

# Дослідження та методи аналізу

---

УДК 550.830

## ОБГРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ КАРТУВАННЯ НАФТОГАЗОПЕРСПЕКТИВНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ СЕЙСМОГРАВІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЛЕСЬКІВСЬКО-КОРОТИЦЬКОЇ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНІЧНОЇ ПІДЗОНИ ПІВНІЧНОГО БОРТУ ДДЗ

*О.П. Петровський, Т.О. Федченко, І.В. Рига, Н.А. Шредко*

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727125,  
e-mail: p n g g @ n i n g . e d u . u a*

*Дослідження глибинної будови надр Східного нафтогазоносного регіону України є одним із стратегічних завдань України на шляху нарощування розвіданих запасів нафти і газу та забезпечення власної енергетичної безпеки. Необхідним кроком на цьому шляху є продовження практики геолого-геофізичних досліджень по всій території із залученням нових прогресивних методів і технологій, які дають змогу на новому якісному рівні узгодити всю накопичену за багато десятиліть інформацію щодо складної глибинної будови нафтогазоносних регіонів України.*

*Одним із аспектів розв'язку задачі прогнозування нафтогазоносності перспективної Леськівсько-Коротицької структурно-тектонічної підзони Північного борту ДДЗ за геофізичними даними є оцінка можливості вивчення нафтогазонасичених об'єктів за даними гравірозвідувальних досліджень в комплексі з іншими геолого-геофізичними даними. Для досягнення цієї мети на прикладі Свиридівського газоконденсатного родовища створено петрофізичну модель густини порід колекторів та розраховано зміни об'ємної густини породи та величини гравітаційних ефектів на денній поверхні, які створюють ці зміни. Підтверджено принципову можливість реєстрації подібних малоамплітудних ефектів за допомогою сучасних цифрових гравіметрів компанії Scintrex (Канада).*

**Ключові слова:** пряма просторова задача гравірозвідки, гравітаційне поле.

*Исследование глубинного строения недр Восточного региона Украины является одной из стратегических задач Украины на пути наращивания разведанных запасов нефти и газа и обеспечения собственной энергетической безопасности. Необходимым шагом на этом пути является продолжение практики геолого-геофизических исследований по всей территории с привлечением новых прогрессивных методов и технологий, которые позволят на новом качественном уровне согласовать всю накопленную за многие десятилетия информацию о сложном глубинном строении нефтегазоносных регионов Украины.*

*Одним из аспектов решения задачи прогнозирования Лесковско-Коротоцкой структурно-тектонической подзоны Северного борта ДДВ по геофизическим данным является оценка возможности изучения нефтегазонасыщенных объектов по данным исследований гравиразведки в комплексе с другими геолого-геофизическими данными. Для достижения этой цели на примере Свиридовского газоконденсатного месторождения создана петрофизическая модель плотности пород коллекторов и рассчитаны изменения объемной плотности породы, и величины гравитационных эффектов на дневной поверхности, создающие эти изменения. Подтверждена принципиальная возможность регистрации подобных малоамплитудных эффектов с помощью современных цифровых гравиметров компании Scintrex (Канада).*

**Ключевые слова:** прямая пространственная задача гравиразведки, гравитационное поле.

*Study of deep structure of the Eastern oil-and-gas-bearing region of Ukraine is one of its strategic tasks towards increasing of the proven oil-and-gas reserves and ensuring of its energy security. The necessary step in this direction is the continuation of practice of geological and geophysical studies throughout the whole territory with the help of the new advanced methods and techniques that, on a new qualitative level, will allow correlating of all the information on the complex deep structure of oil-and-gas-bearing regions of Ukraine accumulated for many decades.*

*One of the solution aspects of the oil-and-gas-bearing capacity prediction task of the promising Leskivk-Korotyach structural tectonic subzone of the Northern DDd edge on the basis of the geophysical data is the evaluation of possibility of oil-and-gas-saturated objects study on the basis of the gravity survey data in combination with other geological and geophysical data. To achieve this goal, the petrophysical model of the reservoir rock density was developed and changes in the rock volume density and gravitational effects values on the surface that produce these changes were calculated on the example of Svyrydivke gas-condensate field. The principle registration possibility of such low-amplitude effects was confirmed using the modern digital gravimeters of Scintrex Company (Canada).*

Key words: direct spatial task of gravity survey, gravitation field.

## Вступ

Забезпечення України власними вуглеводневими ресурсами є важливою проблемою, вирішення якої не можливе без підвищення ефективності пошуково-розвідувальних робіт на нафту і газ. На цьому шляху актуальним залишається вирішення питання вилучення максимально можливого об'єму корисної геологічної інформації із результатів геофізичних досліджень, які включають не тільки сейсмічні дані, але і результати інших геофізичних досліджень і, в першу чергу гравітаційних. Застосування гравітаційного методу у комплексі із сейсмічними і іншими геолого-геофізичними даними для вирішення геологічних задач в різних нафтогазопромислових умовах на першому етапі вимагає дослідження характеру відображення нафтогазоперспективних об'єктів в аномальному гравітаційному полі [1].

