

УТОЧНЕННЯ СТРУКТУРНОЇ МОДЕЛІ БІЛЬСЬКОГО НАФТОГАЗОКОНДЕНСАТНОГО РОДОВИЩА (НГКР) НА ОСНОВІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КОМПЛЕКСНОЇ ОБРОБКИ- ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

П.М. Кузьменко¹, О.М. Войтко²

¹ *Центр нафтогазогеологічних та сейсмічних досліджень, ДП «Науканафтогаз»,
Вишневе, Київська область, Україна, E-mail: kuzmenko@naukanaftogaz.kiev.ua
Кандидат геологічних наук, завідувач відділення*

² *Центр нафтогазогеологічних та сейсмічних досліджень, ДП «Науканафтогаз»,
Вишневе, Київська область, Україна, E-mail: Voytko@naukanaftogaz.kiev.ua
Заступник завідувача відділу*

На основі проведеної динамічної обробки 3D сейсмічних даних із застосуванням технології CRS, подальшої кінематичної та динамічної переінтерпретації сейсмічних даних та матеріалів ГДС по окремих свердловинах уточнено геологічну будову Більського родовища по основних продуктивних і відбиваючих горизонтах. На основі технологій сейсмічної інверсії виконаний прогноз розподілу колекторів, які стали підґрунтям для виконання гідродинамічного моделювання. За результатами проведених досліджень розроблено комплексну геолого-геофізичну модель родовища для усіх рівнів газоносності.

Ключові слова: 3D-куб, CRS, ГДС, обробка, інтерпретація, геолого-геофізична модель

DETALIZATION OF THE BILSKY HYDROCARBON FIELD STRUCTURAL MODEL USING MODERN TECHNIQUES OF INTEGRATED PROCESSING-INTERPRETATION OF GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL DATA

P.M. Kuzmenko¹, O.M. Voitko²

¹ *Center of OilGas Geology and Seismic research, SE «Naukanaftogaz»,
Vyshneve, Kyiv Oblast, Ukraine, E-mail: kuzmenko@naukanaftogaz.kiev.ua
PhD of geological science, head of department*

² *Center of OilGas Geology and Seismic research,
SE «Naukanaftogaz», Vyshneve, Kyiv Oblast, Ukraine, E-mail: Voytko@naukanaftogaz.kiev.ua
Deputy head of department*

On the basis of the dynamic processing of 3D seismic data using CRS technology, further kinematic and dynamic reinterpretation of seismic data and logging materials, the geological structure of the Bilske hydrocarbon field is detailed along the main productive and reflecting horizons. Using seismic inversion technologies, a reservoirs distribution is provided. It became the basis for the implementation of hydrodynamic simulation. According to the results of the research an integrated geological-geophysical model of the deposit for all levels of gas content was developed.

Key words: 3D-seismic volume, CRS, logging, processing, interpretation, geological-geophysical model

УТОЧНЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ БЕЛЬСКОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (НГКМ) НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ-ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

П.Н. Кузьменко¹, О.Н. Войтко²

¹ *Центр нефтегазогеологических и сейсмических исследований, ДП «Науканафтогаз», Вишневое, Киевская область, Украина, E-mail: kuzmenko@naukanaftogaz.kiev.ua
Кандидат геологических наук, заведующий отделением*

² *Центр нефтегазогеологических и сейсмических исследований, ДП «Науканафтогаз», Вишневое, Киевская область, Украина, E-mail: Voytko@naukanaftogaz.kiev.ua
Заместитель заведующего отделом*

На основе проведенной динамической обработки 3D сейсмических данных с применением технологии CRS, дальнейшей кинематической и динамической переинтерпретации сейсмических данных и материалов ГИС по отдельным скважинам, уточнено геологическое строение Бельского месторождения по основным продуктивным и отражающим горизонтам. На основе технологий сейсмической инверсии выполнен прогноз распределения коллекторов, которые стали основой для выполнения гидродинамического моделирования. По результатам проведенных исследований разработана комплексная геолого-геофизическая модель месторождения для всех уровней газоносности.

Ключевые слова: 3D-куб, CRS, ГДС, обработка, интерпретация, геолого-геофизическая модель

Вступ

Дослідження Більської площі тісно переплітаються з вивченням центральної частини ДДЗ. З середини ХХ ст. почалося проведення робіт з вивчення геологічної будови території, стратиграфії, тектоніки, геоморфології, які стали основами для подальших досліджень регіону.

