—5788 склад осадів найбільш різноманітний, де перешаровуються різні типи мулів. Група станцій 5814, 5815, 5820, 5822, 5823 представлена пластичними та щільними мулами іноді з прошарками гідротроїліту або гідротроїлітовими мулами.

Методика досліджень пружнощільнісних параметрів. Фізичні параметри вимірювали за допомогою апаратури та методик, використовуваних у практиці подібних робіт і докладно описаних у літературі [Корчин и др., 2013; Korchin, 2017; Korchin, Rusakov, 2021].

Щільність осадів визначалися методом різального кільця, сутність якого зводиться до визначення маси зразка відомого об'єму і розрахунку щільності за співвідношенням

$$\rho = (P_3 - P_k) / V,$$

де P_3 — маса зразка в кільці, P_k — маса кільця, V — внутрішній об'єм кільця.

Загальну масову вологість осадів (W) визначали шляхом зважування зразка до і після висушування за температури 105 °C і розрахунку за формулою:

$$W = (P_{вз} - P_{сз}) / P_{сз},$$

де $P_{вз}$ — маса вологого зразка, $P_{сз}$ — маса

сухого зразка. Загальну пористість осадів визначали за співвідношеннями:

$$n = (\rho W) / (1 + W),$$

чи

$$n = (P_{вз} - P_{сз}) \rho / P_{вз} \rho.$$

Сейсмічні методи розвідки локалізацій нафти та газу займають одне з провідних місць у геофізиці. Матеріали цих досліджень інтерпретуються на підставі уявлень про будову та властивості досліджуваного середовища. Удосконалення фізичних основ сейсмічних методів пов'язані з побудовою нових фізичних моделей реальних середовищ і зміною відповідних їм фізичних полів. У зв'язку з цим вивчення пружних властивостей мінеральних середовищ в умовах, наближених до реальних, вкрай необхідні для їх реєстрації та диференціації в процесі сейсмічних досліджень конкретних площ.

Найменше вивчені на сьогодні мінеральні середовища (мули) з високою пористістю, заповнені різними рідинами (морська вода, нафтопродукти) із слабозв'язаними твердофазними мінеральними компонентами (уламки різнорідних порід). Це переважно верхні горизонти донних утворень водних акваторій Землі. Речовинна неоднорідність їх закладена у вихідному матеріалі, седиментогенезі, діагенезі, ступені метаморфізму [Страхов, 1962]. У формуванні осадових порід істотну роль відіграє вплив термодинамічних умов природного залягання осадових порід і, зокрема, мулів (стан останніх при цьому вивчено недостатньо).

Найбільш глибокі перетворення порід відбуваються зазвичай під впливом високих температур. Відомості про температурний режим у верхній частині осадової товщі засвідчують про неоднорідність розподілу температур. Аномально високі значення температури спостерігаються в зонах магматичної діяльності, зонах припливу термальних вод, а також у місцях поширення порід із високою теплопровідністю. Отже, очевидно, що пружний стан мулів на дні водних акваторій визначається

процесами осадоагромадження, насиченістю їх рідиною і газом, впливом тиску та сучасних температур і палеотемператур. Серед осадових порід мули (річкові чи морські відклади) займають особливе місце, оскільки вони утворюються внаслідок седиментації твердих органічних чи кристалічних матеріалів [Петкевич, 1976; Зейболд, Бергер, 1984; Геология ..., 1998].

Вплив мінерального складу і гідростатичного тиску на пружні характеристики мулів різної пористості та вологості докладно описано в публікаціях [Лебедев и др., 1971, 1973; Михайлюк и др., 1998]. Встановлено, що швидкості поширення пружних хвиль в осадах поблизу дна близькі до V_p у морській воді на відповідних глибинах або менші. Виявлено, що мінімальні швидкості поширення пружних хвиль у сухих мулах спостерігаються за втрати вологи в останніх ($\Delta W/W$) на 70—80 % і становлять 0,50 км/с (сухий каркас порід не зчеплений цементуванням твердофазних фракцій). Дія високого гідростатичного тиску без насичення приводить до ущільнення мулів і, як наслідок, збільшення швидкості в них до 2,20—2,40 км/с за тиску 1 ГПа. Мули з природною вологістю $W=60\%$ змінюють швидкісні параметри приблизно з однаковим градієнтом і на глибині 10—12 км матимуть $V_p \approx 1,75$ км/с за їхньої щільності $\approx 1,303$ г/см³.

Верхні шари переважно слабоущільнені, не мають жорстких контактів між твердофазними складовими. Зі збільшенням глибини відбувається ущільнення осадів, які за певних умов (передусім гідростатичного тиску) здатні утримувати газиво-рідкі середовища (можливо горючі, органічні матеріали, що надходять з глибших горизонтів). Ділянки, збагачені газиво-рідкими нафтопродуктами (НП), є шарами осадів, в яких морська вода замінена НП, а в разі достатнього їх припливу можуть формувати окремі локальні ділянки.

Для встановлення фізичних характеристик донних утворень, насичених нафтопродуктами, було вивчено зразки осадів різного складу. Вивчалися щільність осадів (ρ), їх природна вологість (W) і швидкість

поширення пружних хвиль поздовжньої поляризації (V_p). Ці параметри також були виміряні у зразків з різною залишковою вологістю, яка контролювалася за втратою ваги мулами в природних кімнатних умовах і за примусового нагрівання до 105 °С в сушильній шафі. Методика підготовки зразків до досліджень та вимірювання відповідних параметрів опубліковані у статтях [Лебедев и др., 1971, 1973; Михайлюк и др., 1998].

Через певний інтервал часу висушування зразки зважували, вимірювали їхні швидкісні та щільнісні характеристики, обчислювали вологість (насиченість осаду морською водою). Групу зразків після часткового висушування (наприклад, 30, 60 і 100 % втрати вологи) насичували нафтопродуктами (газоліном або сировою нафтою) і вимірювали швидкість поширення пружних хвиль поздовжньої поляризації (частота пружних коливань 60—150 кГц).

Слід звернути увагу на деякі особливості поведінки верхніх горизонтів донних відкладів під час їх висушування та насичення. Зазначимо, що процес висушування осаду та його насичення нееквівалентні. При висушуванні об'єм зразка зменшується, при насиченні осадів нафтопродуктами зазвичай залишається незмінним. Лише частина втраченої осадам морської води під час висушування замінюється нафтопродуктом при насиченні. Заповнення осаду нафтопродуктами може бути визначено додатковими розрахунками [Петкевич, Вербицкий, 1965; Лебедев и др., 1971]. Для цього необхідні дані щодо щільності зразків, їх об'єму і маси на кожному етапі висушування та насичення. Для оцінювання впливу заповнення осаду (часткового або повного) на його фізичні характеристики потрібні додаткові відомості про об'єм та питомий об'єм твердофазної складової осадів та заповнювача, загальної пористості, вологості, щільності, сейсмічної швидкості, масовий вміст твердої фази та рідини.

Донні осади (неущільнені) переважно належать до диференційно пружних порід з недосконалим зв'язком між фазами (твердими, рідкими, газоподібними). У цих

породах при навантаженні (або збільшенні глибини залягання) напруження діють лише на тверду частину породи, а заповнювач пор (міжтвердофазного простору) може зміщуватися, не змінюється гідростатичний тиск заповнювача. Отже, у таких середовищах поширюються дві поздовжні хвилі зі швидкістю у твердофазній частині та в рідкогазоподібній (хвилі скелетні та заповнювачі) [Петкевич, Вербицкий, 1965; Лебедев и др., 1971; Зейболд, Бергер, 1984; Геология ..., 1998].

При аналізі експериментальних даних поширення пружних (акустичних) хвиль у неконсолідованих (донних) відкладах (товщі від перших метрів до перших кілометрів) і теоретичних розрахунках необхідно враховувати пружні постійні скелета (твердофазна складова) та його щільності, а також швидкості поширення пружних хвиль і щільності заповнювача. Крім того, потрібна інформація про структуру порового простору та характер зв'язку між фазами.

Існує кілька методів розрахунку швидкісних параметрів неконсолідованих осадових матеріалів (порід), насичених газом-рідкими середовищами [Петкевич, Вербицкий, 1965; Лебедев и др., 1971, 1973]. Наведемо найпростіше співвідношення для трикомпонентних пухких слабозцементованих середовищ (тверда фаза і дві різні рідини — морська вода й нафтопродукти чи газ):

$$V_{(3)} = \frac{V_1}{1-\phi} \sqrt{\frac{3 \frac{3-\phi}{5-\phi}}{\left(1,8 + \frac{f_2 \delta_1 V_1^2}{1-\phi \delta_2 V_2^2} + \frac{f_3 \delta_1 V_1^2}{1-\phi \delta_3 V_3^2}\right)}} \times \sqrt{\frac{3 \frac{3-\phi}{5-\phi}}{\left(1 + \frac{f_2 \delta_2}{1-\phi \delta_1} + \frac{f_3 \delta_3}{1-\phi \delta_1}\right)'}}$$

де ϕ — пористість, $f_{1,2,3}$ — об'єм складових частин осаду, $\delta_{1,2,3}$ — їх щільності, $V_{1,2,3}$ — швидкості поширення пружних хвиль.

