

Ю. В. Козленко

Глибинна будова північно-східної частини Чорного моря за результатами сейсмогравітаційного моделювання

(Представлено академіком НАН України В. І. Старостенком)

На підставі томографічних розрахунків уздовж профілю ГСЗ № 17 побудовано густинну модель з добром аномалій поля сили тяжіння у вільному повітрі, яка показала, що земна кора в перетині профілю за своєю потужністю і розподілом значень V й ρ відноситься до субконтинентального типу. Комплексна інтерпретація сейсмічної і гравітаційної моделей обґрунтовує, що особливості будови північно-східної частини Чорного моря біля узбережжя Кримського півострова в перетині профілю зумовлені процесами базифікації континентальної кори.

Ключові слова: північно-східна частина Чорного моря, густинна модель, глибинна будова.

Точність виділення закономірностей розподілу корисних копалин у верхній частині земної кори визначається ступенем вивченості глибинної будови. Тому представляє інтерес переінтерпретація регіональних геофізичних спостережень, зокрема матеріалів глибинного сейсмічного зондування. Останнім часом увагу дослідників привертають дані вздовж профілю глибинного сейсмічного зондування (ГСЗ) № 17 [1, 2], отримані в 1961 р., який перетинає прогин Сорочіна, оскільки в ньому припускається наявність достатньо великої кількості відносно нового типу вуглеводневої сировини — газогідратів [3].

Сейсмічний метод, який дає уявлення про розподіл швидкостей в земній корі, є основою вивчення її глибинної будови, але інформативність про структуру літосфери істотно підвищується при комплексній інтерпретації даних кількома геофізичними методами [4]. Одним із способів спільного використання даних є сейсмогравітаційне моделювання, тобто побудова узгодженої швидкісно-густинної моделі. В цьому повідомленні представлено густинну модель, побудовану на підставі томографічних розрахунків уздовж профілю ГСЗ № 17 роботи [1].

Верхня частина гравітаційної моделі базувалася на даних МВХ ЗГТ про будову кайнозойського осадового чохла [5]. Значення густин шарів задавалися згідно з розрахунками, виконаними при інтерпретації профілю ГСЗ № 25 [6].

Параметри консолідованої кори (конфігурація тіл та їх густини) визначали, виходячи з результатів томографії. Значення швидкостей перераховували в густини за допомогою функції зведення закономірностей [7]. Згідно значень V й ρ , у межах моделі виділено такі комплекси: складчасто-метаморфічний ($V < 6,0$ км/с, $\rho = 2,58$ г/см³), “гранітний” ($V \approx 6,5$ км/с, $\rho = 2,78$ г/см³) та “базальтовий” ($V \approx 7,5$ км/с, $\rho = 2,95\text{--}2,97$ г/см³). Крім того, було виділено аномальні тіла з величинами швидкості в діапазоні від 7,5 до 9,5 км/с і густини, що дорівнює 3,00 г/см³. Швидкість понад 9,5 км/с віднесена до мантіїної, для неї було прийнято значення $\rho = 3,33$ г/см³. Під Кримом значення ρ мантії задавалось 3,35 г/см³ на підставі нормальної моделі континентальних областей [4]. На ділянках, де величини V не