На теперішній час в комплексі геолого-геофізичних досліджень найбільшого поширення набули сейсмічні, електрометричні та гравіметричні дослідження, які базуються на відомих ефектах відмінності фізичних властивостей гірських порід – швидкості, електропровідності і густини від їх літологічного складу, а для порід колекторів ще і від емісійних властивостей, і характеру флюїду, який насичує поровий простір. На цих ефектах базуються різноманітні технології прогнозування колекторських властивостей і характеру насичення порід-колекторів за сейсмічними та електрометричними даними [2, 3]. Аналогічну ситуацію ми маємо і в гравірозвідці. Але на відміну від попередньо вказаних методів гравітаційні ефекти, які створюють окремі елементи моделі середовища не спотворюються, а адитивно складаються у загальний гравітаційний ефект. У зв'язку із цим перехід до вивчення складно побудованих геологічних розрізів потребує окремого детального вивчення. Особливу увагу слід приділити тому, як у гравітаційному полі відображаються такі її елементи, як породи покришки та колектора, а для останніх величина пористості та характеру флюїду, який насичує поровий простір і чи можуть ці ефекти закартувати за допомогою сучасних високоточних гравіметрів. Саме розгляду цих актуальних питань, для умов Леськівсько-Коротичької структурно-тектонічної підзони Північного борту ДДз, і присвячена дана стаття.

## Петрофізична модель та аналіз аномальних густинних ефектів

Як вже було зазначено, для гірських порід важливою характеристикою є наявність пусто-

тного (порового) простору. Природа (генезис) виникнення або формування порового простору має суттєве геологічне значення, але з точки зору фізики більш важливе значення має сам факт наявності такого пустотного (порового) простору. Тому розглянемо петрофізичну модель густини гірської породи, яка включає як основний елемент наявність колекторських властивостей – пористості.

Для ілюстрування всіх етапів процесу обчислення характеру зміни густини порід та величини гравітаційного ефекту розглянемо результати гравітаційного моделювання для геологічного розрізу Свирідівського газоконденсатного родовища, яке розташовано в безпосередній близькості до Леськівсько-Коротичької структурно-тектонічної підзони Північного борту ДДз [4, 5, 6, 7].

З метою оцінки ефектів розущільнення розрізу, обумовлених наявністю покладів вуглеводнів був виконаний розрахунок очікуваних змін густини, які пов'язані із змінами у геологічній моделі середовища:

Присутність літологічно екранованого колектора.

Характер насичення порового простору для випадку водо-газонасичення та заповнення порового простору глинистим матеріалом.

Присутність газового покладу в межах відносно витриманого пласта-колектора.

Для розрахунку густини породи-колектора використаємо відому петрофізичну модель [1]:

$$\sigma_{кол} = \sigma_{ск} (1 - K_n) + K_n (\sigma_{\phi} K_{не} + \sigma_{в} (1 - K_{не})), \quad (1)$$

де  $\sigma_{кол}$  – густина породи-колектору,

$\sigma_{ск}$  – густина скелету породи,

$K_n$  – коефіцієнт пористості,

$\sigma_{\phi}$  – густина вуглеводневого флюїду у пластових умовах,

$K_{не}$  – коефіцієнт нафтогазонасичення,

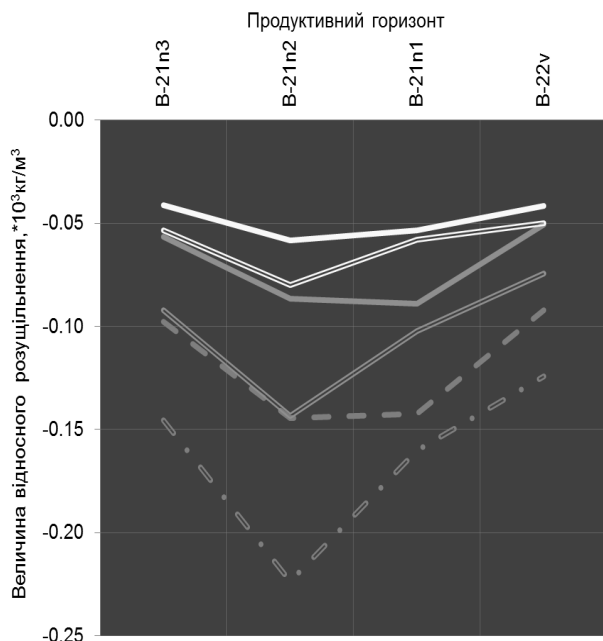
$\sigma_{в}$  – густина пластової води (табл. 1).