У результаті теоретичних розрахунків та експериментальних досліджень пруж-

них характеристик осадів (і осадових порід), насичених різними рідинами і газом, встановлені такі закономірності. Передусім — у двофазних середовищах швидкість поширення пружних хвиль залежить від співвідношення об'ємів фаз, пористості, ступеня зв'язаності частинок твердої фази (цементування). Швидкість поширення пружних хвиль в двофазному середовищі, насиченому різними рідинами, прямо залежить від такої швидкості у рідині. Причому різниця швидкостей в середовищах досягає 250—500 м/с, тобто 5—10 % швидкості у твердій фазі за пористості 20 %. Зі збільшенням пористості диференціація швидкості поширення пружних хвиль у різних середовищах змінюється; отже, вона наближається до різниці швидкостей у насичувальних рідинах. Аналізуючи роль насичувальних рідин в осадах, потрібно враховувати ступінь змочуваності, тобто проникнення рідини у найвужчі капіляри (дуже важлива характеристика рідини в лабораторних дослідженнях). За експериментальними даними зміна швидкості поширення пружних хвиль у поступового заповнення порового простору змінюється рівномірно і має проміжні значення швидкості у сухій і повністю заповненій рідиною породі. З огляду на викладене вище, вважаємо, що донні відклади (пористі неконсолідовані середовища), насичені газом-рідкими матеріалами (вода, газ, нафта, газолін) за пористості від 10 до 45 %, що перебувають у реальних умовах, диференціюються за швидкостями поширення пружних хвиль залежно від зміни таких факторів: а) мінеральний склад; б) ступінь зв'язаності агрегатів; в) пористість; г) диференційний тиск; д) пружні властивості компонентів; е) ступінь заповнення порового простору рідиною; ж) температура і тиск. Ця диференціація може досягати 10—15 % швидкості і зменшується до 2—5 % з глибиною 3—4 км.

Вплив вуглеводнів на швидкість поширення пружних поздовжніх хвиль і щільність. Нашими дослідженнями було розглянуто вплив нафтопродуктів на фізичні властивості осадів при заміні ними

Таблиця 1. Фізичні параметри осадів глибоководної частини Чорного моря, виміряних за кімнатної температури

Номер станції/ інтервал, см	Осади	ρ , г/см ³	W , %	V_p , км/с	Π_v , %	Π_o , %	ρ_c , г/см ³	V_{p_c} , км/с	Y_v , %	$V_{R_{HP}}$, м/с	ρ_{HP} , г/см ³
5814/97-145	Мул сірий м'якопластичний	1,532	36,6	1,47	29,0	32,9	1,621	1,05	14,4	1,17	1,854
5814/145—200	Мул сірий з прошарка- ми гідротроїліту	1,673	37,2	1,46	23,7	19,9	1,674	0,83	16,2	1,38	1,944
5814/230—300	Мул гідротроїлітовий	1,807	34,8	1,43	22,1	16,8	1,692	0,80	15,8	1,38	1,958
5815/120—180	Мул сірий м'якопластичний	1,537	46,5	1,38	29,1	24,6	1,445	0,90	15,3	1,12	1,666
5815/180—240	Мул сірий пластичний	1,545	46,2	1,33	26,9	26,4	1,534	1,07	14,0	1,57	1,722
5815/240—280	Мул гідротроїлітовий	1,843	26,4	1,42	19,5	12,3	1,691	0,91	9,9	1,38	1,858
5815/280—420	Мул сірий щільний	1,799	37,0	1,42	22,7	17,0	1,676	0,75	15,7	1,01	1,913
Западина Сорокіна											
5820/65—85	Мул сірий	1,526	51,4	1,36	32,0	27,3	1,427	1,03	11,3	1,45	1,858
5822/35—50	Мул сірий з черепаш- ковим детритом	1,774	35,9	1,45	21,9	21,1	1,756	1,03	13,1	1,70	1,985
5823/200—220	Мул сірий з прошарка- ми гідротроїліту	1,623	41,1	1,40	23,9	25,9	1,669	1,35	14,2	1,59	1,905
Середнє		1,666	39,3	1,41	25,1	22,4	1,619	0,97	14,0	1,37	1,866

Примітки: ρ — щільність; W — вологість; Π_v — відносна втрата маси; Π_o — відносна втрата об'єму після просушки; ρ_c — щільність сухого зразка; V_{p_c} — швидкість поширення пружних хвиль у сухих зразках; Y_v — відносне збільшення маси після насичення нафтопродуктом; R_{HP} — щільність осадів, насичених нафтопродуктом; $V_{R_{HP}}$ — швидкість поширення пружних хвиль в осадах, насичених нафтопродуктом.

вологи, що міститься в породі, і можливість реєстрації сейсмоакустичними методами скупчень (локалізації) нафтопродуктів на дні окремих площ Чорного моря. Іншими словами, було оцінено зміни пружних параметрів донних осадов у зв'язку із наповненням їх (або заміщенням у них морської води) органічними газопо-рідкими середовищами.

Нижче наведено матеріали досліджень пружнощільнісних характеристик осадов Чорного моря, по-різному заповнених морською водою та нафтовими продуктами (газоліном, сирією нафтою).

Вивчено зразки осадов, відібрані в глибоководній та мілководній (північно-західний шельф) частинах моря. Дослідження проводили у два етапи. На першому визначали щільність осадов і швидкість поширення пружних хвиль в осадах природної вологості. В подальшому їх висушували в кімнатних умовах, вимірювали пружно-

щільнісні параметри повітряно-сухих зразків та після насичення їх нафтопродуктами тривалий час під вакуумом (табл. 1, 2).

Згідно з даними табл. 1, за щільності 1,526—1,807 г/см³ (середнє — 1,666 г/см³) за швидкістю V_p досліджувані осади глибоководної частини є слабодиференційованими (1,33—1,47, середнє — 1,41 км/с). Висушування веде до втрати води (Π_v , %), зменшення обсягу осаду (Π_o , %) і значного зменшення в них швидкості поширення пружних хвиль. Щільність сухих зразків змінюється незначно і здебільшого залишається нижчою за щільність водонасичених. У результаті насичення маса зразків збільшилась, лінійні параметри (об'єм зразка) залишилися без змін.

Слід зазначити, що в процесі дослідів зроблено спробу паралельно з насиченням НП насичувати дублікати досліджуваних нами сухих осадов водою. Розміщення сухих зразків у воді привело до їхнього

Т а б л и ц я 2. Пружні параметри осадов мілководної частини Чорного моря, виміряних за кімнатної температури

Номер станції/інтервал, см	Осади	ρ , г/см ³	W , %	V_{p1} , км/с	V_{p2} , км/с	V_{p3} , км/с
2/60—70	Мул темно-сірий з включеннями фауни	1,590	43,5	1,78	1,79	1,95
2/115—130	Те саме	1,600	42,1	1,86	1,93	1,91
2/165—180	Те саме	1,600	41,9	1,86	1,86	1,94
9/10—25	Мул сірий	1,520	44,5	1,71	1,82	2,06
9/100—115	Мул темно-сірий з прошарками гідротроїліту	1,600	42,4	1,71	1,81	2,11
14/20—35	Мул сірий з включеннями черепашок	1,410	56,3	1,73	1,77	1,88
14/60—75	Те саме	1,450	52,6	1,78	1,76	2,07
14/110—125	Те саме	1,460	53,3	1,75	1,79	2,03
15/25—40	Мул сірий мілкоалевритовий з окремими черепашками	1,410	56,2	1,71	1,78	1,95
15/60—75	Те саме	1,400	57,4	1,72	1,83	2,12
15/150—155	Те саме	1,720	35,4	1,90	1,88	1,76
5834/160—175	Мул сірий мідієвий	1,920	25,4	1,63	1,63	1,79
5838/130—145	Мул мідієвий	1,675	44,9	1,54	1,51	1,47
5843/130—145	Те саме	1,816	31,4	1,63	1,49	1,42
5846/130—140	Те саме	1,795	36,6	1,61	1,63	1,64
Середнє		1,598	44,3	1,73	1,75	1,87

Примітка: ρ — щільність осадов; W — вологість; V_{p1} — швидкість поширення пружних хвиль у зразках природної вологості; V_{p2} — швидкість після просушування в кімнатних умовах; V_{p3} — швидкість в осадах, насичених нафтопродуктами.

розм'якшення, руйнування. Іншими словами, водне середовище сухих осадів зумовлює порушення суцільності осаду, розмокання, тоді як наявність нафтопродуктів не позначається на його фізичному стані (зміні твердості та форми об'єму).

Отже, насичення НП привело до збільшення об'ємної маси зразків і як результат до збільшення їхньої щільності. Швидкість поширення пружних хвиль також значно збільшилась порівняно з їх швидкістю в сухих осадах, але залишилися помітно нижчими, ніж в осадах, насичених водою.

Вплив насичення нафтопродуктами в осадах мілководної частини моря дещо інший. Там, де глибина моря становить 60—155 м, за вологості осадів 35—57 % їхня щільність дорівнює 1,400—1,720 г/см³ (середнє 1,598 г/см³), а швидкість пружних хвиль лежить у межах 1,71—1,90 км/с (середнє 1,73 км/с). Просушування зразків приводить до зменшення в них вологості та збільш швидкості поширення пружних хвиль, яка в подальшому при насиченні осадів нафтопродуктом збільшується до 1,80—2,10 км/с (середнє — 1,87 км/с).

Отже, виявлено принаймні два протилежні ефекти, які пов'язані зі зміною в них швидкості поширення пружних хвиль у процесі висушування зразків і подальшого насичення їх нафтопродуктами.