У 1999 році на Більському НГКР проведена сейморозвідка за методикою 3D, над якою до 2016 року неодноразово виконувався процес обробки та інтерпретації геологічна модель об'єкту досліджень постійно вдосконалювалася. Однак, зважаючи на розвиток технологій, наявність нових пробурених свердловин, впровадження нових підходів в обробці, кінематичній та динамічній інтерпретації, постає необхідність перегляду сейсмічних

матеріалів минулих років. Тому актуальними стають питання в підвищенні результативності як сейсморозвідувальних робіт, так і свердловинних матеріалів для створення більш детальної, адаптованої геолого-геофізичної моделі нафтогазоперспективної площі.

В даній роботі розглянутий позитивний досвід переобробки та переінтерпретації 3D сейсмічних даних минулих років Більської площі, результати даного процесу викристалізувалися в комплексну геолого-геофізичну модель родовища.

Коротка характеристика об'єкту досліджень

Більське нафтогазоконденсатне родовище (НГКР) розташоване в Зіньківському і Котелевському районах Полтавської області та Охтирському районі Сумської області.

В тектонічному відношенні Більське НГКР розташоване в північній прибортовій зоні (підзоні складних дислокацій), що відноситься до центрального грабену Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) (Геологическое..., 1992).

Нафтогазоносність досліджуваного об'єкту пов'язана з теригенними та теригенно-карбонатними колекторами. Поклади вуглеводнів виявлені у відкладах юри, тріасу, пермі та карбону.

Більське підняття являє собою брахіантиклінальну складку північно-західного простягання, що розбита поперечними розривними порушеннями типу скиди на декілька блоків. Площини зміщувачів основних порушень падають на південний схід, в цьому ж напрямку сходиноподібно занурюється вся складка. Перикліналі підняття, ускладнені скидами меншої амплітуди діагонального простягання, що замикаються на основні порушення. Для формування Більської структури характерний конседиментаційний коливально-циклічний характер тектонічного розвитку з періодичним поновленням (активізацією) руху соляних мас, з відновленням всієї системи скидових порушень закладених в пізньовізейський час.

Більська структура є типовою криптодіапіровою складкою з девонським соляним ядром, що залягає на глибині 5300-5500 м в апікальній частині куполу. Структурні плани складки мають успадкований характер, по палеозойських відкладах крила залягають з більш крутими кутами, в мезозої структура виположується, розривні порушення стають малоамплітудними, деякі затухають.

Найбільш складна геологічна будова спостерігається по візейсько-турнейському поверху, відклади якого перекривають розчленовану поверхню девонського розрізу, через прояв галокінезу та блокову тектоніку. Такі умови залягання відкладів спричинили коливання товщин із збільшенням їх від припіднятих апікальних частин до занурених на крилах. Така геологічна будова в сукупності з поверхневими умовами призводять до ускладненої картини хвильового поля на сейсмічних матеріалах.

Слід відмітити, що геологічний розріз Більського родовища впевнено зіставляється з розрізами сусідніх родовищ та площ.

Літологічно, розрізи розвідувальних і експлуатаційних свердловин досліджуваної площі складені осадовими породами. Теригенні відклади представлені глинами, аргілітами, пісками, пісковиками, алевролітами. Карбонатні породи – це крейда і вапняки різного геологічного віку.

Методи та технології досліджень

Обробка 3D сейсмічних даних проводилася в режимі контролювання амплітуд сигналу з огляду на те, що результуючі сейсмічні дані використовуються не лише для виконання структурних побудов, а і для вирішення задач сейсмічної інверсії та прогнозування характеристик геологічного розрізу.

Один з основних акцентів був спрямований на проведення детальної переобробки первинних сейсмічних матеріалів з проведенням комплексу додаткових операцій, які дозволили покращити відношення сигнал/завада і

збільшити точність визначення глибин, і положення відбиваючих границь у розрізі.

Під час проведення обробки класичні підходи покращення картини сейсмічного хвильового поля якісно не змінювали картину у порівнянні з результатами обробки минулих років. Під час пошуку рішень з суттєвого покращення хвильової картини була застосована технологія CRS (common reflection surface) – метод спільної відбиваючої поверхні (Common..., 2011; Zhang, Bergler, Hubral, 2015).