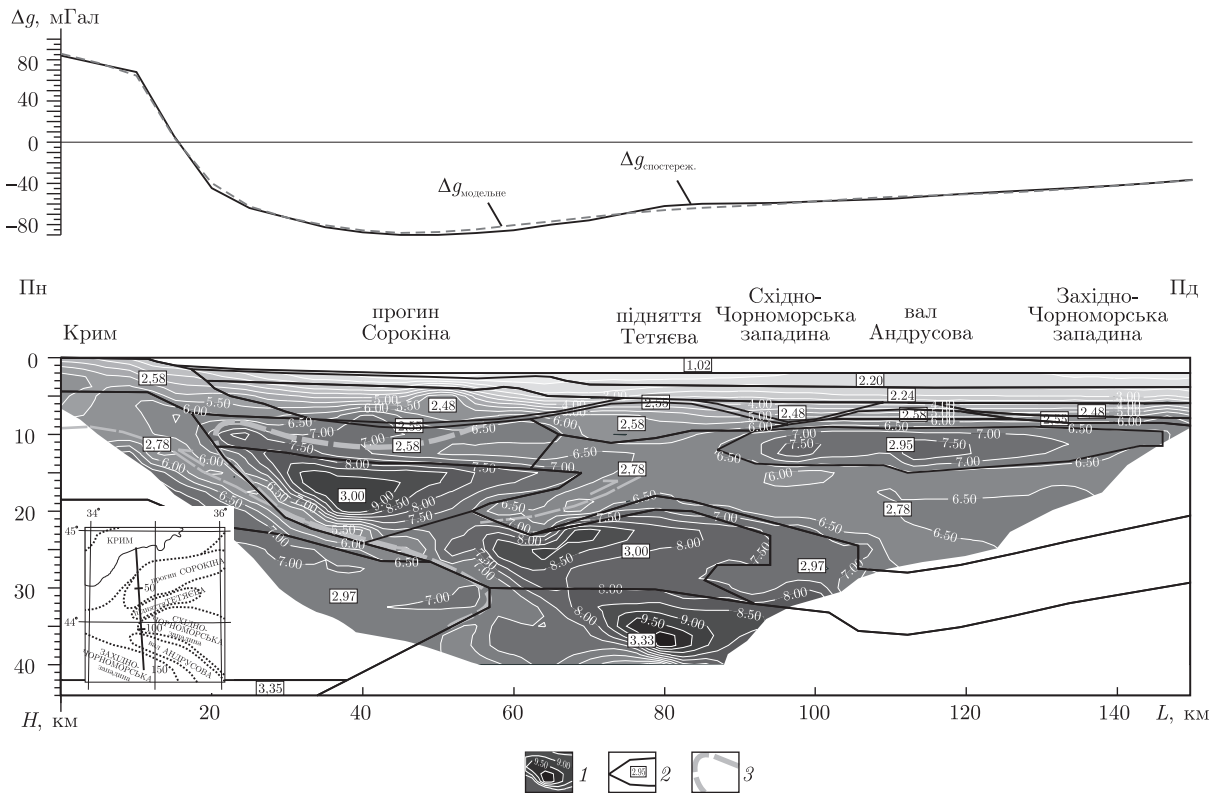


Рис. 1. Сейсмогравітаційна модель уздовж профілю ГСЗ № 17. На врізці показано положення профілю. Умовні позначення: 1 — ізолнії швидкості [1]; 2 — лінія обдукції, за [1]; 3 — границі густинних тіл, г/см^3

були встановлені, параметризацію моделі проводили в північній частині профілю відповідно результатів сейсмічного моделювання [8], за якими Кримський ороген мав кору континентального типу з горизонтальним заляганням покрівлі мантії на глибині 42 км. У південній — згідно з загальними уявленнями про будову Чорноморської мегазападини [9].

Гравітаційне поле обчислювалося в 31 точці з кроком уздовж профілю 5 км. Точність розрахунків (величина залишкової аномалії між спостереженим і модельним полями) становила менш ± 5 мГал. Підбір моделі здійснювався зміною параметрів тіл у консолідованій корі, в основному конфігурацій, при зафіксованих значеннях осадочного чохла.

Спостережене поле сили тяжіння в межах профілю характеризується плавною зміною рівня. Вигляд гравітаційної кривої є нетиповим для перехідних зон океан-континент: тут відсутня крайова аномалія (аномалія Гельмерта): локальний максимум в районі брівки шельфу, сполучений з локальним мінімумом над континентальним підніжжям. Судячи з конфігурації, поле району, що вивчається, до освої зони підняття Тетяєва в цілому визначається гісометрією покрівлі консолідованої основи: область пологого зниження значень Δg над шельфом змінюється інтервалом з більш високим градієнтом у межах континентального схилу і слабо увігнутої кривої над прогином Сорокіна, хоча точки перегинів аномалії сили тяжіння і фундаменту не зовсім збігаються. На південь від підняття Тетяєва поле монотонно підвищується, не корелюючись з потужністю осадочного чохла.