Розглянемо інформацію, яка може бути корисною при інтерпретації результатів досліджень неконсолідованих утворень морського дна сейсмоакустичними способами [Лебедев и др., 1971, 1973; Корчин и др., 1998]. Насамперед очевидно, найкориснішими є дані щодо відбивних властивостей пружних коливань мулами, тобто сейсмічний фактор осадів — добуток швидкості поширення пружних хвиль на щільність. За швидкостями поширення пружних хвиль і щільністю мули Чорного моря диференціюються таким чином. Від поверхні дна до перших метрів мули найбільш збагачені морською водою (їхня вологість — від 80 до 50 %), тверді фракції слабо пов'язані (найчастіше перебувають у зваженому стані), швидкості в них варіюють від 1,42 до 1,60 км/с, а щільність — від

1,15 до 1,35 г/см³. У разі змішування цих осадів з нафтопродуктами або заміщення в них частково морської води нафтопродуктами (це вдається зробити після короткочасного висушування осаду в кімнатних умовах, коли зразок втрачає не більше як 20 % морської води, зануренням його в НП) за пружно щільнісними параметрами мули залишаються слабодиференційованими. Отже, у верхніх горизонтах локалізовані нафтопродукти не можна виявити сейсмоакустичними методами, оскільки їх V_p та ρ близькі до вихідних значень придонних відкладів, не збагачених нафтопродуктами. Це підтверджено як експериментально (див. табл. 1, 2), так і теоретичними розрахунками, за наведеними вище рівняннями, з огляду на те, що сирі нафтопродукти мають $V_{\text{НП}}=1,30\div 1,47$ км/с (залежно від їхньої температури), морська вода $V_{\text{МВ}}=1,47\div 1,54$ км/с (залежно від солоності), твердофазна складова осадів $V_T=2,10\div 2,50$ км/с (залежно від зцементування осаду).

Згідно з розрахунками, незалежно від відсоткового вмісту кожного з трьох компонентів (морська вода 60—40 %, тверда фаза 30—45 % і нафтопродукти 10—15 %), на глибинах від перших до перших десятків метрів осади матимуть швидкість порядку 1,46—1,58 км/с і щільність 1,300—1,400 г/см³, що відповідає параметрам придонної морської води та верхнім шарам мулів.

Іншими словами, сейсмоакустичного відгуку це середовище не матиме, воно буде проникним для пружного сигналу на всю товщину подібних осадів без вказівки на якусь диференціацію або шаруватість придонних горизонтів [Лебедев и др., 1971, 1973; Корчин и др., 1998]. Однак цей висновок також заслуговує на увагу і потребує детальнішого дослідження, оскільки на сейсмограмах такі зони можуть мати вигляд «мертвої зони», плями чистого поля без відбивних сигналів.

Другий виявлений ефект пов'язаний із збільшенням швидкості поширення пружного сигналу у слабообводнених осадах. Зі збільшенням глибини залягання осадів від поверхні дна в них суттєво зменшується

вміст води. Ущільнення осадових — природний процес. Найбільш ущільнюваними є дрібнодисперсні осади, вони менш обводнені і з глибиною залягання більш зцементовані. Вологість цих осадових менша за 45—50 %, швидкості — близько 1,65—1,75 км/с, щільність — 1,550—1,850 г/см³. За даними раніше опублікованих досліджень [Лебедев и др., 1971, 1973; Михайлюк и др., 1998], такі осади можуть залягати на глибинах від 0,5 до 2 км нижче морського дна.

На другому етапі цієї роботи зразки мулів верхніх горизонтів були спеціально препаровані з метою зменшення в них морської води та пористості, далі насичені вдруге нафтопродуктами після прогріву за температури від 105 до 300 °С до постійної маси, а потім насичені повторно НП, що привело до значного збільшення швидкості в них (табл. 3).

Дослідження зразків глибоководної частини також включали кілька циклів прогріву зразків за різних температур з подальшим насиченням після кожного прогріву їх нафтопродуктами під вакуумом, вимірювання швидкості проходження в них пружних поздовжніх хвиль і обчислення щільності. Прогрів зразків здійснювали при 60, 100, 200 °С. Результати вимірювань (табл. 4) ще раз підтверджують той факт, що насичення осадових нафтопродуктами і підвищення температури приводять до зростання швидкості поширення в них пружних поздовжніх хвиль, збільшення щільності і, як результат, коефіцієнта акустичної жорсткості, одного з основних сейсмічних параметрів.

Таким чином, можна вважати, що осади зі швидкістю поширення пружних хвиль 2,00—2,30 км/с на помірних глибинах ($h \approx 0,5 \div 2$ км), які містять нафтопродукти (більш як 10—20 % за обсягом), можуть формувати горизонти, що фіксуються сейсмоакустичними методами як границі інтенсивних відбиттів. Обов'язковою умовою виявленого ефекту є прогрів зразка до 100 °С під час формування, що цілком можливо на окремих ділянках Чорного моря. Подібні горизонти окантовуватимуть локалізацію нафтопродуктів і утримуватимуть

їх на вказаних глибинах, що може бути ознакою наявності нафтопродуктів (конденсатів або нафти) на вказаних глибинах.

Заміщення в осадах морської води нафтопродуктами зумовлює прояв негативної незначної швидкісної аномалії. Висушування зразка осаду до певного моменту еквівалентно його заглибленню від поверхні дна, де можливе його насичення нафтопродуктом унаслідок міграції та локалізації останнього.

Існують такі способи насичення мулів НП: 1) природне (частково підсушений зразок поміщений у посудині з НП) — метод вбирання; 2) примусове насичення у вакуумі — поступове відкачування зі зразка води та самопливом заміщення її НП. Зразок попередньо висушують на 10—20—30—40—50 % його вологості, причому зберігаються його форма і структура. Об'єм, природно, зменшується через висихання міжзернової природної вологи. Методом зважування та вимірювання об'єму зразка визначається ступінь заповнення НП звільненого порового простору.

Експериментально встановлено, що насичення НП можливе не більш як у 50 % звільненого простору. З цього об'єму (маси НП) частина НП проникає в зразок самопливом (незв'язана рідина, більше пор різної конфігурації: сферичної, еліпсоїдної, тріщинуватої). Відбувається саме заміщення морської води нафтопродуктами.

Інша частина (очевидно менша) НП проникає у висушений зразок мулу внаслідок абсорбції (в газоподібному або рідкому вигляді), змочування та дифузії через втрати жорсткого зв'язку між елементами твердої фракції мулів, які здебільшого інтенсивно гігроскопічні. Цей процес зумовлює незначне збільшення об'єму (зменшення щільності осаду зразка). Однак якщо зразок зазнає інтенсивної теплової обробки (нагрівання більш як 100 °С), то очевидно слід очікувати спікання (випалювання) твердої компоненти осаду (подібно до процесу метаморфізму). Це приводить до зміцнення міжзернових зв'язків і утруднення (зниження) змочування зразка і природної дифузії. Спікання ефективніше підвищує

Таблиця 3. Пружні параметри осадів за різних температурних режимів

Номер станції /інтервал, см	Осади	V_{P1} , км/с	V_{P2} , км/с	V_{P3} , км/с	V_{P4} , км/с	V_{P5} , км/с	V_{P6} , км/с
2/60—70	Мул темно-сірий з включенням фауни	0,856	1,278	0,973	1,882	1,145	1,966
2/115—130		1,029	1,216	1,292	1,673	1,555	1,766
2/165—180	Те саме	0,935	1,105	1,065	1,400	1,215	1,487
9/10—25	Мул сірий	0,949	1,005	1,340	1,694	1,543	1,846
9/100—115	Мул темно-сірий з прослоями гідротроїліту	1,192	1,211	1,451	2,148	1,909	2,218
14/20—35	Мул сірий з включенням черепашок	0,844	0,950	1,380	1,777	1,760	2,208
14/60—75	Те саме	0,938	1,083	1,227	1,825	1,541	1,616
14/110—125	Те саме	1,132	1,375	1,197	2,114	1,273	2,171
15/25—40	Мул сірий мілкоалевритовий з окремими черепашками	1,032	1,049	1,213	1,585	1,387	1,644
15/60—75	Те саме	—	1,550	—	2,170	—	2,228
15/150—155	Те саме	1,244	1,149	—	1,687	1,570	1,728

Примітка: швидкість поширення сейсмічних хвиль у зразках: V_{P1} — висушених при 105 °С; V_{P2} — насичених НП при 105 °С; V_{P3} — висушених при 200 °С; V_{P4} — насичених НП при 200 °С; V_{P5} — висушених при 300 °С; V_{P6} — насичених НП при 300 °С.

