

ФОРМУВАННЯ АПРІОРНОЇ ПРОСТОРОВОЇ МОДЕЛІ ОБОЛОНСЬКОЇ ПЛОЩІ НА ОСНОВІ СЕЙСМОГРАВІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

¹Ю.В. Аніщенко, ¹Н.С. Ганженко, ²Т.О. Федченко, ¹Я.М. Кропивницький

¹ІФНТУНГ, 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

²«ДЕПРОІЛ ЛТД», 76018, м. Івано-Франківськ, вул. Шевченка, 3, тел. (0342) 744909,
e-mail: n t k . d e p r o i l . l t d @ g m a i l . c o m

На теперішній час у світовій практиці нафтогазової геології значна частина досліджень спрямована на пошуки та розвідку таких типів об'єктів, які раніше не привертала уваги спеціалістів галузі. До них відносяться так звані імпактні структури або астроблеми - тектонічні структури, які утворилися у результаті метеоритного бомбардування земної поверхні. У багатьох випадках з місцями їх падіння пов'язані сукупчення родовищ різноманітних корисних копалин, у тому числі й вуглеводневих. Промислова нафтогазонність таких структур встановлена по всьому світі. В межах території України відомо вісім імпактних структур. Оболонська імпактна структура (астроблема) розташована на території Південного борту Дніпровсько-Донецької западини. У дослідженнях значної кількості фахівців з нафтогазової геології України вона розглядається як високоперспективна у нафтогазовому відношенні. На даній території, починаючи з 60-х років ХХ сторіччя, проводилися геологічні, геофізичні, геохімічні та інші дослідження. Наявність значного обсягу різноманітної геолого-геофізичної інформації є підґрунтям для вирішення актуальної проблеми пошуків та розвідки нових умов для розміщення покладів нафти і газу на території Дніпровсько-Донецької западини на основі детального вивчення глибинної будови Оболонської астроблеми. Ефективним шляхом вирішення цієї задачі є створення інтегральної фізико-геологічної моделі Оболонської площі. Наведено характеристику вихідних даних та досліджено способи формування геолого-геофізичної моделі Оболонської площі на основі використання матеріалів свердловинної та площинної сейсморозвідки. За результатами розв'язання прямих задач сейсморозвідки та гравірознавдя обрано геологічно змістовну апріорну модель для подальшого визначення її оптимальних параметрів з метою деталізації особливостей глибинної будови території Оболонської площі.

Ключові слова: астроблема, геолого-геофізичні дані, фізико-геологічна модель, прями задачі.

В настоящее время в мировой практике нефтегазовой геологии значительная часть исследований направлена на поиски и разведку таких типов объектов, которые ранее не входили в круг внимания специалистов отрасли. К ним относятся так называемые импактные структуры или астроблемы - тектонические структуры, образовавшиеся в результате метеоритной бомбардировки земной поверхности. Во многих случаях с местами их падения связаны скопления месторождений разнообразных полезных ископаемых, в том числе и углеводородных. Промышленная нефтегазоносность таких структур установлена по всему миру. На территории Украины известно восемь импактных структур. Оболонская импактная структура (астроблема) расположена на территории Южного борта Днепро-Донецкой впадины. В исследованиях значительного числа специалистов нефтегазовой геологии Украины она рассматривается как высокоперспективная в нефтегазовом отношении. На данной территории, начиная с 60-х годов ХХ столетия, проводились геологические, геофизические, геохимические и другие исследования. Наличие значительного объема разнообразной геолого-геофизической информации является основой для решения актуальной проблемы поисков и разведки новых условий для размещения залежей нефти и газа на территории Днепро-Донецкой впадины на основе детального изучения глубинного строения Оболонской астроблемы. Эффективным путем решения этой задачи является создание интегральной физико-геологической модели Оболонской площади. Приведена характеристика исходных данных и исследованы способы формирования геолого-геофизической модели Оболонской площади на основе использования материалов скважинной и площадной сейсморазведки. По результатам решения прямых задач сейсморазведки и гравирозведки выбрана геологически содержательная апріорная модель для дальнейшего определения ее оптимальных параметров с целью детализации особенностей глубинного строения территории Оболонской площади.

Ключевые слова: астроблема, геолого-геофизические данные, физико-геологическая модель, прямые задачи.

At the present time a significant part of researches in petroleum geology is focused on the prospecting and exploration of geological structures, which recently haven't been considered by the professionals of this field. The so-called impact structures or astroblemes are one of them. They are the tectonic structures which have been formed due to the meteorite bombardment of the Earth surface. In many cases, such areas are associated with the deposits of different mineral resource, including hydrocarbons. The commercial oil-and-gas content of such structures has been established all around the world. Eight impact structures are known on the territory of Ukraine. The Obolon impact structure (astrobleme) is located within the Southern edge of the Dnieper-Donets depression. In studies of numerous specialists of petroleum geology it is considered as a highly perspective structure according to oil-and-gas bearing formation. Since the 60-s of the 20 century a geological, geophysical, geochemical and other studies have been carried out on this territory. A large amount of different geological and geophysical information is a significant foundation for solving an burning problem of the prospecting and exploration new conditions of oil-and-gas

deposits layout in the Dnieper-Donetsk depression which should be based on studying the deep geological structure. An effective way to solve this problem is creating an integral physical and geological model of the Obolon area. The input data have been characterized, different ways of creating a geological and geophysical model of the Obolon area basing on the data of well and area exploration have been studied. Basing on the results of solving direct problems of seismic and gravity exploration a geologically meaningful a priori model has been selected for further defining its optimal parameters and specification of deep geological structure within the Obolon area

Key words: astrobleme, geological and geophysical data, direct problems.