Даний метод дає змогу дослідити об'єкт, де відбиваючі горизонти мають характер латеральної мінливості (спостерігається значна кількість розломів), сейсмічні дані характеризуються низьким співвідношенням сигнал/завада. У таких випадках побудувати об'єктивну геологічну модель на основі достовірного сейсмічного зображення досить складно. Теорія методу спільної відбиваючої поверхні (CRS) забезпечує належну основу для апроксимації без інформації про середню швидкість.

Метод спільної відбиваючої поверхні (common reflection surface – CRS) є інструментом для виділення структурної складової геологічного розрізу в сейсмічних даних. Ця інформація може бути використана для покращення співвідношення сигнал/завада, аналізу швидкостей та корекції залишкових кінематичних поправок.

Теорія методики CRS

Методика CRS основана на наборі атрибутів, які характеризують форму відбиттів до підсумовування. При застосуванні (normal move-out) NMO-поправок, використовується один параметр V_{RMS} – середньоквадратична швидкість, для визначення часу приходу хвилі до поверхні:

$$t_{NMO}^2 = t_0^2 + \frac{4 \cdot h^2}{V_{RMS}^2} \quad (1)$$

де h – половина відстані джерело-приймач і t_0 – зміщення нуля.

3D CRS

У випадку 3D сейсмічних даних для опису відбиваючої поверхні (рис. 1 б) використовується серія параметрів: кут виходу сейсмічної хвилі або кут β , доповнений азимутом кута виходу α ; R_{NIP} може бути описаний з більше ніж трьома радіусами; R_N – може бути описаний трьома радіусами (рис. 1 а). Рівняння (1) матиме такий вигляд:

$$t_{CRS}^2 = \left(t_0 + \frac{2 \cdot \sin \beta}{v_0} \left(\frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \right) \cdot \Delta m \right)^2 + \frac{2t_0}{v_0} (h \cdot R \cdot K_{NIP} \cdot R^T \cdot h + \Delta m \cdot R \cdot K_N \cdot R^T \cdot \Delta m) \quad (2)$$

де h і Δm – вектори для половини віддалення джерело-приймач (офсету) і середньої точки зміщення, відповідно. K_N і K_{NIP} симетрична матриця 2×2 , що сформована з трьох параметрів оберненого радіуса:

$$K_N = \begin{pmatrix} R_{N_{22}}^{-1} & R_{N_{21}}^{-1} \\ R_{N_{12}}^{-1} & R_{N_{11}}^{-1} \end{pmatrix} \quad K_{NIP} = \begin{pmatrix} R_{NIP_{22}}^{-1} & R_{NIP_{21}}^{-1} \\ R_{NIP_{12}}^{-1} & R_{NIP_{11}}^{-1} \end{pmatrix} \quad (3)$$

R – перетворення координат матриці, що переміщує K_N та K_{NIP} в систему координат, де відбиття нульового офсету є приведенне до t_0 :

$$R = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Визначення цих параметрів може проводитися в три етапи, але потребують одночасного визначення двох, трьох параметрів.

Визначення восьми параметрів, навіть в три етапи, є довгим та затратним. Параметри були б нестабільні для сейсмічних даних із великою кількістю завад – саме той тип даних, для яких CRS забезпечує найкращий ефект. Таким чином, використовуються три параметри: кут β , азимут α , R_{NIP} – швидкість RMS (root mean square). На першому етапі CRS здійснює пошуковий запит кутів та орієнтацію інлайнів-крослайнів з кутів DMO-суми (з врахуванням нахилу відбиваючої границі) і зберігає результати в трьох таблицях: 1) IDP таблиця кутів інлайнів; 2) XDP таблиця кутів крослайнів; 3) VEL R_{NIP} – таблиця даних швидкості, (semblance pick). Нульовий кут падіння або швидкості DMO (deer move-out) можуть бути використані для визначення R_{NIP} або попереднє застосування CRS може бути використане для більш розширеного пошуку R_{NIP} .