Таблиця 4. Фізичні параметри осадів, виміряних за підвищених температур

Номер станції/інтервал, см	ρ , г/см ³	V_p , км/с	Прогріті до 60 °С			Насичені НП			Прогріті до 105 °С			Насичені НП			Прогріті до 200 °С			Насичені НП		
			$\rho_{B'}$, %	ρ , г/см ³	V_{P1} , км/с	$\rho_{B'}$, %	ρ , г/см ³	V_{P1} , км/с	$\rho_{B'}$, %	ρ , г/см ³	V_{P1} , км/с	$\rho_{B'}$, %	ρ , г/см ³	V_{P1} , км/с	$\rho_{B'}$, %	ρ , г/см ³	V_{P1} , км/с	$\rho_{B'}$, %	ρ , г/см ³	V_{P1} , км/с
5814/97—145	1,854	1,170	14,8	1,579	1,953	17,8	1,860	1,901	11,7	1,642	2,046	13,3	1,860	2,303	13,0	1,648	2,160	15,8	1,874	2,340
5814/145—200	1,944	1,377	15,3	1,646	1,587	18,3	1,947	1,896	12,2	1,709	2,015	13,9	1,946	2,353	13,7	1,679	2,179	17,1	1,966	2,187
5814/230—300	1,958	1,375	15,7	1,650	1,486	16,7	1,926	1,868	11,6	1,703	1,782	13,2	1,927	2,239	13,7	1,663	1,926	16,9	1,944	2,240
5815/120—180	1,772	1,119	13,9	1,434	1,667	16,9	1,676	1,786	12,2	1,471	1,411	13,9	1,675	1,934	14,2	1,437	1,595	17,5	1,688	1,942
5815/180—240	1,722	1,571	14,1	1,479	1,668	18,6	1,754	1,820	12,4	1,537	1,657	14,0	1,752	2,116	13,8	1,510	1,851	17,2	1,770	2,120
5815/240—280	1,858	1,380	10,1	1,655	1,324	10,5	1,829	2,060	8,9	1,666	1,588	9,5	1,824	2,024	9,0	1,660	1,653	11,1	1,844	1,978
5815/280—420	1,913	1,007	13,3	1,658	1,458	12,5	1,865	1,837	9,2	1,693	1,318	10,0	1,862	1,918	10,2	1,672	1,373	12,4	1,879	1,923
5820/65—85	1,858	1,448	12,9	1,618	1,769	16,6	1,886	1,943	11,3	1,673	1,698	12,6	1,884	2,104	12,8	1,642	1,012	15,9	1,903	2,054
5822/35—50	1,958	1,702	13,5	1,693	1,913	16,9	1,979	1,914	11,5	1,751	1,332	13,1	1,980	1,770	13,6	1,711	1,458	16,6	1,995	1,703

параметри осаdів (мулів), ніж тільки обводнення (насичення) зразка морською водою або нафтопродуктом.

Зазначене добре демонструють наші експерименти, пов'язані з насиченням мулів нафтопродуктами, попередньо прогрітими до 200 і 300 °С (раніше зразки були насичені НП), коли спостерігається збільшення швидкості поширення пружних хвиль у мулах. Подібний ефект може відбуватися у природних умовах в разі формування локалізації — на глибинах, відповідних цим температурам. При цьому морські осади інтенсивно розшаровуються на межі ділянки мулів, заповнених, наприклад, морською водою та нафтопродуктами. Можливе оконтурювання локалізації НП зонами загартовування осаdів, ділянками з більш високими V_p та ρ , а отже, інтенсивного відображення сейсмоакустичного сигналу, що може бути пошуковими ознаками локалізацій НП у товщах неконсолідованих осаdів.

Повторне просочення (насичення) висушених мулів морською водою (особливо з незначним вмістом мінеральних елементів, солей) навіть після прогріву за високих температур приводить до інтенсивного розущільнення осаду зі втратою пружних зв'язків і контактів між твердими фракціями. Залежно від об'ємів обводнення мулу пружні параметри середовища тяжіють до мінімальних значень, що відповідають об'ємам мулів верхніх найбільш обводнених шарів ($V_p \approx 1,30$ км/с, $\rho \approx 1,100$ г/см³). Отже, оконтурена локалізація НП зоною загартовування має проявлятися контрастно на відповідних профілях.

Слід також зазначити, що на розглянутих глибинах і за дії на досліджувані зразки вказаних вище температур, а також за їх природної вологості ($W < 60$ %) дія високих тисків (P) не має істотного впливу на пружні параметри. Тиск стає ефективним тільки при $W > 60$ %.

Вплив вуглеводнів на магнітну сприйнятливність. Про явище відновлення магнетиту в осадах, що приводить до збільшення значень χ , відомо давно [Donovan et al., 1979]. Однак до цього часу йшлося

здебільшого про відновлення магнетиту, що обумовлює збільшення магнітної сприйнятливості. Змістовний огляд таких геохімічних схем наведено у публікаціях [Кравченко и др., 2003; Тектоника..., 2015]. У літературі відомі поодинокі приклади, коли у вуглеводневому середовищі магнітна сприйнятливність дуже мала [Нечаева и др., 2003]. Тому розглянемо перетворення під дією вуглеводнів різних сполук заліза, утворення яких контролюється геохімічними умовами тієї чи іншої стадії діагенезу.

На земній поверхні 90 % заліза переноситься водними потоками від місця первинного залягання до морського басейну у формі гідроксиду $\text{Fe}(\text{OH})_3^{3+}$ у вигляді золів або завислої речовини разом з пелітовими часточками осадових порід [Чухров, 1953; Страхов, 1962]. Коли залізо потрапляє в морський басейн, відбувається збірна кристалізація золю і завислої речовини, утворення з них мінералів і перетворення осаdів на породу. Найбільш ранній етап діагенезу характеризується окиснювальними умовами, де залізо пероксиду перетворюється на окиснювальне у формі гетиту ($\alpha\text{-FeOOH}$) чи лімоніту ($\text{FeOOH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$) залежно від кількості зв'язаної води. Надалі при зневодненні та при 250 °С вони трансформуються у гематит — вихідний продукт у процесі утворення магнетиту. Магнітна сприйнятливність магнетиту, як мінімум, у десятки разів більша за її значення в інших мінералах, тільки цей параметр робить істотний внесок у позитивні магнітні аномалії над покладами вуглеводнів.

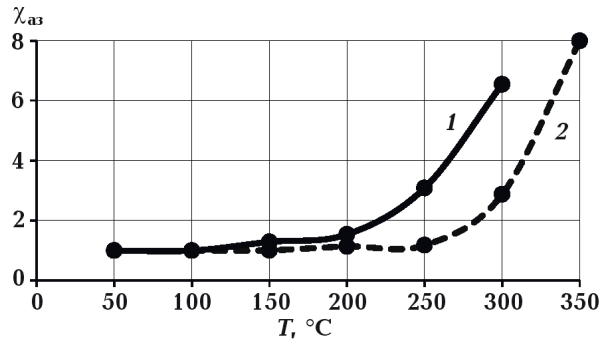
На пізніших стадіях діагенезу під дією бактерій органічного матеріалу окисні умови в осадовій породі змінюються на відновлювальні [Чухров, 1953; Страхов, 1962]. Водночас розчини у ній збагачуються сірководнем, аміаком, воднем і вуглекислою, у результаті з'являються сульфідні і карбонати заліза.

Ця загальна схема утворення сульфідів і карбонатів заліза має свої специфічні особливості у Чорному морі, де тривалий час існує унікальний потужний сірководневий шар, у формуванні якого також беруть участь сірководень і вуглекислота

глибинного походження [Коллодій, 2003; Лукин, 2006]. Як наслідок, тут в осадовій товщі сконцентровано значно більше сульфатів і карбонатів, ніж утворюється на стадії епігенезу в стандартних умовах.

Для виявлення впливу вуглеводнів за різних температурних режимів на магнітну сприйнятливості (χ , 10^{-5} од. СІ) проведено лабораторні дослідження, в яких для експериментів було взято зразки, відібрані в межах північно-західного та північно-східного шельфу (глибини 50—155 м).

Для забезпечення постійної концентрації вуглеводневої речовини зразки протягом 1,5 місяців витримували в газоліні в ексикаторі і потім послідовно нагрівали до 100—350 °С з інтервалом 50 °С. Після



Середні значення зміни магнітної сприйнятливості за різних температурних режимів: 1 — ненасичені вуглеводами зразки, 2 — насичені вуглеводами зразки.

Average values of changes in magnetic susceptibility under different temperature regimes: 1 — samples unsaturated with carbohydrates, 2 — samples saturated with carbohydrates.

Т а б л и ц я 5. Зміна магнітної сприйнятливості насичених зразків під час нагрівання (станції № 5834 — 5846)

Номер зразка	Номер станції/інтервал, см	Температура, °С						χ ₀ , 10 ⁻⁵ од. СІ
		50	100	150	200	250	300	
1	5834/60—75	1,00	1,04	1,01	1,05	3,75	6,27	7,50
1а		1,00	0,96	1,02	1,00	4,40	20,80	
2	5834/160—175	0,96	0,98	1,04	1,20	2,59	6,62	8,50
2а		0,98	0,96	1,01	0,99	2,30	12,20	
3	5838/60—75	0,92	1,03	0,95	0,95	1,60	2,50	14,90
3а		1,00	0,99	1,01	0,99	4,90	8,90	
4	5838/130—145	0,92	0,97	1,07	1,22	2,40	6,15	5,90
4а		0,86	0,89	0,89	0,89	1,80	13,70	
5	5840/60—75	0,89	0,90	1,00	1,08	3,74	8,70	7,30
5а		1,01	1,01	1,04	1,03	2,40	14,00	
6	5840/100—115	0,90	0,93	0,98	1,14	4,36	10,70	5,90
6а		1,02	0,96	1,02	1,00	4,30	6,40	
7	5841/44—55	0,95	0,98	1,09	1,50	4,36	7,10	5,50
7а		0,96	0,96	0,96	1,02	6,30	22,00	
8	5841/100—115	1,05	0,85	1,12	1,15	2,46	5,95	7,40
8а		1,00	1,00	1,05	1,08	2,50	13,10	
9	5842/60—75	0,98	1,02	1,13	1,36	4,00	6,11	6,00
9а		1,00	0,98	1,03	1,05	2,03	12,40	
10	5842/105—120	0,96	0,98	1,40	1,37	4,04	8,64	8,10
10а		1,01	1,01	1,09	1,13	3,00	7,70	
11	5843/60—75	1,03	1,03	1,66	1,67	2,90	5,05	5,80
11а		1,01	1,01	1,03	1,10	4,00	14,30	
12	5843/130—145	1,02	1,00	1,56	1,82	5,70	9,60	6,60
12а		1,02	1,02	1,04	1,04	4,40	14,50	
13	5845/10—50	0,99	1,00	1,40	1,85	3,46	4,99	8,10
13а		1,02	1,03	1,40	1,40	3,10	4,70	
14	5845/90—100	0,98	0,96	1,20	1,04	4,90	10,40	5,10
14а		1,05	1,02	1,04	1,05	3,40	9,60	
15	5846/50—60	1,00	1,02	1,40	2,31	4,63	7,36	8,10
15а		1,00	1,03	1,06	1,10	2,80	5,30	
16	5846/130—140	—	1,02	1,00	1,03	1,02	1,12	54,16
16а		—	1,00	1,03	1,23	1,40	2,07	