Постановка проблеми. На теперішній час у світовій практиці нафтогазової геології значна частина досліджень спрямована на пошуки та розвідку таких типів об'єктів, які раніше не привертали уваги спеціалістів галузі. Не останнє місце серед них посідають так звані імпактні структури (астроBLEми) - тектонічні структури, які утворилися у результаті метеоритного бомбардування земної поверхні. У багатьох випадках з місцями їх падіння пов'язані сукупчення родовищ різноманітних корисних копалин, у тому числі й вуглеводневих (ВВ). Промислова нафтогазоносність таких структур встановлена по всьому світі: у десяти із двадцяти астроBLEм, розташованих у межах нафтогазоносних областей на Північно-Американському континенті, на Євразійському континенті, на Балтійському щиті знаходиться Сильянська астроBLEма із прогнозними ресурсами у 4 трл. м³ [1, 2].

Аналіз досліджень по темі. Оболонська імпактна структура утворилася на території Південного борту Дніпровсько-Донецької западини. У дослідженнях значної кількості фахівців з нафтогазової геології України вона розглядається як високopersпективна у нафтогазовому відношенні [3-5], що обумовило проведення на її території впродовж багатьох років різноманітних пошуково-розвідувальних досліджень: геологічних, геофізичних, геохімічних та інших. За результатами цих пошукових робіт встановлено основні риси будови Оболонської астроBLEми, однак прогнозування наявності нафтогазopersпективних об'єктів у її межах потребує детального вивчення глибинної будови цієї площі. Наявність результатів проведених досліджень створює надійне підґрунтя для вирішення актуальної проблеми виявлення та вивчення тут умов, сприятливих для сукупчень ВВ.

Мета статті. Дослідження та аналіз результатів сейсмогравітаційного моделювання зі створення просторової геолого-геофізичної моделі Оболонської площі.

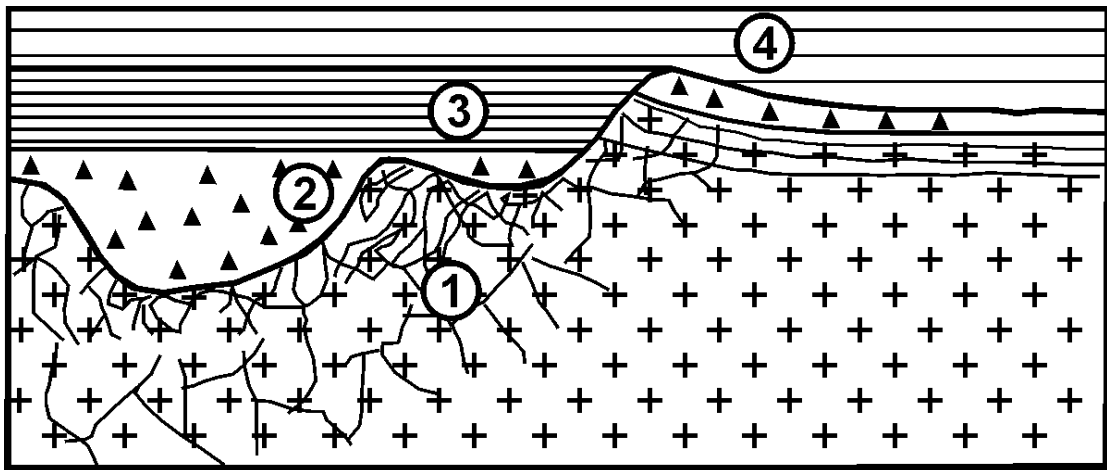
Викладення основного матеріалу. Для вивчення глибинної будови Оболонської площі з метою виявлення та дослідження умов, сприятливих для сукупчень ВВ, нами створено априорну інтегральну фізико-геологічну модель Оболонської площі на основі використання «Технології інтегральної інтерпретації комплексу геолого-геофізичних даних при пошуках та розвідці нафтових та газових родовищ» [6].

Побудова геолого-геофізичних моделей глибинної будови площі дослідження згідно даної технології включає врахування усіх її

структурних, стратиграфічних та петрофізичних особливостей, які базуються на результатах аналізу наявного комплексу геолого-геофізичних даних. На основі цієї інформації створюється структурна модель об'єкта досліджень, в межах шарів якої задаються фізичні властивості відповідних структурно-стратиграфічних одиниць. Особливістю будови Оболонської площі є її унікальний структурно-літологічний склад, притаманний об'єктам, що утворилися у результаті метеоритного бомбардування земної поверхні [7]: породи мішені (цокольний комплекс), коптогенний, заповнюючий та перекриваючий комплекси (рис. 1).