Аналіз розрахованих аномальних густинних ефектів (рис. 1), пов'язаних з покладами Свирідівського газоконденсатного родовища, дає змогу зробити наступні висновки:

1. Найбільш контрастно в геогустинних характеристиках розрізу відображаються літологічно екрановані газонасичені колектори. Розрахункова величина відносного розущільнення порід для колекторів продуктивного горизонту В-21<sub>н1</sub> при коефіцієнті пористості – 14 %, становить  $-0.224 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, а з урахуванням співвідношення загальних і ефективних товщин зменшується до  $-0.147 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. В середньому для всіх продуктивних горизонтів

Таблиця 1 – Геолого-геофізична характеристика продуктивних горизонтів Свиридівського газоконденсатного родовища

№ з/п	Назва горизонту	$K_{нг}$ $\delta.од$	$K_n$ $\delta.од$	$\sigma_{ск}$ $*10^3$ $кг/м^3$	$\sigma_6$ $*10^3$ $кг/м^3$	$\sigma_\phi$ $*10^3$ $кг/м^3$	Густина ущільненої породи $*10^3$ $кг/м^3$	Густина водонасиченого колектора $*10^3$ $кг/м^3$	Густина газонасиченого колектора $*10^3$ $кг/м^3$
1	B21n <sub>3</sub>	0,66	0,12	2,65	1,10	0,383	2,585	2,465	2,401
2	B-21n <sub>2</sub>	0,51	0,10		1,13	0,396		2,493	2,440
3	B-21n <sub>1</sub>	0,67	0,14		1,07	0,327		2,442	2,362
4	B-22v	0,46	0,09		1,04	0,302		2,511	2,461



Умовні позначення:

Величина відносного розуцільнення породи-колектору ( $*10^3$ кг/м<sup>3</sup>), що виникає:

- при заміщенні водного флюїду газом в межах витриманого пласта-колектора

- при  $K_n^{рек}$   
- при  $K_n^{макс}$

- при літогічному заміщенні водонасиченого колектору

- при  $K_n^{рек}$   
- при  $K_n^{макс}$

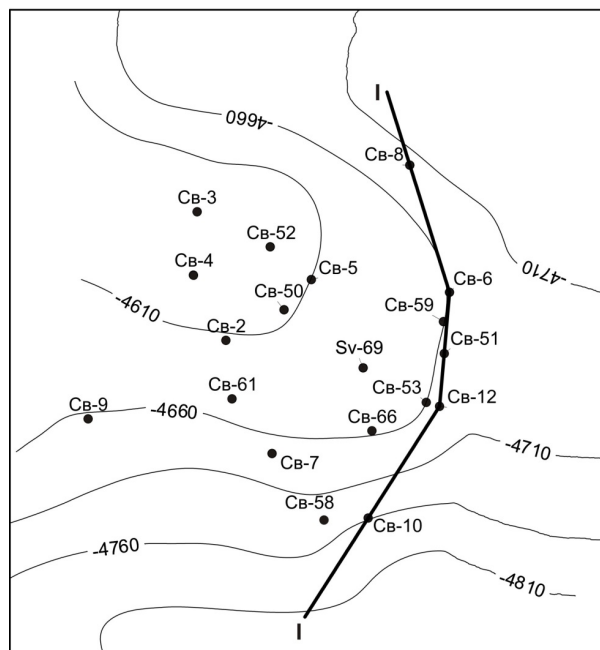
- при літогічному заміщенні газонасиченого колектору

- при  $K_n^{рек}$   
- при  $K_n^{макс}$

Рисунок 1 – Розуцільнення порід-колекторів, пов'язане з покращенням колекторських властивостей та газонасиченням продуктивних горизонтів

родовища зазначена величина змінюється від  $-0.165 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> до  $-0.102 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

2. Заміщення водного флюїду газом, у високо пористих колекторах горизонтів B-21n<sub>1</sub> зумовлює зменшення густини породи – на  $0.08 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Середнє значення для всіх продуктивних горизонтів становить  $0.063 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.



0 2000 4000 6000 8000 м

Умовні позначення:

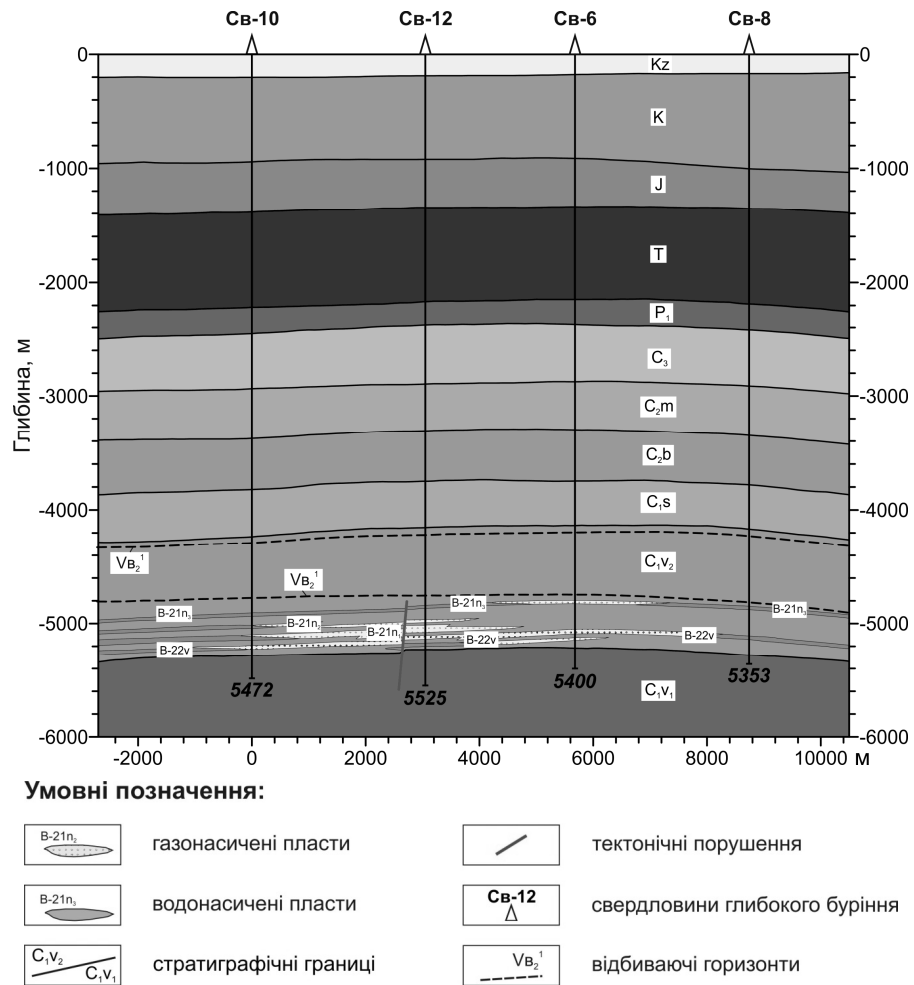
- Cв-2 свердловини глибокого буріння
- 4760 ізогіпси відбиваючого горизонту Vb<sub>2</sub><sup>2</sup>
- I-I геологічний профіль

Рисунок 2 – Структурна схема відбиваючого горизонту Vb<sub>2</sub><sup>2</sup> та положення геологічного профілю I-I по лінії свердловин 10-12-6-8

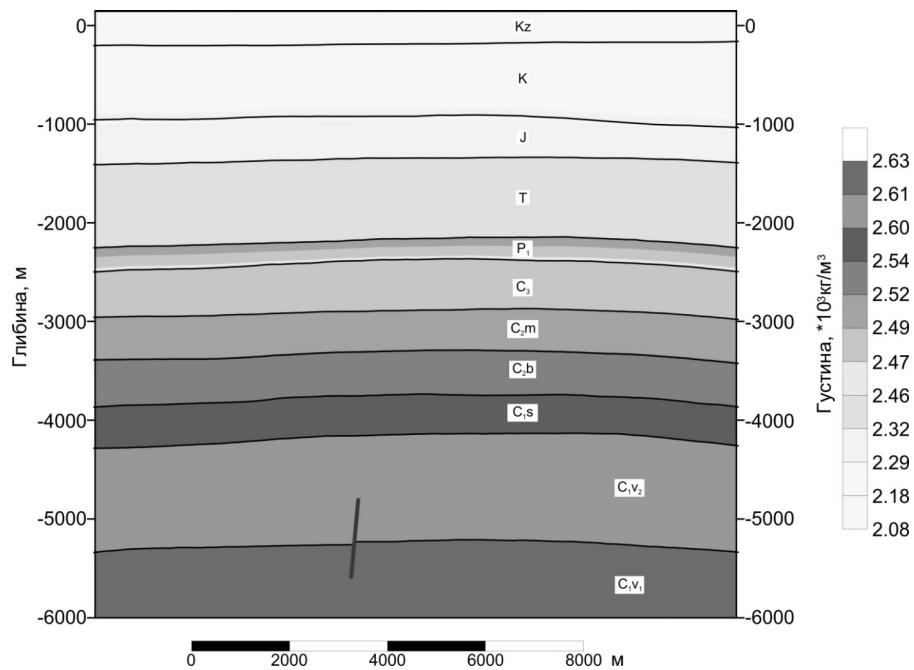
### Аномальний гравітаційний ефект над породами резервуарми

З метою дослідження характеру відображень газонасичених колекторів Свиридівського газоконденсатного родовища у гравітаційному полі проведене математичне моделювання на основі розв'язку прямої задачі гравірозвідки [8, 9, 10]. До процесу прямого геолого-геофізичного моделювання входять такі етапи [11]:

1. Формування моделі неперервного розподілу геогустинних властивостей у декількох варіантах:



**Рисунок 3 – Геологічний розріз по лінії свердловин 10-12-6-8 Свиридівського газоконденсатного родовища**



**Рисунок 4 – Геогустинна модель розрізу вздовж профілю I-I по лінії свердловин 10-12-6-8 Свиридівського ГКР**

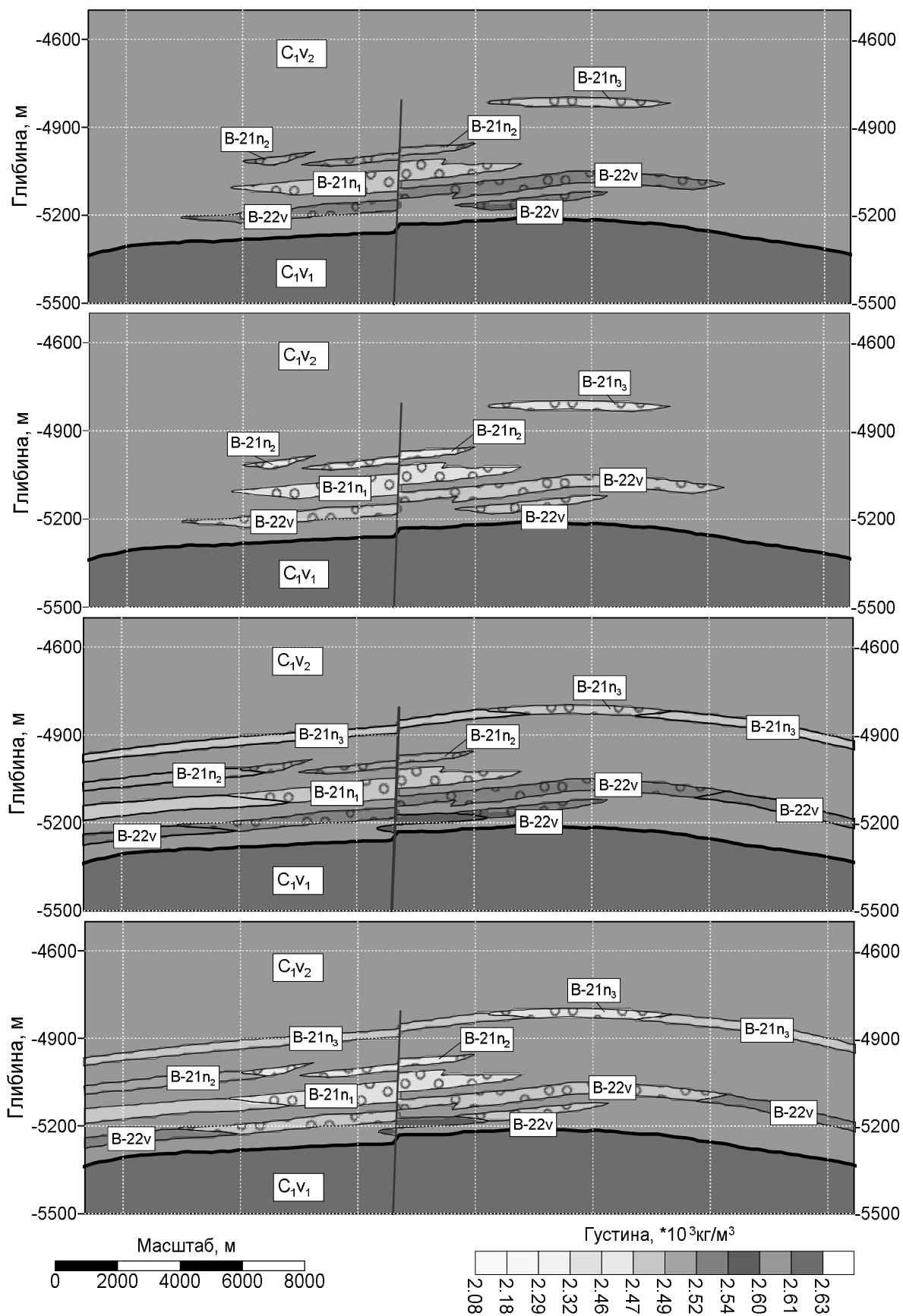
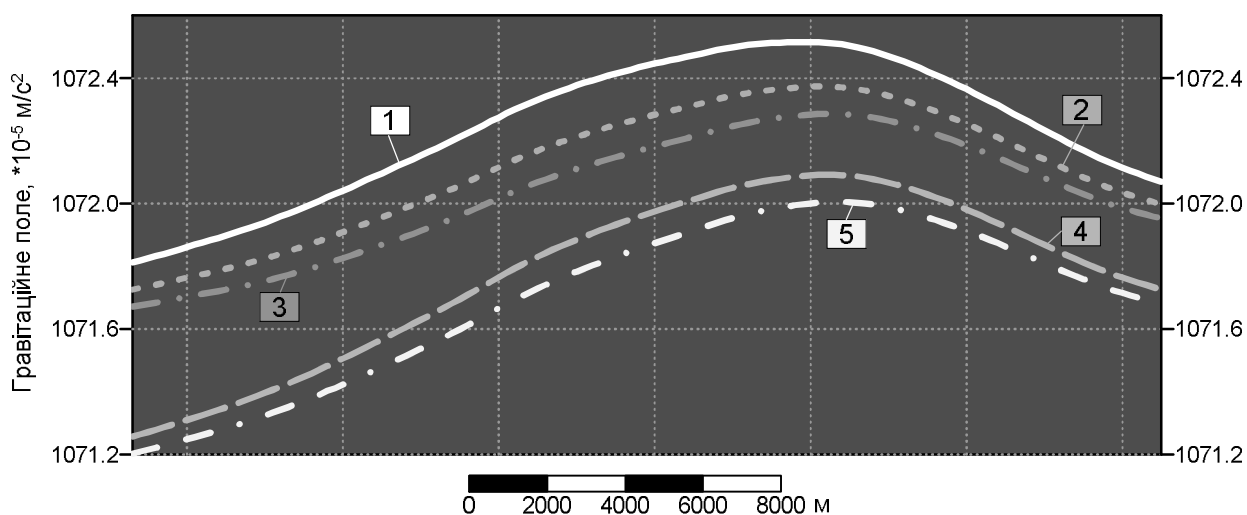
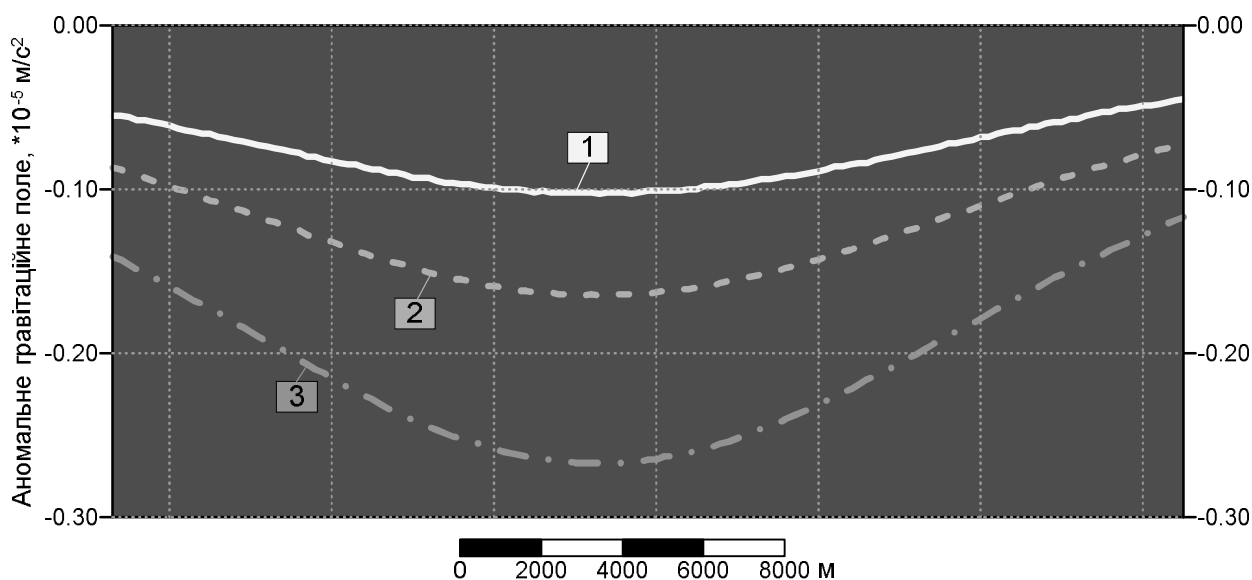