Таблиця 6. Зміна магнітної сприйнятливості насичених зразків під час нагрівання (станції № 2—15)

Номер зразка	Номер станції/інтервал, см	Температура, °С						$10^{-5} \chi_{\text{од. CI}}$
		100	150	200	250	300	350	
1 1a	2/0—10	1,05 0,93	0,94 0,92	1,29 1,04	1,34 1,09	2,14 1,56	6,24 2,74	7,38
2 2a	2/60—70	0,89 0,94	0,92 0,93	1,24 1,04	1,34 1,06	2,08 1,48	6,92 3,72	8,61
3 3a	2/115—130	0,97 0,99	0,94 0,97	0,97 1,04	0,99 1,09	1,24 1,49	4,72 3,12	7,22
4 4a	2/165—180	0,99 0,93	0,85 1,02	1,34 1,13	1,46 1,18	2,35 4,44	4,24 8,86	14,22
5 5a	3/0—10	0,98 0,97	1,60 1,28	2,86 2,06	5,30 2,88	6,07 6,76	7,04 8,20	20,38
6 6a	6/0—10	1,03 0,98	1,00 0,98	1,40 1,05	1,48 1,04	1,78 1,40	3,54 2,42	18,31
7 7a	9/10—25	1,01 1,00	0,98 1,00	1,18 1,07	1,23 1,07	1,41 1,63	2,72 2,48	17,66
8 8a	9/100—115	0,94 1,00	0,94 1,35	1,32 1,44	1,42 1,50	2,36 1,94	7,33 4,31	6,95
9 9a	13/20—35	1,00 1,00	1,01 1,07	1,49 1,15	2,00 1,27	4,40 1,96	12,98 5,65	6,82
10 10a	13/70—85	1,04 1,00	1,00 0,96	1,30 1,08	1,41 1,02	1,90 1,23	2,92 2,18	17,49
11 11a	13/155—170	1,07 1,02	1,06 1,02	1,68 1,31	1,99 1,30	3,73 1,71	6,89 3,46	5,70
12 12a	14/20—35	1,09 0,93	1,00 0,91	1,45 1,11	2,14 1,42	3,38 2,38	11,99 6,17	5,33
13 13a	14/60—75	1,01 1,00	1,00 0,91	1,15 1,02	1,30 1,02	1,46 1,52	2,41 2,88	15,34
14 14a	14/110—125	0,95 0,95	0,96 0,98	1,26 1,09	1,68 1,14	3,88 2,96	7,77 9,50	5,66
15 15a	15/25—40	1,02 0,97	0,99 0,96	1,19 1,16	1,43 1,21	3,00 5,00	10,76 4,97	6,38
16 16a	15/60—75	0,99 0,98	0,93 0,99	0,77 1,70	0,70 1,07	0,80 1,10	1,19 1,37	19,56
17 17a	15/150—155	1,00 1,00	0,88 1,01	0,99 1,06	1,05 1,32	1,53 1,62	3,32 4,10	9,00

кожного циклу нагрівання-охолодження вимірювали магнітну сприйнятливості. Таку процедуру виконували і для зразків, ненасичених газоліном. Нагрівання зразків сприяло прискоренню відновлення сульфідів заліза до піриту. У природних умовах цей процес є тривалим.

Результати вимірів показано на рисунку і наведено у табл. 5 і 6. У стовпчиках — відношення значень магнітної сприйнятливості,

виміряної за кімнатної температури (T), до її значень у прогрітих зразках після кожного етапу відповідно (50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 °С), а також показники на початку експериментів.

Згідно з результатами досліджень, підвищення температури навіть у зразках, ненасичених вуглеводами, веде до зміни магнітної сприйнятливості. Насичення осадів вуглеводами приводить до збільшення ін-

Таблиця 7. Електричні параметри зразків у лабораторних умовах (станції № 2—15)

Номер станції	Інтервал, см	R_{II} , Ом·м			ϵ		
		вологі	сухі	насичені	вологі	сухі	насичені
2	60—70	3,43	$7,14 \cdot 10^2$	$1,92 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^5$	$5,2 \cdot 10^4$	$6,3 \cdot 10^3$
	115—130	3,43	$5,77 \cdot 10^2$	$2,22 \cdot 10^4$	$6,8 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^4$	$7,7 \cdot 10^3$
	165—180	3,73	$7,88 \cdot 10^2$	$3,25 \cdot 10^4$	$3,2 \cdot 10^5$	$3,1 \cdot 10^4$	$6,2 \cdot 10^3$
9	10—25	2,84	$2,24 \cdot 10^2$	$2,01 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^5$	$4,4 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^3$
	100—115	3,12	$5,45 \cdot 10^2$	$7,39 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^5$	$9,1 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^3$
14	20—35	2,97	$2,76 \cdot 10^2$	$9,11 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^3$
	60—75	2,84	$5,59 \cdot 10^2$	$2,38 \cdot 10^4$	$7,6 \cdot 10^5$	$6,5 \cdot 10^4$	$5,6 \cdot 10^3$
	110—125	3,33	$8,03 \cdot 10^2$	$2,12 \cdot 10^4$	$3,5 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^4$	$0,8 \cdot 10^3$
15	25—40	2,76	$4,01 \cdot 10^2$	$2,59 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^4$	$3,4 \cdot 10^3$
	60—75	2,85	$2,57 \cdot 10^2$	$2,00 \cdot 10^4$	$3,3 \cdot 10^5$	$4,2 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^3$
	150—155	3,87	$2,28 \cdot 10^2$	$4,51 \cdot 10^4$	$3,2 \cdot 10^5$	$4,7 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^3$

Таблиця 8. Зміна електричних параметрів донних осадів при нагріванні (станції № 2—15)

Номер станції	Інтервал, см	250 °C			
		R_{II} , Ом·м		ϵ	
		контрольні	насичені	контрольні	насичені
2	60—70	$4,11 \cdot 10^9$	$2,10 \cdot 10^9$	19,35	20,22
	115—130	$4,97 \cdot 10^9$	$1,82 \cdot 10^9$	17,97	22,76
	165—180	$4,15 \cdot 10^9$	$1,85 \cdot 10^9$	20,57	19,22
9	10—25	$2,96 \cdot 10^9$	$1,96 \cdot 10^9$	21,60	19,67
	100—115	$2,23 \cdot 10^9$	$1,51 \cdot 10^9$	22,45	20,81
14	20—35	$3,14 \cdot 10^9$	$1,67 \cdot 10^9$	20,12	20,31
	60—75	$2,72 \cdot 10^9$	$1,81 \cdot 10^9$	20,77	20,48
	110—125	$3,16 \cdot 10^9$	$1,43 \cdot 10^9$	20,06	20,66
15	25—40	$3,54 \cdot 10^9$	$1,46 \cdot 10^9$	20,58	20,70
	60—75	$2,30 \cdot 10^9$	$1,61 \cdot 10^9$	24,22	20,68
	150—155	$2,85 \cdot 10^9$	$1,37 \cdot 10^9$	23,91	24,25

тенсивності цього процесу, що було враховано при інтерпретації деяких аномалій геомагнітних даних на північно-західному шельфі Чорного моря [Старостенко та др., 1999; Кравченко та др., 2003; Лукин, 2006; Корчін та ін., 2022; Korchin, Rusakov, 2021; Korchin et al., 2023].

Магнітні параметри не чутливі до дії P .

Електричні параметри досліджуваних мулів та їх температурні зміни. У комплексі петрофізичних параметрів електричні властивості також займають важливе місце у зв'язку з їхньою високою роздільною здатністю та великою інформативністю при вирішенні низки геологічних завдань. На цей час вивченню комплексу фізичних

(зокрема й електричних) властивостей морських відкладів приділялося порівняно мало уваги.

Були досліджені електрофізичні параметри (питомий електричний опір — R_{II} , Ом·м; відносна діелектрична проникність — ϵ), виміряні на частоті електромагнітного поля 1 кГц за методикою, наведеною у публікаціях [Лебедев и др., 1986, 1988].

Зразки станцій № 2—15 були висушені у спеціальній шафі до 105 °C і виміряні їх електричні параметри (табл. 7). Питомий електричний опір збільшився до 100 разів, відносна діелектрична проникність зменшилася на кілька десятків одиниць. Потім зразки насичували газоліном, і процедуру

вимірювань було повторено. Насичення газоліном спричинило подальше зростання питомого електричного опору ще в 100 разів і зменшення відносної діелектричної проникності ще в 10 разів.