Земна кора уздовж профілю ГСЗ № 17 за даними сейсмогравітаційного моделювання (рис. 1) складної структури. До ПК 21 фундамент має класичну тришарову будову конти-

нентального типу з виділенням складчасто-метаморфічного, “гранітного” і “базальтового” шарів. Подошви цих комплексів до брівки шельфу розташовуються горизонтально на відмітках 4,5, 18,5 і 42 км відповідно. Далі на південь покрівлі цих поверхів занурюються, при цьому поступово зростає потужність складчастої основи при зменшенні товщини шарів кристалічної кори.

В інтервалі профілю ПК 20–65 густинна модель, що розрахована відповідно значень швидкостей томографічного розрізу, дала перевищення обчисленого поля над спостереженим більш ніж на 40 мГал. У зв’язку з цим довелося заглибити верхню границю високогустинного тіла відносно ізоліній підвищеної швидкості на 0,5–2,5 км. Крім того, у верхньому структурному поверсі консолідованої кори під прогином Сорокіна виявилось необхідним задати густину, відповідну складчасто-метаморфічному комплексу, замість величин, характерних для основних порід, визначених за результатами томографії.

Таким чином, під прогином Сорокіна тіло має чашоподібну форму з підвищеними значеннями швидкості та відповідно густини, не підстилає безпосередньо осадовий чохол, а розташовується між метаморфічним і “гранітним” шарами континентального блока. “Гранітний” шар різко йде вниз, стоншуючись до виклинювання на ПК 49 — в осевій частині прогину. “Базальтовий” комплекс зменшується в потужності менш інтенсивно. Його подошва підіймається на південь з 42 км на ПК 38, а на ПК 57 досягає глибини 32,5 км, утворюючи з поверхнею шару витягнутий від Криму в південному напрямі тупий клин з кутами нахилу близько 15° .

Кристалічний фундамент перехідної зони між прогином Сорокіна і підняттям Тетяєва (ПК 55–70) має складний характер — ця ділянка відрізняється чергуванням шарів з підвищеними і зниженими значеннями швидкості й густини. “Базальтовий” шар практично відсутній. Нижній поверх кори представлено тілом з аномально високими величинами V й ρ , подошва якого залягає горизонтально на глибині 30 км. Це тіло, збільшуючись у потужності з 8 до 12 км, простягається і під підняттям Тетяєва, залягаючи безпосередньо на мантії, на відміну від прогину Сорокіна, де воно розташовано між метаморфічним і “гранітним” шарами.

У межах підняття Тетяєва складчасто-метаморфічний комплекс має лінзовидну форму асиметричної конфігурації, середня товщина якого під даною структурою і в шельфовій зоні Криму є сумісною — близько 4 км. Покрівля і подошва “гранітного” шару зігнута антимерфно, через що його потужність під центром підняття на 2 км менше, ніж на краях. “Базальтовий” шар товщиною близько 2 км покриває аномальне тіло в основі фундаменту, виклинюючись на північ від підняття Тетяєва. Поверхня мантії трохи (на 2 км) заглиблюється з півночі на південь. У перехідній зоні між підняттям Тетяєва і Східно-Чорноморською западиною (ПК 85–95) у фундаменті також спостерігається чергування шарів з підвищеними і зниженими значеннями V й ρ за рахунок складної конфігурації південної границі тіла з підвищеними швидкістю й густиною.

Північно-західна центрикліналь Східно-Чорноморської западини відрізняється відсутністю складчасто-метаморфічного комплексу. Потужності “гранітного” і “базальтового” шарів у межах западини значно більші, ніж під підняттям Тетяєва, проте загальна товщина консолідованої кори також дорівнює 24 км через випадання в розрізі верхнього структурного поверху фундаменту та аномального тіла.

У межах валу Андрусова верхня частина кристалічної кори складена складчасто-метаморфічним комплексом потужністю всього трохи більше 1 км з горизонтальним заляганням подошви. Згідно з даними томографії, до глибин близько 27 км відзначаються значен-

ня швидкостей, що характерні для кислих порід. Нижню границю цього шару, також як і поверхню мантиї, сейсмічними розрахунками не виявлено. Підбором спостереженого поля сили тяжіння підшви “гранітного” і “базальтового” шарів визначено на глибинах 28 й 36 км відповідно. Таким чином, у глибоководній частині профілю покрівля мантиї залягає максимально низько під валом Андрусова, утворюючи “корені”, на відміну від підняття Тетяєва. Далі на південь поверхня мантиї піднімається за рахунок поступового стоншування “гранітного” шару.