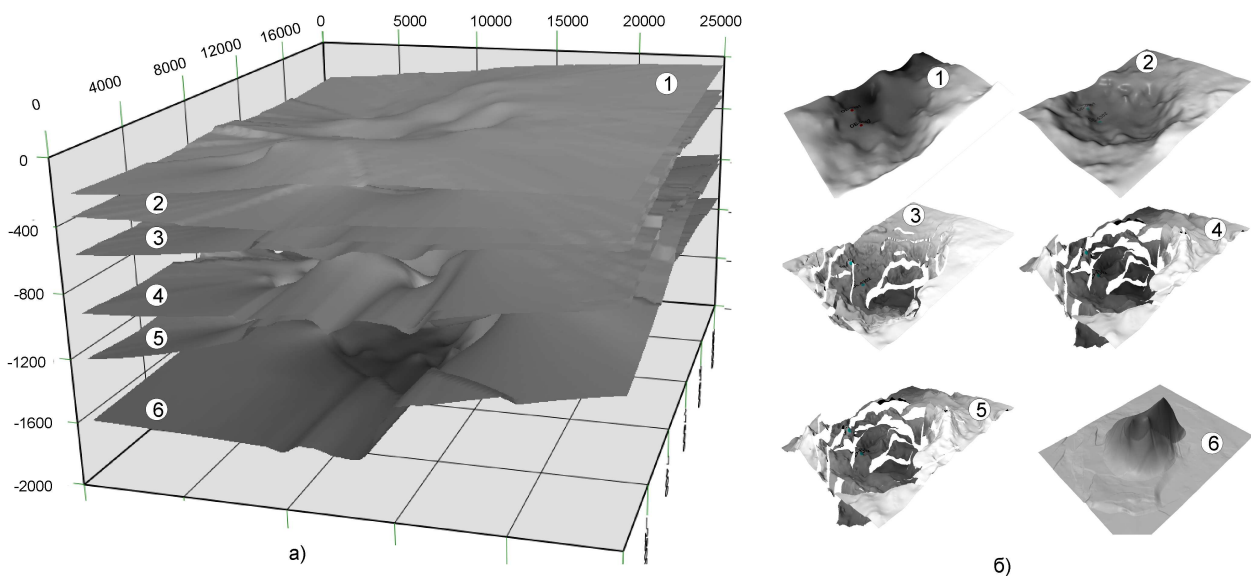
Для формування структурної основи геолого-геофізичної моделі Оболонської площі використані результати сейморозвідки у модифікації 3D, які були проведені компанією Вік-Ойл у 2010-2011 рр. у межах Оболонської площі з метою уточнення геологічної будови Оболонської структури по відкладах юри і карбону, а також оцінки перспектив пошуків ВВ у кристалічному фундаменті. За її результатами отримано куб сейсмічних даних високої роздільної здатності, широкого частотного діапазону та високого співвідношення сигнал-завада. На основі сейсмічного кубу 3D виконано структурні побудови по горизонтах відбиття, сформованих осадовим комплексом, що залягає на глибинах від 200 м до 1100 м; розраховано куби параметрів хвильового поля для простеження зон розуцілення у верхній частині фундаменту; розраховано куби пористості нижньої частини осадового комплексу. За цими ж даними визначена морфологія поверхонь на різних стратиграфічних рівнях осадового чохла, до яких приурочені сейсмічні горизонти відбиття, закартована складнопобудована сітка тектонічних порушень, близьких за формою до концентричних кіл.

Враховуючи результати аналізу літологічного складу порід та результати інтерпретації сейсмічних даних, у структурній будові Оболонської астроBLEми виділено такі структурно-літологічні комплекси: VII (PR) – верхня частина кристалічного фундаменту – покрівля порід мішені; Vb₂ (C₂b) – покрівля відкладів башкирського ярусу середнього карбону; Пв-п (J₂bs) – поверхня відкладів коптогенного комплексу; Пв₁ (J₂bt) – нижня частина відкладів батського ярусу середньої юри та Пб (J₃oxf) – (нижня частина відкладів оксфордського ярусу верхньої юри), ці відклади обмежують породи заповнюючого комплексу. Формування просторової структурної моделі Оболонської площі виконано з використанням цих структурних карт (рис. 2).



1 – цокольний; 2 – коптогенний; 3 – заповнюючий; 4 – перекриваючий

Рисунок 1 – Структурно-літологічні комплекси астроблем



а) об'ємна модель, б) структурні карти по основних структурно-літологічних комплексах:
1 – J_{3ox} ; 2 – J_{2bt} ; 3 – J_{2bs} ; 4 – C_2b ; 5 – $C_2b+T+PE$; 6 – PR

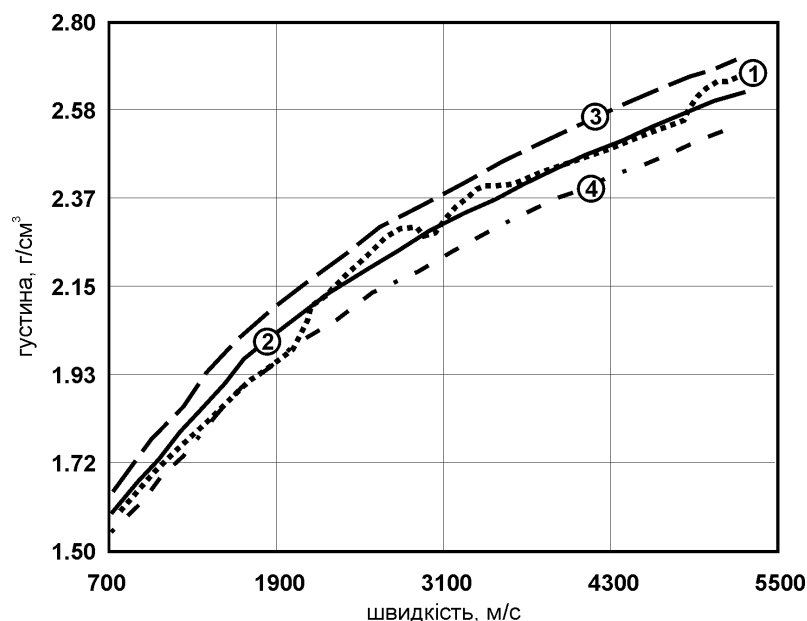
Рисунок 2 – Аксонометричне зображення апріорної структурної моделі Оболонської площі