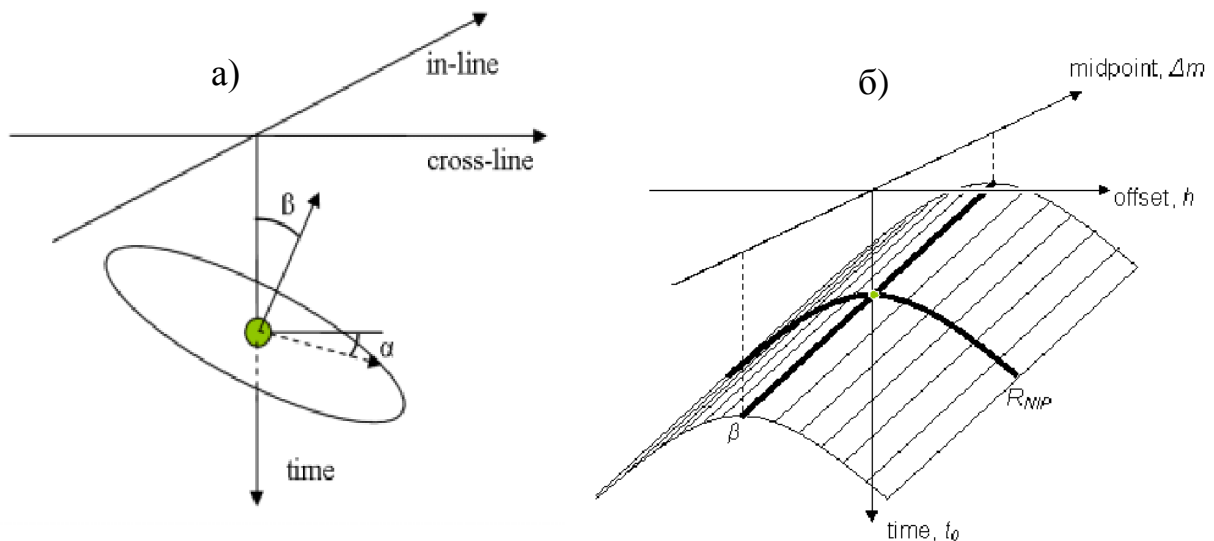


Рис. 1. а) Схема параметрів для CRS; б) 3D поверхня підсумовування CRS
Fig. 1. а) Parameter scheme for CRS; б) 3D surface of stacking CRS

Даний метод застосовується на об'єктах дослідження, де відбиваючі горизонти мають характер латеральної мінливості (спостерігається значна кількість розломів), сейсмічні дані характеризуються низьким співвідношенням сигнал/завада. У таких випадках, побудувати об'єктивну геологічну модель на основі достовірного сейсмічного зображення досить складно. Теорія методу спільної відбиваючої поверхні (CRS) забезпечує належну основу для апроксимації, без інформації про середню швидкість. У зоні зі слабким сейсмічним сигналом необхідне визначення цих атрибутів, щоб отримати сейсмічне зображення з високою роздільною здатністю та динамічною виразністю сейсмічних відбиттів.

На рисунках 2 та 3 наведено результати порівняння обробки минулих років та детальної сейсмічної обробки 2016 року із застосуванням технології CRS (вертикальні часові зрізи вздовж напрямків Inline та Xline) по Більській площі. Відповідно, на рисунках демонструється порівняння серії горизонтальних зрізів фінального часового мігрованого кубу обробки минулих років та детальної сейсмічної обробки 2016 року із застосуванням технології CRS.