Після нагрівання зразків до 250 °С виявилось, що електричні параметри насичених і ненасичених газоліном (контрольних) зразків практично однакові (табл. 8).

Електричні параметри зразків донних осадів (станції № 5834—5846) досліджено двома способами їх заповнення газоліном. Першу серію зразків нагрівали при 105 °С до повного зникнення води, подрібнювали до пилоподібного стану та змішували з газоліном у кількості, що відповідала вмісту води. Надалі цю серію зразків частково

висушували. Другу серію зразків після вилучення води шляхом довгострокового зберігання у лабораторних умовах насичували газоліном. Зрештою, всі зразки були нагріті до 105 °С. Результати вимірювання електричних параметрів наведено в табл. 9.

Спостерігається дуже велика різниця між електричними параметрами зразків зі змішаним газоліновим наповненням і зафіксованими у насичених газоліном. Проте за температури 105 °С ця різниця зникає. Нагрівання до 105 °С зрівнює значення питомого електричного опору та відносної діелектричної проникності двох серій, незалежно від стану зразків — насичених або заповнених газоліном.

Для дослідження незворотних фізико-

Т а б л и ц я 9. Зміна електричних параметрів зразків донних осадів при висушуванні за наявності газоліну (станції № 5840—5846)

Номер станції	Інтервал, см	Заповнені		Частково висушені		100 °С	
		R_{II}	ϵ	R_{II}	ϵ	R_{II}	ϵ
<i>Спосіб змішування</i>							
5846	130—140	$47,8 \cdot 10^6$	77,3	$1,97 \cdot 10^8$	44,8	$3,00 \cdot 10^8$	31,7
5842	105—120	$60,1 \cdot 10^6$	71,4	$1,85 \cdot 10^8$	37,0	$2,70 \cdot 10^8$	36,6
5838	130—145	$117,8 \cdot 10^6$	50,7	$1,75 \cdot 10^8$	38,3	$3,51 \cdot 10^8$	30,4
5834	160—175	$60,3 \cdot 10^6$	64,2	$1,66 \cdot 10^8$	38,7	$2,13 \cdot 10^8$	37,4
5841	100—115	$51,4 \cdot 10^6$	96,9	$1,24 \cdot 10^8$	42,8	$3,04 \cdot 10^8$	29,3
5843	130—145	$55,1 \cdot 10^6$	70,6	$1,23 \cdot 10^8$	45,8	$2,13 \cdot 10^8$	39,5
5845	90—100	$62,9 \cdot 10^6$	68,3	$1,48 \cdot 10^8$	46,9	$2,46 \cdot 10^8$	37,8
5840	100—115	$51,1 \cdot 10^6$	68,5	$1,14 \cdot 10^8$	49,2	$4,99 \cdot 10^8$	23,0
Номер станції	Інтервал, см	Природна вологість		Насичені		100 °С	
		R_{II}	ϵ	R_{II}	ϵ	R_{II}	ϵ
<i>Спосіб насичення</i>							
5841	40—55	37,3	$3,96 \cdot 10^5$	$3,64 \cdot 10^6$	217	$2,21 \cdot 10^8$	44,3
5841	100—115	41,9	$2,74 \cdot 10^5$	$5,82 \cdot 10^6$	184	$2,52 \cdot 10^8$	45,9
5843	60—75	60,8	$2,10 \cdot 10^5$	$12,7 \cdot 10^6$	125	$3,03 \cdot 10^8$	42,7
5843	130—145	39,0	$2,79 \cdot 10^5$	$40,9 \cdot 10^6$	207	$2,65 \cdot 10^8$	49,5
5845	40—50	32,1	$10,8 \cdot 10^5$	$5,04 \cdot 10^6$	209	$2,54 \cdot 10^8$	44,6
5845	90—100	31,4	$1,80 \cdot 10^5$	$4,66 \cdot 10^6$	199	$4,50 \cdot 10^8$	31,5
5840	60—75	34,4	$16,4 \cdot 10^5$	$2,39 \cdot 10^6$	289	$5,16 \cdot 10^8$	39,5
5840	100—115	43,0	$3,50 \cdot 10^5$	$3,30 \cdot 10^6$	215	$3,86 \cdot 10^8$	36,1

Т а б л и ц я 10. Вплив нагрівання до 300 °С на електричні властивості мулів

Метод	До нагріву		Після нагріву до 300 °С	
	R_{II} , Ом·м	ϵ	R_{II} , Ом·м	ϵ
Змішування	2,44E+08	33,5	1,32E+08	54,1
Насичення	3,31E+08	41,8	1,23E+08	62,3

хімічних перетворень, що відбуваються у мулах за високих температур, серію зразків було нагріто до 300 °С і виконано порівняльний аналіз електричних параметрів до й після нагрівання. Температурні досліді виконували на пробах кількох типів. Першу групу складали проби без вуглеводнів, другу вибірку мулів насичували вуглеводнями механічним змішуванням двох фракцій (власне мули та газолін). У третій групі насичення здійснювали капілярним методом. Електричні властивості сухих зразків мулів вимірювали до і після нагрівання (табл. 10). У результаті незворотних фізико-хімічних перетворень питомий електричний опір знизився, а діелектрична проникність підвищилася, що пов'язано з появою додаткової кількості високопровідної компоненти у складі мулів. Для зразків другої групи (змішування) нагрівання зумовило зниження електроопору на 84,8 % та збільшення діелектричної проникності на 61,5 %. Мули, насичені вуглеводнями капілярним методом, зазнали зниження R_{Π} на 169 % і зростання ϵ на 49 %. Такі зміни електрофізичних параметрів є доволі значущими та засвідчують суттєвий вплив мінеральних змін на електрофізичні параметри.

Було виконано порівняльний аналіз електрофізичних параметрів мулів, насичених і ненасичених вуглеводнями, за максимальної гігроскопічної вологості, що дало можливість нормувати W і в такий спосіб виключити її вплив і оцінювати вплив складу, текстурно-структурних особливостей будови досліджуваних мінеральних об'єктів. Максимальної гігроскопічної вологості досягалися на зневоднених попередньо зразках в ексікаторі з 10 %-ним розчином H_2SO_4 , що створює відносну вологість повітря в ексікаторі 96—98 %. За таких умов зразки витримували протягом 6—7 діб до припинення змінення маси та набуття максимальної гігроскопічної вологості. За середніми значеннями R_{Π} , ϵ за максимальної гігроскопічної вологості встановлено суттєву різницю між зразками мулів без вуглеводнів, прогрітими до 300 °С, і зразками мулів з вугле-

воднями, також прогрітими до 200, 300 °С. У першому випадку електроопір дорівнює $1,42 \cdot 10^2$ Ом·м, діелектрична проникність — 40548, у другому — відповідно $1,07 \cdot 10^6$ Ом·м і 587; у третьому — $1,99 \cdot 10^5$ Ом·м і 1301. Збільшення електроопору та зменшення діелектричної проникності при нагріванні вуглеводневмісних мулів порівняно з аналогічними параметрами мулів без домішок засвідчує утворення в перших породах асоціації гідрофобних мінералів. Вони за однакових зовнішніх умов утримують меншу кількість води і, відповідно, описуються підвищеними значеннями R_{Π} та зниженими — ϵ .

У результаті експериментів встановлено, що комплекс електрофізичних параметрів (питомий електричний опір, відносна діелектрична проникність) є достатньо надійними петрофізичними критеріями, які можуть бути використані при диференціації морських відкладів різного складу та генезису, зокрема мулів. Більш інформативним петроелектричним параметром є відносна діелектрична проникність порівняно з питомим електричним опором. Між електрофізичними параметрами та вологістю зафіксовані тісніші зв'язки, ніж між такими самими і щільністю. Питомий електричний опір може бути використаний як експресний польовий метод для оцінювання вологості та щільності мулів, оскільки між величинами R_{Π} з одного боку та W і ϵ з іншого існують тісні та достовірні взаємозалежності [Корчин, Кравчук, 2020; Корчин та ін., 2022; Korchin et al., 2023].

У результаті виконаних досліджень електрофізичних і водно-фізичних характеристик досліджуваних зразків різних мулів Чорного моря виявлено певну мінливість їх як за вертикаллю, так і за латераллю, що обумовлено впливом складу мулів та особливостями їхньої текстурно-структурної будови. Більш чітко електрична диференційованість донних відкладів проявляється щодо зразків з максимальною гігроскопічною вологістю порівняно із пробами, насиченими до природної вологості, тобто зі зменшенням ступеня водонасиченості відмінності у значеннях

питомого електричного опору зростають [Корчин, Кравчук, 2020; Корчин та ін., 2022; Korchin et al., 2023].

Незворотні фізико-хімічні перетворення, що відбуваються в мулах при нагріванні до 300 °С, зумовлюють суттєві зміни питомого електричного опору та відносної діелектричної проникності.

Дію високих тисків на електричні параметри мулів у даній статті не розглядали.

Висновки. Фізичні параметри вивчених осадових варіюють у широких межах залежно від їх літологічного складу, умов залягання і утворення.

Заміщення морської води нафтопродуктами приводить до прояву незначної негативної швидкісної аномалії. Висушування зразка осаду до певного моменту еквівалентно його заглибленню від поверхні дна, де можливе його насичення нафтопродуктом унаслідок міграції та локалізації останніх.