При формуванні апріорної просторової 3D моделі неперервного розподілу геогустинних властивостей існувало ряд об'єктивних труднощів, пов'язаних як з особливостями глибинної будови Оболонської астроблеми, так із об'ємом проведених тут польових досліджень. Зокрема, по свердловинах 5301 та 5302, які пробурені безпосередньо в межах Оболонської площі, виконано детальне літолого-фаціальне вивчення геологічного розрізу, проведено комплекс геофізичних досліджень (метод самочинної поляризації, метод позірнього опору), однак визначення фізичних характеристик, таких як густина, намагніченість у свердловинах не виконувалося.

Отже, геогустинні властивості порід осадового чохла і, відповідно, його геогустинний розріз саме у районі Оболонської площі, недостатньо вивчені. Вище відзначалося, що за даними сейсморозвідки у розрізі площі виділено

структурно-літологічні комплекси, притаманні імпактним структурам. Відбивальні горизонти умовно контролюють фундамент та надійно-коптогенний, заповнюючий та перекриваючий комплекси. Зважаючи на природу утворення цих відкладів, для оцінки густин заповнюючого та перекриваючого комплексів правомірно використати значення густин літолого-стратиграфічних комплексів, які входять до їх складу, за характеристиками аналогічних відкладів на суміжних територіях.

Породи фундаменту, не спотворені процесами ударного метаморфізму, представлені метаморфічними утвореннями інгулецької серії та ультраметагенними гранітоїдами кіровоградського комплексу раннього протерозою. Їх фізичні властивості охарактеризовано за фондовими даними [9-11]. В той же час, оскільки породи коптогеного комплексу - це подрібнені та перемішані породи самого фундаменту з відкла-



1 - за фактичними даними, 2 - $a=0.31$, 3 - $a=0.32$, 4 - $a=0.30$

Рисунок 3 – Залежність густини від швидкості за формулою Гарднера

дами башкирського ярусу середнього карбону та тріасу, їх оцінки потребують спеціальних досліджень.

Для вирішення цієї задачі ми використали результати сейсморозвідки 3D та дані геофізичних досліджень свердловин 5301, 5302 й свердловин, що розташовані на Білоцерківській та Березівській площах як таких, що розташовані найближче до території досліджень.

Зважаючи на наявність прямого функціонального зв'язку між пористістю та густиною осадових відкладів, формування густинної моделі в межах осадового комплексу виконувалося з використанням кубу пористості, що був розрахований при інтерпретації сейсмічних даних. З цією метою було здійснено конвертацію кубу пористості із часового представлення у глибинне на основі швидкісної залежності, використаної для глибинних перетворень при інтерпретації даних 3D сейсморозвідки. Перерахунок кубу пористості у куб густини здійснювався з урахуванням встановленої за результатами обробки даних ГДС [8], залежності:

$$\sigma = 2.735 - 0.0187 * K_{\Pi},$$

де σ – густина порід,

K_{Π} – коефіцієнт пористості.

З метою оцінки адекватності отриманої густинної моделі нами проведено зіставлення густинних характеристик по свердловинах Оболонської, Білоцерківської та Березівської площ. Крім того, виконано перерахунок середньої швидкості у густину з використанням формули Гарднера, який обраний за результатами адаптації до фактичних даних