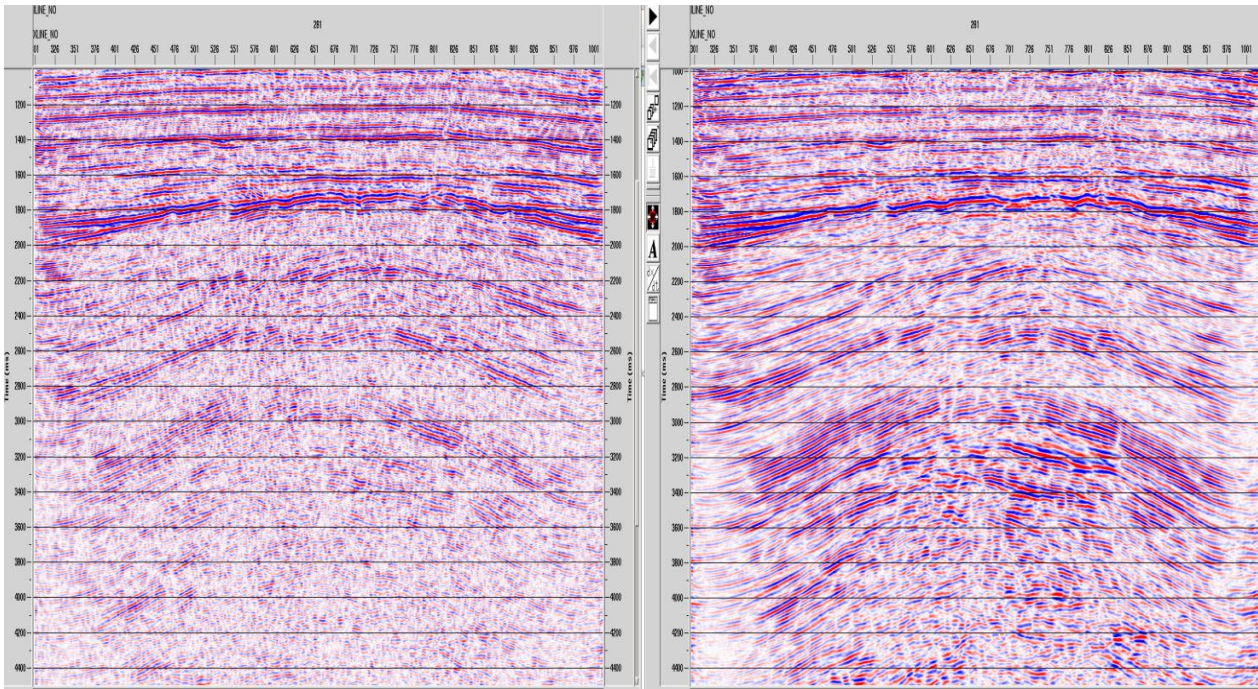


Рис. 2. Фрагмент результуючого сейсмічного кубу вздовж inline 281: ліворуч – обробка минулих років; праворуч – обробка із застосуванням технології CRS
Fig. 2. A fragment of the resulting seismic cube along inline 281: to the left is the processing of past years; to the right - processing using CRS technology

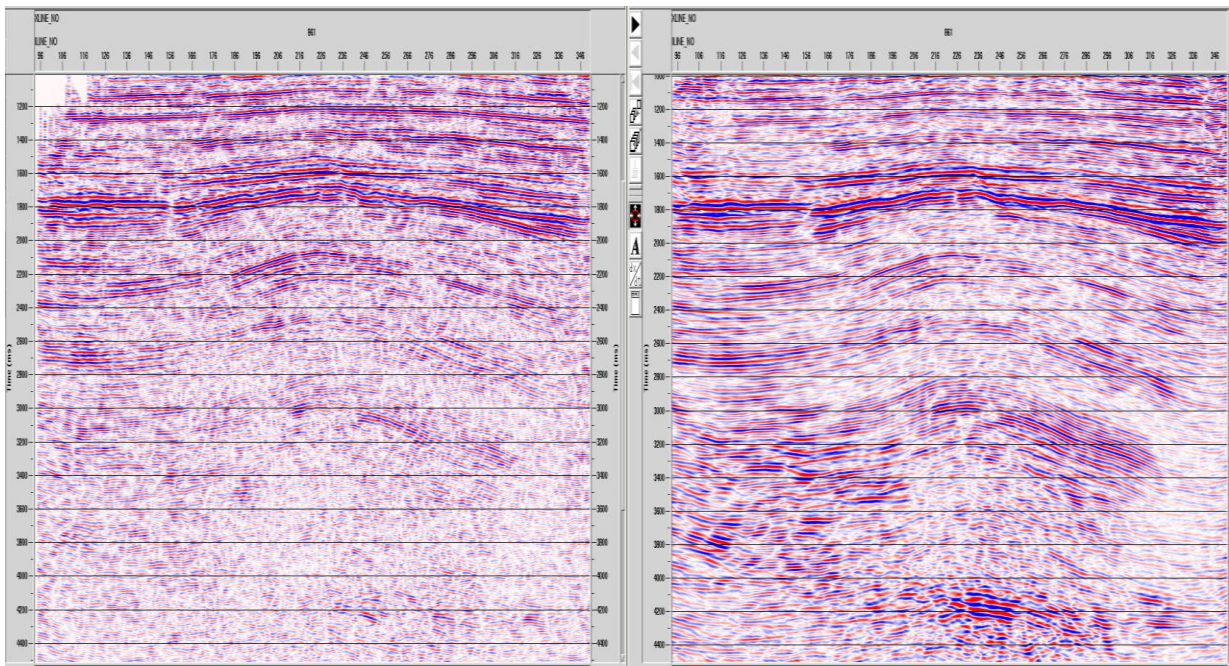


Рис. 3. Фрагмент результуючого сейсмічного кубу вздовж xline 861: ліворуч – обробка минулих років; праворуч – обробка із застосуванням технології CRS
Fig. 3. A fragment of the resulting seismic cube along xline 861: to the left is the processing of past years; to the right - processing using CRS technology

Основні результати дослідження

Структурна інтерпретація

За результатами обробки виконана структурна інтерпретація сейсмічних даних. Кореляція виконувалась по п'ятнадцяти поверхнях, які включали як продуктивні, так і горизонти відбиття Більського родовища. На рисунку 4 демонструється розріз через серію свердловин родовища, а на рисунку 5 наведений сейсмічний зріз на рівні 1700 мілісекунд. З наведених нижче рисунків можна зробити висновки про складний характер хвильового поля та складну геологічну будову досліджуваної площі.