В інтервалі профілю ПК 87–146 (у межах Східно- і Західно-Чорноморських западин, а також валу Андрусова, що їх розділяє) у верхах фундаменту на глибинах 9–14 км виділяється лінзовидне тіло з величинами V й ρ , характерними для основних порід.

Підібрана густинна модель в цілому відповідає результатам томографічних розрахунків. Різниця в розрізах відзначається тільки в інтервалі профілю ПК 20–65 на глибинах 8–14 км, і виражається в розуцільненні верхньої частини фундаменту відносно значень швидкості. Земна кора в перетині профілю за результатами сейсмогравітаційного моделювання має дуже складну будову. В цьому плані особливо виділяються обидва борти підняття Тетяєва, де в консолідованій основі по вертикалі спостерігаються неодноразові інверсії швидкості/густини. Всі структури, що виділяються по підшві осадового чохла, як вали, так і западини відрізняються один від одного за своєю глибинною будовою.

Автори томографічних розрахунків [1] на підставі отриманої ними картини розподілу швидкостей зробили висновок про те, що розріз є ілюстрацією обдукції Східно-Чорноморської плити на континентальний блок Криму вздовж показаної на рисунку (напівжирна сіра штрихова) площині ймовірного контакту двох плит.

Побудована на підставі томографії густинна модель дозволяє взяти під сумнів “обдукційну” інтерпретацію. Швидкісна аномалія, ядро якої розташовується на ПК 32–45, трактується авторами [1] як клин субокеанічної кори, що насувається, оскільки швидкості, характерні для основних і ультраосновних порід, відзначаються безпосередньо під підшвою кайнозойського осадового чохла. Але підбір поля сили тяжіння показав, що у верхах фундаменту не можуть залягати щільні породи. Таким чином, аномальний блок під прогином Сорокіна фактично є тілом, що звужується донизу, ізольованим від подібного йому під підняттям Тетяєва похилою зоною знижених швидкостей (ПК 46–57, глибина 25–20 км відповідно). Тобто даний блок не насувається на континентальну кору Криму, а вкорінюється між “гранітним” і метаморфічним шарами, при цьому не здійснюючи останнього. Тим самим, гравітаційна модель, що побудована на підставі томографічної, не відповідає глибинним розрізам обдукційних орогенів за даними публікації [10], на які посилаються автори статті [1].

Особливістю аномального тіла під підняттям Тетяєва є те, що вісь ізоліній швидкості залягає не субгоризонтально, як під прогином Сорокіна. Вона практично паралельна нижній границі вказаної аномалії та простягається у бік в протилежному напрямі ймовірної обдукції. Крім того, ця вісь трасується на ще одне тіло з підвищеними швидкістю й густиною, яке виділяється у верхах фундаменту під центрикліналлю Східно-Чорноморської западини.

Сейсмогравітаційне моделювання показало, що земна кора в перетині профілю за своєю потужністю і розподілом значень V й ρ відноситься до субконтинентального типу. Аномальні підвищення швидкостей і густини утворюють ізольовані тіла різної форми і орієнтації та насамперед викликані різноспрямованими вкоріненнями в кору магматичної речовини. Витягнутість по горизонталі більшості з них дозволяє віднести ці аномалії до пластових інтрузій.

Таким чином, аналіз тільки томографічних розрахунків може вказувати на колізійну природу перехідної зони від Східного Криму до Чорного моря [1], тоді як комплексна інтерпретація сейсмічної і гравітаційної моделей обґрунтовує, що особливості будови даного регіону в перетині профілю зумовлені процесами базифікації континентальної кори.