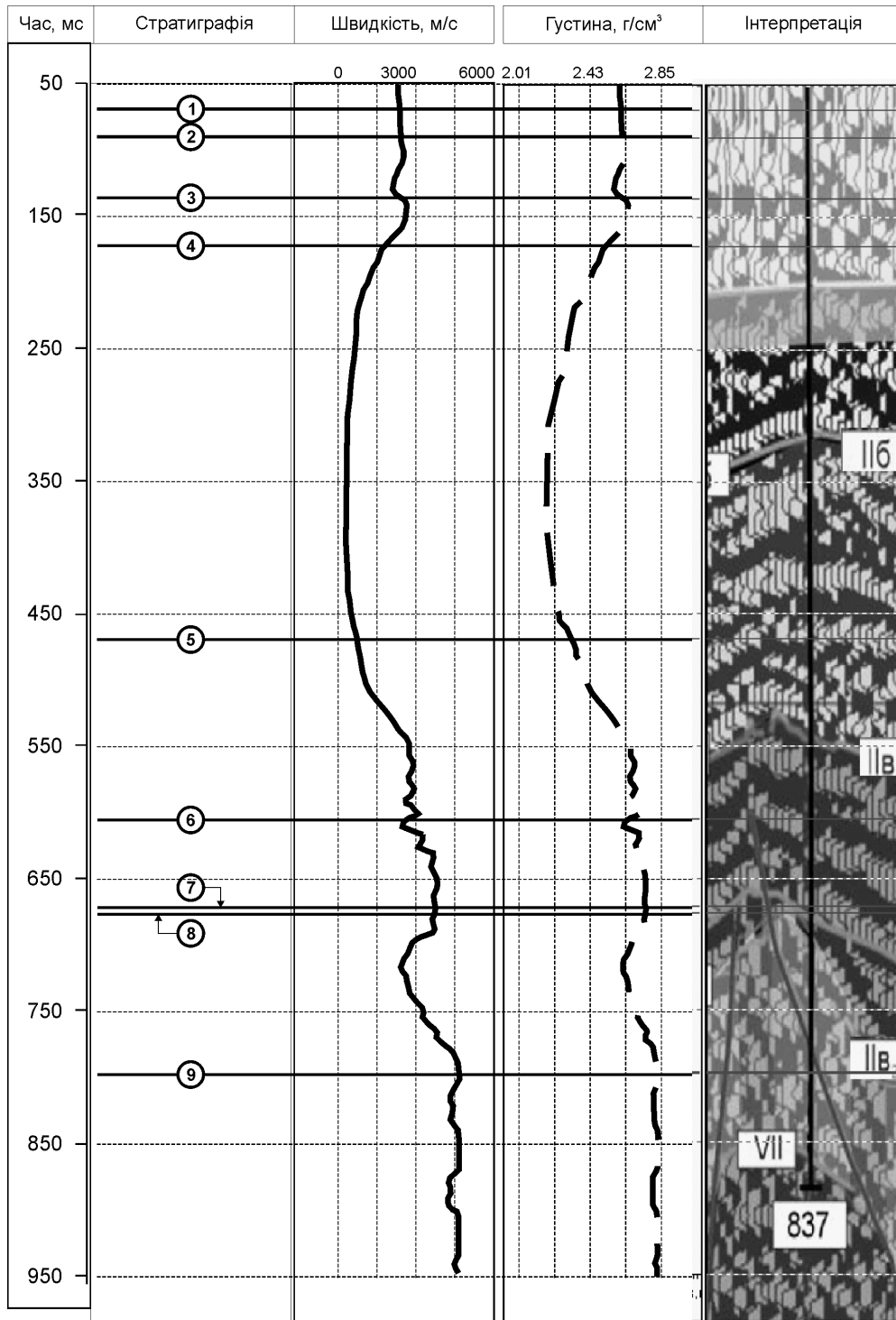
$$\sigma = aV^4,$$

де σ має розмірність г/см³,
 a – коефіцієнт, що дорівнює 0.31,
 V – швидкість у м/с (рис. 3).

У результаті виявлено, що густинні характеристики середньо-верхньоюрських відкладів Оболонської площі вищі у порівнянні із характеристиками аналогічних відкладів Білоцерківської та Березівської площ, а також густинними характеристиками, отриманими при перерахунку інтервальної швидкості [12]. В середньому відхилення значень густини сягають величин: 0.6 г/см³ – для нижньокрейдових та 0.38 г/см³ – для юрських відкладів. Якщо ж прийняти до уваги відхилення густини на різних глибинних рівнях, то на нульовій позначці воно становило 0.56 г/см³, на позначці 700 м - 0.38 г/см³. Крім того, відсутність вертикального градієнту густини з глибиною суперечить законам осадонакопичення та діагенетичного перетворення порід.

Зважаючи на це, було проведено коригування густини відкладів нижньої частини батського ярусу середньої юри та нижньої частини порід оксфордського ярусу верхньої юри, якими складено заповнюючий комплекс. З цією метою густина була конвертована у швидкість (з використанням формули Гарднера), після чого проведено динамічне 1D-моделювання сейсмічного поля та уточнення кінематичних характеристик розрізу свердловин 5301 та 5302 (рис. 4) з подальшим зворотнім перетворенням скоригованої швидкісної кривої у густину (рис. 5).

Виходячи з наявності двох апріорних моделей розподілу густини: перша – отримана шляхом перерахунку значень пористості (I), друга (II) – скорегована на основі 1D динамічного моделювання сейсмічного поля, було розв'язано пряму задачу гравірозвідки для кожної з моделей. Для забезпечення необхідної геологічно обумовленої детальності визначення параметрів просторової геогустинної моделі глибинної будови території були обрані такі



Покрівлі стратиграфічних комплексів:

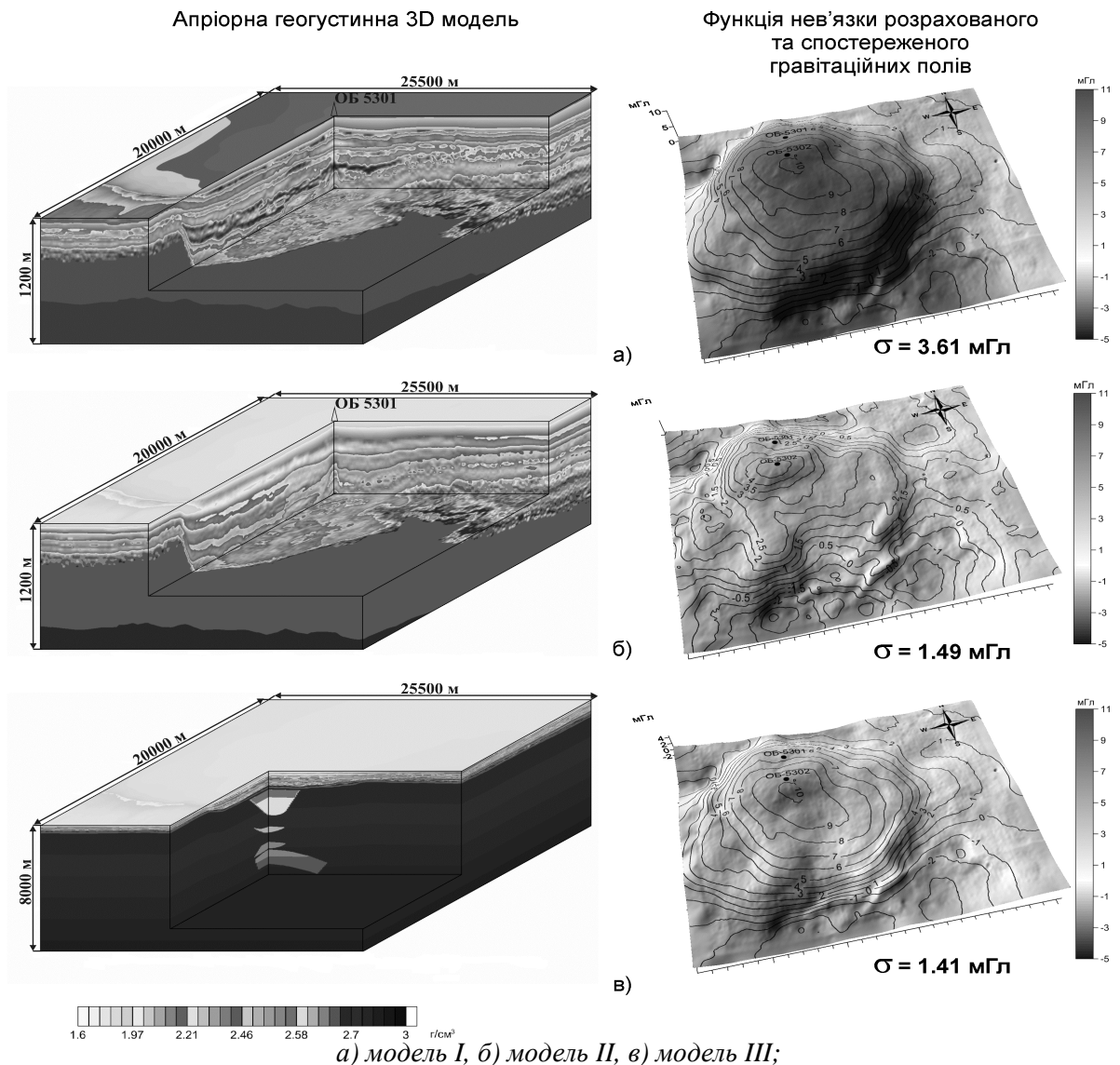
1 – K₁, 2 – J₃oxf, 3 – J₂cl, 4 – J₂bt₂, 5 – J₂bt₁, 6 – J₂bs₂, 7 – J₂bs₁, 8 – імпактні породи, 9- PC

Рисунок 4 – 1-D динамічне моделювання по свердловині Оболонська-5302

параметри апроксимації гравітаційного поля і геолого-геофізичної моделі (табл. 1).

В результаті встановлено, що для моделі I середньоквадратичне значення відхилення між розрахованим та спостереженим полями становить 3.61 мГл (рис. 6, а). Відповідно для скорегованої моделі II середньоквадратичне значення відхилення зменшилось майже в 2 рази та становило 1.492 мГл (рис. 6, б).

Зважаючи на те, що за результатами сейсморозвідувальних робіт [11] у межах центральної частини кратеру на глибинах 2-6 км спрогнозовано зони розущільнення у фундаменті, була проведена додатково верифікація можливості існування вказаних зон. З цією метою закартовані зони розущільнення були введені у апріорну модель із дефіцитом густин, що дорівнював -0.1 г/см³ (модель III), та повторно про-



σ – середньоквадратичне відхилення між спостереженим та розрахованим гравітаційними полями