У результаті досліджень встановлено два протилежних ефекти впливу вуглеводнів на пружнощільнісні властивості у верхніх горизонтах осадових за нормальних температурних умов. В осадах, відібраних у глибоководній частині, процес насичення НП також приводить до зміни пружнощільнісних параметрів, однак здебільшого вони залишаються нижчими за водонасичені. Це може засвідчувати, що за нормальних температурних умов локалізовані нафтопродукти не можна виявити сейсмоакустичними методами, оскільки їх пружнощільнісні параметри близькі до вихідних значень придонних відкладів, не збагачених нафтопродуктами. Однак цей висновок заслуговує на увагу, оскільки на сейсмограмах такі зони можуть мати вигляд «мертвої зони», плями чистого поля без відбитих сигналів. Цей ефект зафіксований нами на деяких ділянках шельфу Чорного моря [Михайлюк и др., 1998; Старостенко и др., 1999; Корчин та ін., 2022; Korchin, Rusakov, 2021].

Підвищення температури та подальше насичення досліджуваних груп осадових нафтопродуктами обумовлюють зростання швидкості поширення в них пружних

поздовжніх хвиль, щільності і, як результат, до збільшення коефіцієнта акустичної жорсткості. В результаті експериментів встановлено, що осадові породи із вмістом вуглеводнів більш як 10—20 % на глибині 0,5—4 км при нагріванні до 100 °С (що вже виконується на покрівлі майкопської серії) можуть формувати горизонти, в яких границі характеризуються інтенсивним відбиттям. Подібні горизонти можуть окантовувати локалізацію нафтопродуктів і утримувати її на вказаних глибинах, а також бути ознакою наявності нафтопродуктів (конденсатів або нафти) на вказаних глибинах. Зазначене можна використовувати як пошукову ознаку локалізацій НП у товщах неконсолідованих осадових.

Як показують результати досліджень, підвищення температури навіть у зразках, не насичених вуглеводами, приводить до невеликої зміни магнітної сприйнятливості. Насичення осадових вуглеводами спричинює збільшення інтенсивності цього процесу. Цей ефект був врахований при інтерпретації деяких аномалій геомагнітних даних на північно-західному шельфі Чорного моря [Старостенко и др., 1999; Кравченко та др., 2003; Лукин, 2006; Korchin, 2017; Korchin, Rusakov, 2021; Корчин та ін., 2022; Korchin et al., 2023].

Проаналізовано вплив вуглеводнів на питомий електричний опір і відносну діелектричну проникність осадових останньої стадії седиментації слабоконсолідованих карбонатизованих донних утворень. Виявлено, що під впливом вуглеводнів питомий електричний опір зразків морських осадових збільшується на кілька порядків, а відносна діелектрична проникність зменшується на кілька одиниць, що слід враховувати при петроелектричному моделюванні відповідних горизонтів земної кори [Корчин, Кравчук, 2020а, б; Корчин та ін., 2022; Korchin et al., 2023].

На розглянутих глибинах і за дії на досліджувані зразки високих температур, а також за їх природної вологості ($W=60\%$) дія високих тисків істотно не впливає на пружні параметри. Тиск стає ефективним тільки при $W=60\%$.

Список літератури

- Геология, геофизика и гидрография северо-западной части Черного моря. Отв. ред. Е.В. Шнюков. Киев: Изд-во гидрографии Украины, 1998, 221 с.
- Зейбольд Е., Бергер В. *Дно океана*. Москва: Мир, 1984, 320 с.
- Коллодий И. Природа и условия формирования подземных вод акватории северопричерноморского водонапорного бассейна. *Сб. докладов IV межг. конф. Крым-2002 «Геодинамика и нефтегазоносные структуры Черноморско-каспийского региона»*. Симферополь, 2003, С. 12.
- Корчин В.А., Буртный П.А., Коболев В.П., Русаков О.М., Волошин Л.Н., Алябьев А.Я. Сейсмические исследования газовыделяющих структур дна северо-западной части Черного моря. *Геофиз. журн.* 1998. Т. 20. № 5. С. 110—117.
- Корчин В.А., Буртный П.А., Коболев В.П. *Термобарическое петрофизическое моделирование в геофизике*. Киев: Наук. думка, 2013, 312 с.
- Корчин В.А., Кравчук М.В. Каналы миграции корово-мантийных флюидов по данным комплексного анализа МТЗ, ГСЗ и петроэлектрического моделирования в зонах низких плотностей. *О новой парадигме развития нефтегазовой геологии. Материалы Междунар. науч.-практ. конф. в рамках Татарстанского нефтегазохимического форума, посвященного 100-летию ТАССР*. Казань, 2020а, С. 102—106.
- Корчин В.А., Кравчук М.В. Петроэлектрическое термобарическое моделирование в литосфере зон низких плотностей. *Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології та екології: наука й виробництво. Матеріали VII Міжнар. геол. форуму (02—03 листопада 2020 р., м. Одеса, Україна)*. Київ, 2020б, С. 99—105.
- Корчин В.О., Русаков О.М., Карнаухова О.Є., Кравчук М.В. Лабораторні дослідження впливу ВВ на фізичні властивості морських осадків. *Science and innovation of modern world. Proc. of the 1st Int. sci. and practical conf. Cognitum Publ. House. London, United Kingdom*, 2022, С. 163—172.
- Кравченко С.Н., Орлюк М.И., Русаков О.М. Новый подход к интерпретации региональной Западно-Черноморской магнитной аномалии. *Геофиз. журн.* 2003. Т. 25. № 3. С. 135—144.
- Лебедев Т.С., Корчин В.А., Савенко Б.Я., Шаповал В.И., Шепель С.И. *Физические свойства минерального вещества в термобарических условиях литосферы*. Киев: Наук. думка, 1986, 200 с.
- Лебедев Т.С., Корчин В.А., Савенко Б.Я., Шаповал В.И., Шепель С.И., Буртный П.А. *Петрофизические исследования при высоких РТ-параметрах и их геофизические приложения*. Киев: Наук. думка, 1988, 248 с.
- Лебедев Т.С., Шаповал В.И., Корчин В.А. Результаты экспериментального изучения некоторых физических свойств осадков океанического дна при различных давлениях. *Геофиз. сб. АН УССР*. 1971. Вып. 41. С. 79—90.
- Лебедев Т.С., Шаповал В.И., Корчин В.А. Экспериментальные исследования физических свойств осадков океанического дна при различных давлениях. В кн.: *Строение земной коры и верхней мантии морей и океанов*. Москва: Наука, 1973, С. 89—98.
- Лукин А.Е. Основные закономерности формирования залежей нефти и газа в Черноморском регионе. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2006. № 3. С. 10—21.
- Михайлюк С.Ф., Корчин В.А., Буртный П.А. Физические свойства донных отложений северо-западной части шельфа Черного моря. *Геофиз. журн.* 1998. Т. 20. № 2. С. 105—118.
- Нечаева Т.С., Дзюба Б.М., Шимкив Л.М., Огарь В.В. Использование данных потенциальных полей для прогнозирования залежей нефти и газа в пределах ДЦЗ и Причерноморско-Крымской нефтегазоносной провинции. *Сб. докладов IV межг. конф. Крым-2002 «Геодинамика и нефтегазоносные структуры Черноморско-каспийского региона»*. Симферополь, 2003.
- Петкевич Г.И. *Интерактивность акустических характеристик неоднородных геологических сред*. Киев: Наук. думка, 1976, 214 с.

- Петкевич Г.И., Вербицкий Т.З. Исследование упругих свойств пористых геологических сред, содержащих жидкость. Киев: Наук. думка, 1965, 76 с.
- Старостенко В.И., Коболев В.П., Корчин В.А., Буртний П.А. и др. Результаты геофизических исследований северо-западной части Черного моря. В кн.: *Геология и полезные ископаемые Черного моря*. Изд. ОМГОР НАН Украины, 1999, С. 69—79.
- Страхов Н.М. *Основы теории литогенеза*. Москва: Изд-во АН СССР, 1962, 158 с.
- Тектоника и углеводородный потенциал кристаллического фундамента Днепровско-Донецкой впадины*. Под ред. В.И. Старостенко, О.М. Русакова. Киев: Галактика, 2015, С. 49—58.
- Чухров Ф.В. *Коллоиды в земной коре*. Москва: Изд-во АН СССР, 1953, 672 с.
- Donovan, T.J., Forgey, R.L., & Roberts, A.A. (1979). Aeromagnetic detection of diagenetic magnetite over oil fields. *AAPG Bulletin*, 63(2), 245—248. <https://doi.org/10.1306/C1EA55E4-16C9-11D7-8645000102C1865D>.
- Korchin, V.A. (2017). Anomalies of low density in the crystalline crust of thermobaric origin: a new insight into migration and localization of hydrocarbons. In *Oil and Gas Exploration: Methods and Application* (pp. 237—257). American Geophysical Union, Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119227519.ch15>.
- Korchin, V.O., Karnaukhova, O.Ye., & Kravchuk, M.V. (2023). Geological-mineralogical and petrophysical features of the upper layers of marine sediments of different drying under high temperatures. *Proc. of the 6th Int. sci. and practical conf. CPN Publishing Group. Osaka, Japan* (pp. 195—204). Retrieved from <https://sci-conf.com.ua/vi-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-science-and-technology-problems-prospects-and-innovations-16-18-03-2023-osaka-yaponiya-arhiv/>.
- Korchin, V., & Rusakov, O. (2021). The low-velocity zone in the crystalline crust of the NW Black Sea shelf as a potential regional methane trap of the thermobaric type. In *Methods and Applications in Petroleum and Mineral Exploration and Engineering Geology* (pp. 169—182). Springer Series in Earth Sciences/Geology. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85617-1.00025-4>.