Цитована література

1. Гончар В. В., Трегубенко В. И., Токовенко В. С. Режимы деформирования и взаимодействия плит Черноморско-Крымской области конвергенции // Геология и полез. ископаемые Мирового океана. – 2007. – № 2. – С. 5–18.
2. Пийп В. Б., Ермаков А. П. Океаническая кора Черноморской впадины по сейсмическим данным // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. – 2011. – № 5. – С. 61–68.
3. Шнюков Е. Ф. Газогидраты метана в Черном море // Геология и полез. ископаемые Мирового океана. – 2005. – № 2. – С. 41–52.
4. Козленко В. Г. Системная интерпретация геофизических полей. – Киев: Наук. думка, 1984. – 220 с.
5. Туголесов Д. А., Горшков А. С., Мейснер Л. Б., Соловьев В. В., Хазалев Е. М. Тектоника мезокайнозойских отложений Черноморской впадины. – Москва: Недра, 1985. – 215 с.
6. Козленко М. В., Козленко Ю. В., Лысинчук Д. В. Глубинное строение земной коры западной части Черного моря по результатам комплексной переинтерпретации геофизических данных по профилю ГСЗ № 25 // Геофиз. журн. – 2009. – **31**, № 6. – С. 77–91.
7. Гордиенко В. В. Плотностные модели тектоносферы территории Украины. – Киев: Интеллект, 1999. – 100 с.
8. Сейсмогравитационное моделирование при изучении литосферы / Отв. ред. В. И. Старостенко, Я. Шванцара. – Киев: Наук. думка, 1994. – 292 с.
9. Кобелев В. П. Геодинамическая модель Черноморской мегавпадины // Геофиз. журн. – 2003. – **25**, № 2. – С. 15–35.
10. Тектоническая расслоенность литосферы и региональные геологические исследования / Ред. Т. А. Никитина. – Москва: Наука, 1990. – 293 с.

References

1. Gonchar V. V., Tregubenko V. I., Tokovenko V. S. Geol. and Miner. Resources of World Ocean, 2007, No 2: 5–18 (in Russian).
2. Piyp V. B., Ermakov A. P. Moscow Univ. Bull., Ser. 4, Geologiya, 2011, No 5: 61–68 (in Russian).
3. Shnyukov E. F. Geol. and Miner. resources of World Okean, 2005, No 2: 41–52 (in Russian).
4. Kozlenko V. G. Systemic interpretation of geophysical fields, Kiev: Naukova Dumka, 1984 (in Russian).
5. Tugolesov D. A., Gorshkov A. S., Meysner L. B., Solovjev V. V., Hahalev E. M. Tectonics of the Black Sea basin Meso-Cenozoic sediments, Moscow: Nedra, 1985 (in Russian).
6. Kozlenko M. V., Kozlenko Yu. V., Lisinchuk D. V. Geophys. J., 2009, **31**, No 6: 77–91 (in Russian).
7. Gordienko V. V. Density models tectonosphere of Ukraine territory, Kiev: Intellect, 1999 (in Russian).
8. The seismogravimetric modeling at the study of lithosphere. Ed. V. I. Starostenko, Y. Shvanzara, Kiev: Naukova Dumka, 1994 (in Russian).
9. Kobolev V. P. Geophys. J., 2003, **25**, No 2: 15–35 (in Russian).
10. Tectonic stratification of the lithosphere and regional geological studies, Ed. T. A. Nikitina, Moscow: Nauka, 1990 (in Russian).

Ю. В. Козленко

Глубинное строение северо-восточной части Черного моря по результатам сейсмогравитационного моделирования

Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, Киев

На основании томографических расчетов по профилю ГСЗ № 17 построена плотностная модель с подбором аномалий поля силы тяжести в свободном воздухе, которая показала, что земная кора в сечении профиля по своей мощности и распределению значений V и ρ относится к субконтинентальному типу. Комплексная интерпретация сейсмической и гравитационной моделей обосновывает, что особенности строения северо-восточной части Черного моря возле побережья Крымского полуострова в сечении профиля обусловлены процессами базификации континентальной коры.

Ключевые слова: северо-восточная часть Черного моря, плотностная модель, глубинное строение.

Yu. V. Kozlenko

Deep structure of the North-East part of the Black Sea based on the results of seismogravity modeling

S. I. Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, Kiev

On the basis of tomographic calculations along the DSS profile No. 17, a density model with the computations of anomalies of the gravity field in free air is built. It is shown that the Earth's crust in a section of the profile by the thickness and the distribution of V and ρ is referred to the subcontinental type. The complex interpretation of the seismic and gravity models grounds that the features of the structure of the north-east part of the Black sea near the coast of the Crimean peninsula in the section of the profile are conditioned by the processes of continental crust basification.

Keywords: North-east part of the Black Sea, density model, crustal structure.