Рисунок 6 – Апріорні геогустинні моделі та розраховані гравітаційні поля

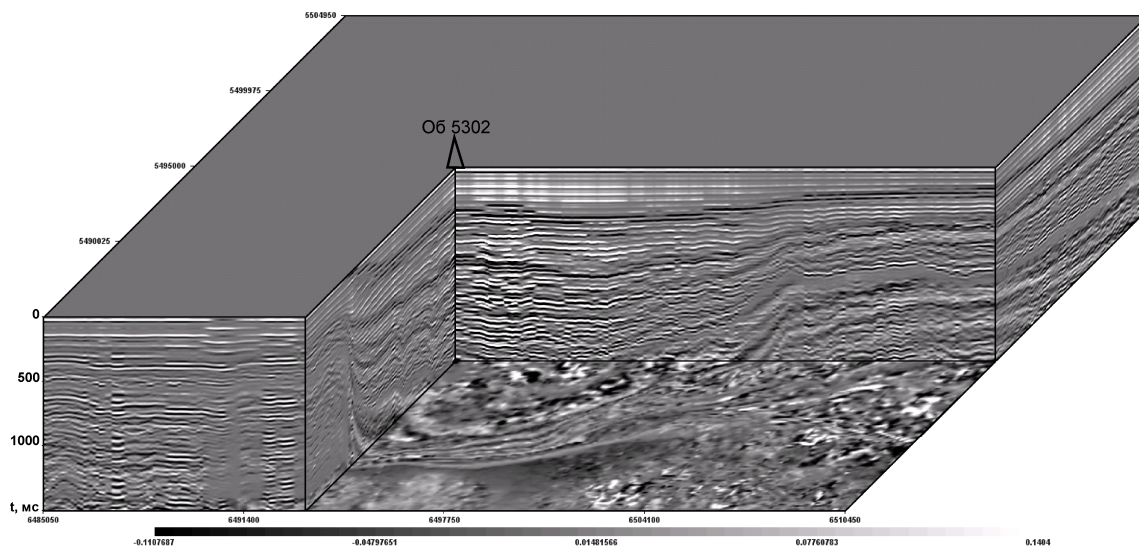
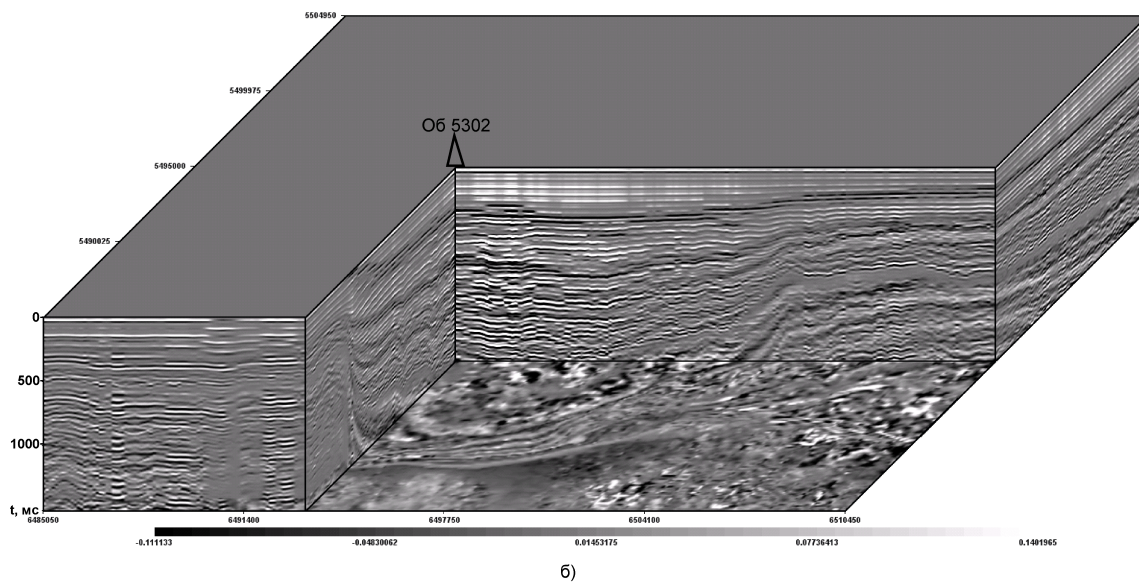
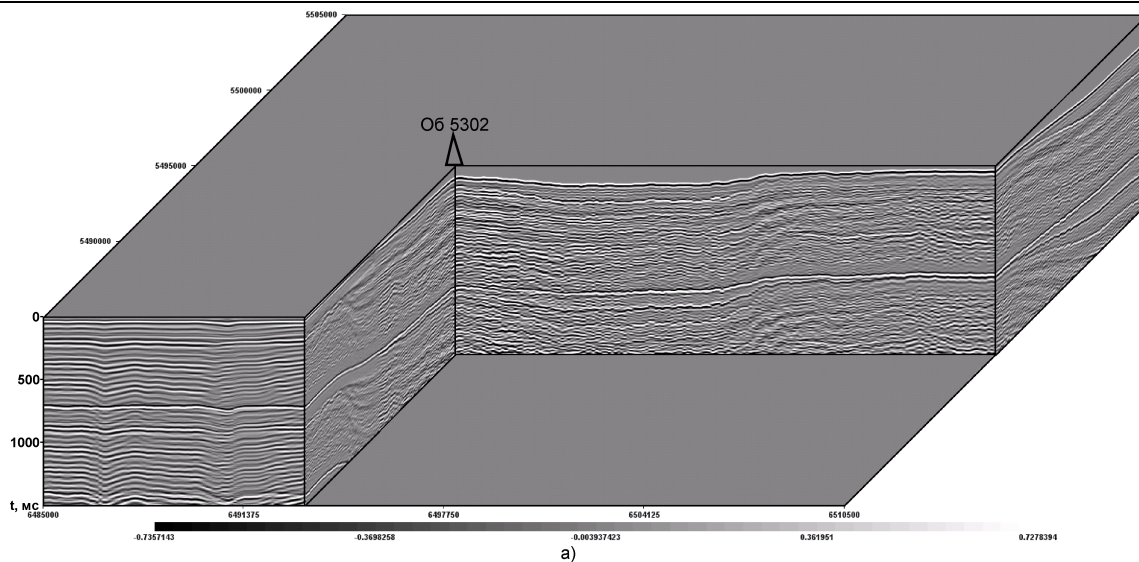
ведено розв’язання прямої задачі гравірозвідки. Зменшення відхилення гравітаційних полів до 1.41 мГл (рис. 6 в) вказує на потенційну можливість існування розуцільнень фундаменту підкратерної зони.