The influence of hydrocarbons on the physical properties of the Black Sea sediments under high pressure and temperature conditions

В.О. Korchin, **О.У. Karnaukhova**, **П.О. Burtnyi**, **М.У. Kravchuk**, 2024

S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

In this work, we have a specific task, namely: what effect do petroleum products have on the physical properties of sediments when they replace the moisture contained in them, and is it possible to register the accumulation (localization) of petroleum products on the bottom of certain areas of the Black Sea using geophysical methods. In other words, it is necessary to evaluate changes in the elastic, magnetic, and electrical parameters of bottom sediments in connection with filling them (or replacing them with seawater) with organic gas-liquid media. For the first time, the results of complex laboratory studies of the influence of hydrocarbons on the propagation velocities of longitudinal waves, magnetic susceptibility, specific electrical resistance and relative electrical permeability in bottom sediments are presented. Possible signs of hydrocarbons in geophysical fields are outlined.

As a result, two opposite effects of the influence of hydrocarbons on elastic-density properties in the upper and deeper horizons of sediments under normal temperature conditions were established. The effect of different stages of diagenesis (in conditions of

conditionally high temperatures, heating more than 100 °C) in the presence of saturation of the sample with petroleum product leads to an increase in the propagation speed of elastic waves in muds. This effect can take place in natural conditions during the formation of localization — at depths corresponding to these temperatures. It is possible to outline the localization of petroleum products by sediment-hardening zones, areas with higher V_p and ρ , and, therefore, an intense reflection of the seismoacoustic signal, which can be search signs for the search for petroleum product localization in layers of unconsolidated sediments. The results of the research show that an increase in temperature even in samples not saturated with carbohydrates leads to a small change in magnetic susceptibility. Saturation of sediments with carbohydrates leads to an increase in the intensity of this process. It was established that under the influence of hydrocarbons, the specific electrical resistance of marine sediment samples increases by several orders of magnitude, and the relative dielectric constant decreases by several units.

Key words: Black sea, bottom sediments, hydrocarbons, physical properties.

References

- Shnyukov, E.V. (Ed.). (1998). *Geology, geophysics and hydrography of the northwestern part of the Black Sea*. Kyiv: Publ. House of Hydrography of Ukraine, 221 p. (in Russian).
- Zeybold, E., & Berger, V. (1984). *Ocean bottom*. Moscow: Mir, 320 p. (in Russian).
- Kollodiy, I. (2003). Nature and conditions of formation of groundwater in the North Black Sea water basin. *Collection of reports IV Int. conf. Crimea-2002 «Geodynamics and oil and gas bearing structures of the Black Sea-Caspian region»* (P. 12). Simferopol (in Russian).
- Korchin, V.A., Burtnyy, P.A., Kobolev, V.P., Rusakov, O.M., Voloshin, L.N., & Alyabyev, A. Ya. (1998). Seismic studies of gas-emitting structures of the bottom of the northwestern part of the Black Sea. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 20(5), 110—117 (in Russian).
- Korchin, V.A., Burtnyy, P.A., & Kobolev, V.P. (2013). *Thermobaric petrophysical modeling in geophysics*. Kiev: Naukova Dumka, 312 p. (in Russian).
- Korchin, V.A., & Kravchuk, M.V. (2020a). Migration channels of crust-mantle fluids according to complex analysis of MTS, DSS and petroelectric modeling in low-density zones. *On a new paradigm for the development of oil and gas geology. Materials of the Int. Sci. and Practical Conf. within the framework of the Tatarstan Petroleum and Gas Chemical Forum, dedicated to the 100th anniversary of the TASSR* (pp. 102—106). Kazan (in Russian).
- Korchin, V.A., & Kravchuk, M.V. (2020b). Petroelectric thermobaric modeling in the lithosphere of low-density zones. *Current problems and prospects for the development of geology and ecology: science and vegetation. Materials of the VII Int. Geol. Forum (leaf fall 02–03, 2020, Odessa, Ukraine)* (pp. 99—105). Kyiv (in Russian).
- Korchin, V.O., Rusakov, O.M., Karnaukhova, O.Y., & Kravchuk, M.V. (2022). Laboratory studies of the influence of hydrocarbons on the physical properties of marine sediments. *Science and innovation of modern world* (pp. 163—172). *Proc. of the 1st Int. sci. and practical conf. Cognum Publ. House. London, United Kingdom* (in Ukrainian).
- Kravchenko, S.N., Orlyuk, M.I., & Rusakov, O.M. (2003). A new approach to the interpretation of the regional Western Black Sea magnetic anomaly. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 25(3), 135—144 (in Russian).
- Lebedev, T.S., Korchin, V.A., Savenko, B.Ya., Shapoval, V.I., & Shepel, S.I. (1986). *Physical properties of mineral matter under thermobaric conditions of the lithosphere*. Kiev: Naukova Dumka, 200 p. (in Russian).
- Lebedev, T.S., Korchin, V.A., Savenko, B.Ya., Shapoval, V.I., Shepel, S.I., & Burtnyy, P.A. (1988). *Petrophysical studies at high RT-parameters and their geophysical applications*. Kiev: Naukova Dumka, 248 p. (in Russian).
- Lebedev, T.S., Shapoval, V.I., & Korchin, V.A. (1971). Results of an experimental study of some physical properties of ocean floor sediments at various pressures. *Geophysics collection*

- tion of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, (41), 79—90 (in Russian).
- Lebedev, T.S., Shapoval, V.I., & Korchin, V.A. (1973). Experimental studies of the physical properties of ocean floor sediments at various pressures. In *Structure of the earth's crust and upper mantle of seas and oceans* (pp. 89—98). Moscow: Nauka (in Russian).
- Lukin, A.E. (2006). Basic patterns of formation of oil and gas deposits in the Black Sea region. *Geology and minerals of the World Ocean*, (3), 10—21 (in Russian).
- Mikhaylyuk, S.F., Korchin, V.A., & Burtnyy, P.A. (1998). Physical properties of bottom sediments of the northwestern part of the Black Sea shelf. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 20(2), 105—118 (in Russian).
- Nechaeva, T.S., Dzyuba, B.M., Shimkiv, L.M., & Ogar, V.V. (2003). Using potential field data to predict oil and gas deposits within the DZZ and the Black Sea-Crimean oil and gas province. *Collection of reports IV Int. Conf. Crimea-2002 «Geodynamics and oil and gas bearing structures of the Black Sea-Caspian region»*. Simferopol (in Russian).
- Petkevich, G.I. (1976). *Interactivity of acoustic characteristics of heterogeneous geological environments*. Kiev: Naukova Dumka, 214 p. (in Russian).
- Petkevich, G.I., & Verbitskiy, T.Z. (1965). *Study of elastic properties of porous geological media containing liquid*. Kiev: Naukova Dumka, 76 p. (in Russian).
- Starostenko, V.I., Kobolev, V.P., Korchin, V.A., Burtnyy, P.A. et al. (1999). Results of geophysical studies of the northwestern part of the Black Sea. In *Geology and minerals of the Black Sea* (pp. 69—79). Publ. of the Department of Marine Geology and Sedimentary Ore Formation of the NASU (in Russian).
- Strakhov, N.M. (1962). *Fundamentals of the theory of lithogenesis*. Moscow: Publ. House of the USSR Academy of Sciences, 158 p. (in Russian).
- Starostenko, V.I., & Rusakov, O.M. (Eds.). (2015). *Tectonics and hydrocarbon potential of the crystalline basement of the Dnieper-Donets depression* (pp. 49—58). Kiev: Galaktika, (in Russian).
- Lebedev, T.S., Korchin, V.A., Savenko, B.Ya., Shapoval, V.I., & Shepel, S.I. (1986). *Physical properties of mineral matter under thermobaric conditions of the lithosphere*. Kiev: Naukova Dumka, 200 p. (in Russian).
- Chukhrov, F.V. (1953). *Colloids in the earth's crust*. Moscow: Publ. House of the USSR Academy of Sciences, 672. (in Russian).
- Donovan, T.J., Forgey, R.L., & Roberts, A.A. (1979). Aeromagnetic detection of diagenetic magnetite over oil fields. *AAPG Bulletin*, 63(2), 245—248. <https://doi.org/10.1306/C1EA55E4-16C9-11D7-8645000102C1865D>.
- Korchin, V.A. (2017). Anomalies of low density in the crystalline crust of thermobaric origin: a new insight into migration and localization of hydrocarbons. In *Oil and Gas Exploration: Methods and Application* (pp. 237—257). American Geophysical Union, Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119227519.ch15>.
- Korchin, V.O., Karnaukhova, O.Ye., & Kravchuk, M.V. (2023). Geological-mineralogical and petrophysical features of the upper layers of marine sediments of different drying under high temperatures. *Proc. of the 6th Int. sci. and practical conf. CPN Publishing Group. Osaka, Japan* (pp. 195—204). Retrieved from <https://sci-conf.com.ua/vi-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-science-and-technology-problems-prospects-and-innovations-16-18-03-2023-osaka-yaponiya-arhiv/>.
- Korchin, V., & Rusakov, O. (2021). The low-velocity zone in the crystalline crust of the NW Black Sea shelf as a potential regional methane trap of the thermobaric type. In *Methods and Applications in Petroleum and Mineral Exploration and Engineering Geology* (pp. 169—182). Springer Series in Earth Sciences/Geology. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85617-1.00025-4>.