Рисунок 5 – Геогустинні моделі літологічно екранованих водо- (а) та газонасичених (б) об'єктів, водонасичених (в) та газо-водонасичених (г) продуктивних пластів візейського ярусу



1 – відсутність колекторських властивостей; 2 – літологічно екранований водонасичений колектор; 3 – літологічно екранований газонасичений колектор; 4 – пластовий водонасичений колектор; 5 – пластовий газонасичений колектор

**Рисунок 6 – Розраховані гравітаційні поля для моделей геолого-геофізичного розрізу в умовах заміщення порового простору у породах колекторах**



1 – літологічно екранований водонасичений колектор; 2 – літологічно екранований газонасичений колектор; 3 – пластовий газонасичений колектор

**Рисунок 7 – Аномальні гравітаційні ефекти, зумовлені літологічним заміщенням колекторів та пластових флюїдів**

відсутності колекторів у розрізі  $\sigma(x, z)$  (рис. 4), де  $(x, z) \in V$  – точка в прямокутній області визначення значень густини в нижньому півпросторі  $XOZ$ .

поровий простір літологічно екранованих порід-колекторів, заповнений водою  $\sigma^{WL}(x, z)$  (рис. 5, а).

поровий простір порід-колекторів, заповнений газом  $\sigma^{FL}(x, z)$ , а поклад є літологічно екранованим (рис. 5, б).

поровий простір порід-колекторів, заповнений пластовою водою  $\sigma^B(x, z)$  (рис. 5, в).

поровий простір порід-колекторів, заповнений газом  $\sigma^F(x, z)$  в межах витриманого пласта колектору (рис. 5, г).