Ще одним аргументом на користь правомірності використання скоригованої геогустинної моделі як геологічно змістовної апріорної моделі Оболонської астроблеми, слугували результати розв’язання прямої просторової квазідинамічної задачі сейсморозвідки, яка була виконана на основі трьох вищезгаданих розподілів густини (швидкості) – моделі I-III (рис. 7).

Зіставлення часових перерізів відповідних модельних часових розрізів показує кращу відповідність саме скоригованої моделі (III) із спостереженим сейсмічним розрізом. Найбільш повна відповідність спостерігається між часовими перерізами – спостереженим та отриманим по III моделі (рис. 8).

Слід вказати на незначну різницю між результатами сейсмічного моделювання по II-й та III-й геогустинних моделях. Це пояснюється,

на нашу думку, принциповою відмінністю у роздільній здатності сейсмічного та гравітаційного методів. Якщо при розв’язанні прямої задачі роздільна здатність сейсмічних даних залежить від довжини хвилі, то при розв’язанні прямої задачі гравірозвідки – лише від кроку дискретизації моделі. Для забезпечення роздільної здатності сейсмічних даних на рівні гравітаційних (таб. 1) з урахуванням зміни швидкості у діапазоні 3000 – 6000 м/с, частотний діапазон сейсмічних хвиль повинен складати від 100 до 120 Гц (горизонтальна роздільна здатність) та на порядок вищий для забезпечення відповідної вертикальної роздільної здатності. В той же час реальний частотний діапазон сейсмічного хвильового поля (з яким виконано і моделювання) дорівнює 15 - 80 Гц. Підтвердженням цього факту є відповідність між спостереженим та модельними часовими розрізами вздовж лінії Y=594950, особливо у межах перекриваючого та заповнюючого комплексів (рис. 7).



в)

а) модель I, б) модель II, в) модель III

Рисунок 7 – Часові куби, розраховані для різних варіантів геогустинної моделі

Висновки. Наведені результати сейсмографічного моделювання вказують на те, що скоригована на основі активного залучення свердловинних та петрофізичних даних геогустинна модель адекватно відображає основні елементи глибинної будови Оболонської площі. Отримана геогустинна модель може бути використана для визначення оптимальних параметрів інтегральної геолого-геофізичної моделі Оболонської площі на основі розв'язання оберненої задачі інтегральної інтерпретації геолого-геофізичних даних.

Література

- 1 Dnjfrio R.R. Impact craters: implications for basement hydrocarbon production / R.R. Dnjfrio // *Petrol. Geol. Journal.* – 1981. – Vol. 3. No. 3. – P. 279-302.
- 2 Grieve R.A.F. Terrestrial impact structures / R.F.F. Grieve // *Ann.Rev.Earth Planet.Sci.* – 1987 - Vol.15, P. 245-270.
- 3 Гуров Е.П. Нефтегазоносные импактные структуры / Е.П. Гуров, Д.С. Гурский, Е.П. Гурова // *Мінер. ресурси України.* – 2000. – №2. – С.6-11.
- 4 Краюшкин В.А. Неорганическое происхождение нефти: от геологической к физической теории / В.А. Краюшкин, В.Г. Кучеров, П.Ф. Гожик [и др.] // *Геол. журн.* – 2005. – №2. – С. 35-43.
- 5 Гуров Е.П. Заполняющий комплекс и кратерные отложения Оболонской импактной структуры / Е.П. Гуров, Е.П. Гурова [и др.] // *Геол. журнал.* – 2007. – №4. – С.48-59.
- 6 Петровский А.П. Математические модели и информационные технологии интегральной интерпретации комплекса геолого-геофизических данных (на примере нефтегазопроисловых задач): дис. доктора физ.-мат. наук: 04.00.22 / Петровский Александр Павлович. – Ивано-Франковск, 2004. – 367 с.
- 7 Масайтис В.Л. Геология астроблем / В.Л. Масайтис, А.Н. Данилин, Г.М. Карпов [та ін.]. – Л.: Недра, 1980. – 230 с.
- 8 Звіт про виконані сейсмозвідувальні роботи на Оболонській площі за технологією 3D / Г.Г. Маркова, М.М. Здоровенко, М.П. Фурманчук [та ін.]. – Київ, 2011. – 157 с.
- 9 Колосовська В.А. Розробка геолого-геофізичних критеріїв визначення перспективних у нафтогазоносному відношенні структур кристалічного фундаменту Північного та Південного бортів ДДЗ / В.А. Колосовська // *Звіт по темі за 1993-1997 рр.* – Київ, 1997. – Фонди СУГРЕ.
- 10 Пигулевский П.И. Результаты составления геолого-структурной карты докембрийских образований юго-восточной части Украинского щита / П.И. Пигулевский, Б.З. Березин, В.М. Кичурчак. – К.: Геоінформ, 1999. – 198 с.
- 11 Шемет В.Г. Результаты комплексных геофизических исследований в межах Південного борту ДДЗ на ділянці Білоцерківка-Левенцівка (2004-2008; титул 223/04) / В.Г. Шемет, В.В. Омельченко. – Дніпропетровськ, 2008. – 172 с.
- 12 Аніщенко Ю.В. Геогустинні властивості геологічного розрізу Оболонської астроблеми / Ю.В. Аніщенко, Н.С. Ганженко, В.В. Омельченко // *Науковий вісник ІФНТУНГ.* – 2012. – №2(26). – С. 21-26.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
02.10.12
Рекомендована до друку професором
Петровським О.П.*