2. Розрахунок гравітаційних полів, які створюють описані моделі (рис. 6). Необхідно зазначити, що розраховані гравітаційні поля містять в собі, як аномальну складову, обумовлену варіацією фізичних властивостей розрізу внаслідок зміни колекторських властивостей на характер насичення продуктивних горизонтів, так і інформацію про структурно-тектонічну будову геологічного розрізу в цілому.

3. Оцінка аномальних гравітаційних ефектів (рис. 7) для випадків:

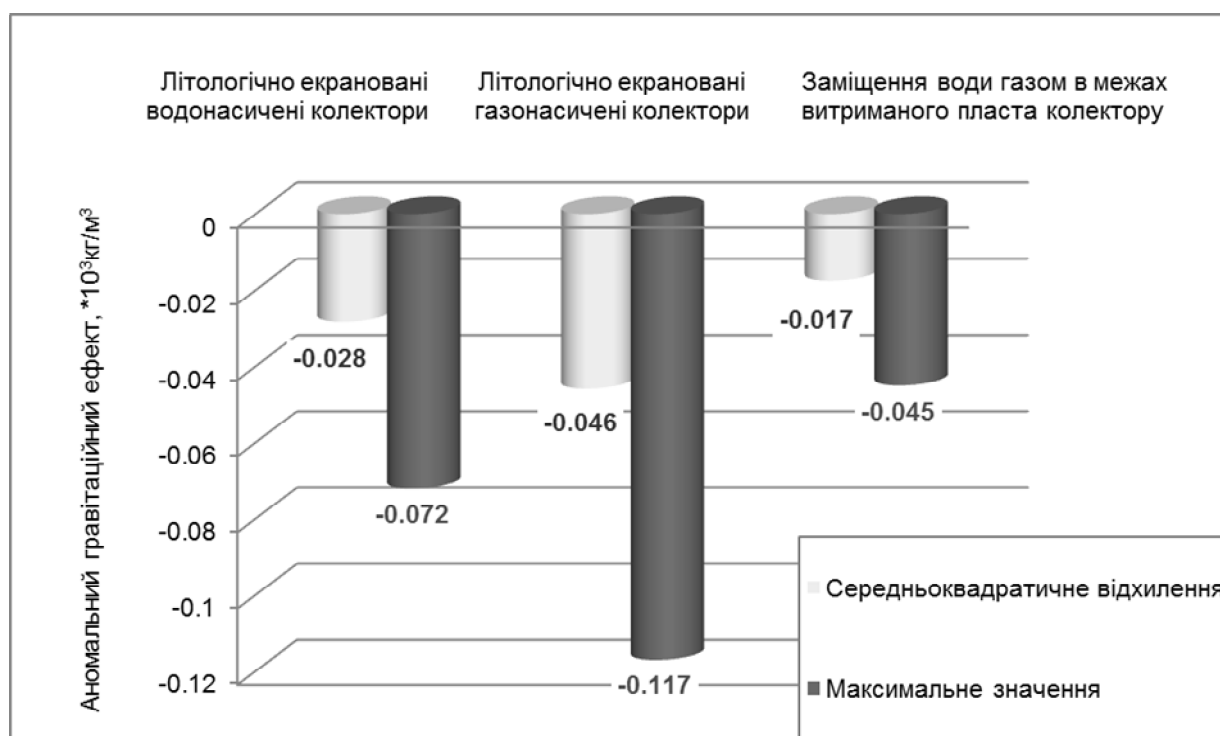


Рисунок 8 – Розраховані аномальні гравітаційні ефекти для різних пластових умов

наявності в розрізі водоплаваючого покладу (випадок заміщення пластової води газом) як різниця гравітаційних полів від моделі водонасичених  $\Delta g^B$  та вуглеводневодонасичених  $\Delta g^F$  колекторів  $\Delta g^A = \Delta g^B - \Delta g^F$ ;

літологічно екранованого газового покладу (випадок заміщення флюїду в поровому просторі твердою фракцією) як різниця гравітаційних полів від моделі, що не містить колекторів,  $\Delta g(x_0)$  та вуглеводневодонасичених  $\Delta g^{FL}$  колекторів  $\Delta g^A = \Delta g - \Delta g^{FL}$ ;

літологічно екранованого водонасиченого колектору  $\Delta g^A = \Delta g - \Delta g^{WL}$ .

З метою кількісної оцінки розрахованих аномальних гравітаційних ефектів, пов'язаних з покращенням колекторських властивостей розрізу та газонасиченням, було здійснено розрахунок різниці гравітаційних полів від відповідних геолого-геофізичних моделей (рис. 8) родовища та оцінку екстремальних значень та середньоквадратичного відхилення різниці

$$\Delta g^A(x_0) = \frac{\sqrt{\sum (\Delta g^B(x_0) - \Delta g^F(x_0))^2}}{N}$$

гравітаційних полів, де  $N$  – кількість точок, в яких розраховані значення гравітаційних полів.

### Висновки

Формування порід колекторів та характер насичення порового простору впливають на величину об'ємної густини гірської породи. Збільшення коефіцієнту пористості та заміщення пластової води вуглеводневим флюїдом при-

зводить до зменшення густини породи, що є петрофізичним обґрунтуванням наявності від'ємних гравітаційних аномалій. На прикладі Свиридівського газового родовища, яке розташовано у безпосередній близькості до Леськівсько-Коротичької структурно-тектонічної підзони Північного борту ДДз показано, що літологічно екрановані ділянки геологічного розрізу, які мають пустотний простір із коефіцієнтом пористості 9-12 % при насиченні пластовою водою зменшують густину породи на  $0,07-0,14 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> та відображаються у гравітаційному полі від'ємними аномаліями з амплітудою до  $-0,072 \cdot 10^{-5}$  м/с<sup>2</sup>. У випадку заміщення пластової води газом у пластових умовах густина породи зменшується на  $0,12-0,22 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, а аномалії гравітаційного поля сягають значень  $-0,117 \cdot 10^{-5}$  м/с<sup>2</sup>. Для випадку заміщення пластової води газом у пластових умовах густина породи зменшується на  $0,05-0,08 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, а аномалія гравітаційного поля досягає значень до  $-0,045 \cdot 10^{-5}$  м/с<sup>2</sup>.

Величини розрахованих аномальних гравітаційних ефектів вказують на принципову можливість їх фіксації за допомогою сучасних цифрових гравіметрів компанії SCINTREX (Канада), які забезпечують точність виміру гравітаційного поля на рівні  $\pm 0,020 \cdot 10^{-5}$  м/с<sup>2</sup> [12].

Наявність зазначених від'ємних гравітаційних аномалій є обґрунтуванням можливості застосування для пошуків і розвідки нафтогазоперспективних об'єктів гравітаційного методу розвідки у комплексі із сейсмічними та іншими геолого-геофізичними даними та із наступною інтерпретацією на основі принципів інтегрального геолого-геофізичного сейсмогравітаційного моделювання.

## Література

- 1 Слепак З.М. Применение гравirazведки при поисках нефтеперспективных структур / З.М. Слепак. – М.: Недра, 1989. – 200 с. – ISBN 5-247-00596-1.
- 2 Mathieu Darnet, Matthew C.K. Choo, Mark L. Rosenquist and other Detecting Hydrocarbon reservoirs from CSEM Data in Complex Settings: Application to Deepwater sabah, Malaysia/ Geophysics, 2007, 72 no. 2, Special section: Morine Controlled-Source Electromagnetic Methods? WA97-WA103.
- 3 Joint processing and Integrated og Em and Seismic data-An Effective Method for Detecting Complicated Reservoir Targets Zhangxian He, Weibing Dong and yuhong Lei. The leading Edge, 2007, 26, no 3, 336-340
- 4 Трухан Д. І. Звіт «Геолого-економічна оцінка візейських горизонтів Свиридівського газоконденсатного родовища». – Чернігів, 2011. – 295 с.
- 5 Физические свойства горных пород и полезных ископаемых: справочник геофизика / [под ред. Н.Б. Дортман]. – М.: Недра, 1984. – 455 с.
- 6 Кравченко І.В. Звіт «Геолого-економічна оцінка Свиридівського газоконденсатного родовища». – Київ, 2003. – 340 с.
- 7 Атлас родовищ нафти і газу України. / [редкол.: Федішин В.О. (голова) та ін.]. – Львів: Центр Європи, 1998 – Східний нафтогазоносний регіон. Том III, V
- 8 Петровский А.П., Кобрунов А.И., Суятин В.Н. Автоматизированная система GSIC-количественной комплексной интерпретации данных сейсмограмметрии для персональных компьютеров // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 27-й сессии Международного семинара им.Д.Г.Успенского, Москва, 31 января - 4 февраля 2000 г. / Под ред. акад. В.Н.Страхова. – М.: ОИФЗ РАН, 2000. – С.133-135.
- 9 Петровский А.П. Математические модели и информационные технологии интегральной интерпритации комплекса геолого-геофизических данных (на примере нефтегазопоисковых задач): дис. доктора физ.-мат. наук: 04.00.22 / Петровский Александр Павлович. – Ивано-Франковск, 2004. – 367 с.
- 10 Кобрунов А.И. Теория интерпретации данных гравиметрии для сложнопостроенных сред: Учебное пособие. – Киев: УМК ВО, 1989. – 100 с.
- 11 Петровский А.П. Информационное обеспечение и модельные представления интегральной интерпретации геолого-геофизических данных при изучении нефтегазоносных структур / Александр Петровский //Геофиз.журн. – 2004. - №3. – С.77-86.
- 12 [http:// www.scintrex.com](http://www.scintrex.com)

Стаття надійшла до редакційної колегії  
07.09.15

Рекомендована до друку  
професором **Федоришиним Д.Д.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
професором **Довбнічем М.М.**  
(Національний гірничий університет,  
м. Дніпропетровськ)