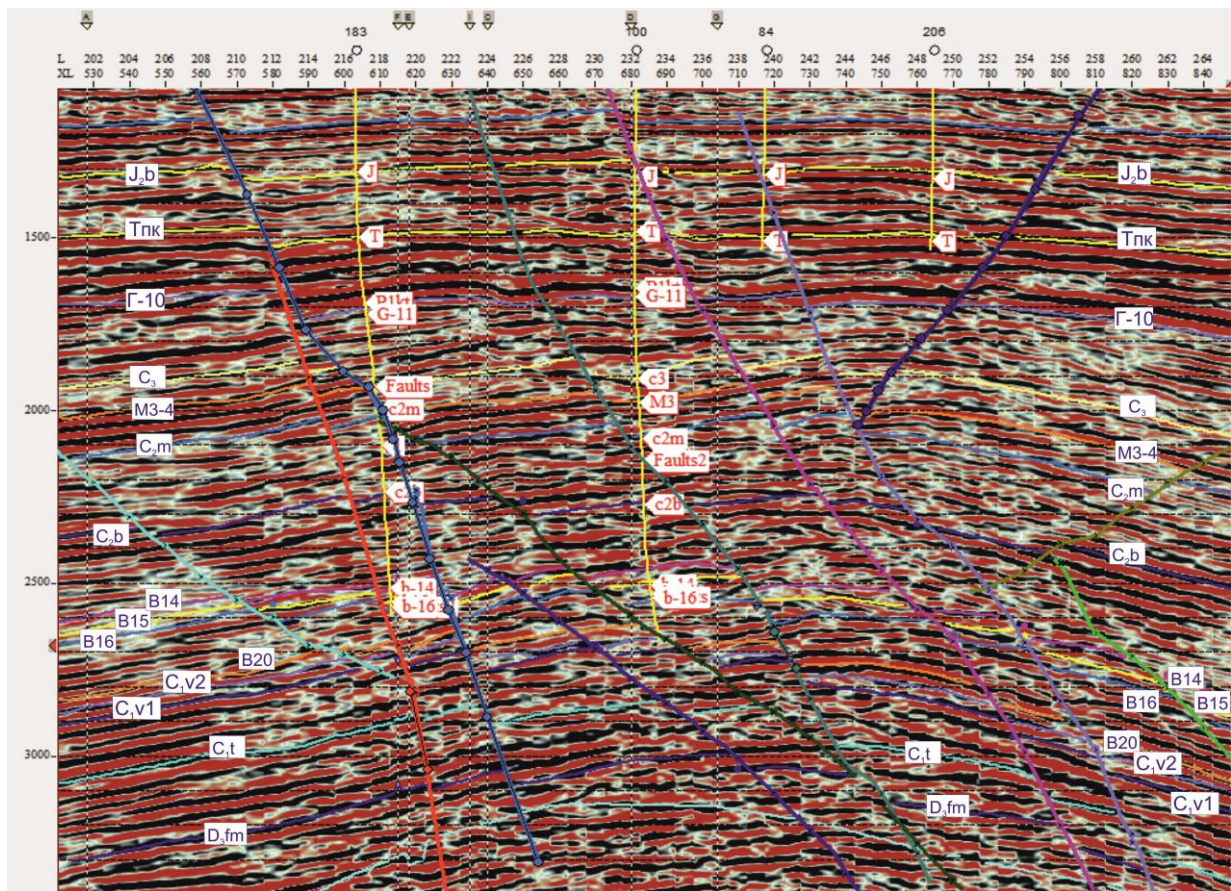


Рис. 4. Сейсмічний розріз через свердловини №№ 183, 100, 84, 206

Fig. 4. Seismic section through wells # 183, 100, 84, 206

Сейсмічна інверсія

Комплексне вивчення продуктивних порід за даними ГДС, геологічних і петрофізичних методів, а також різноманітність літологічного складу і відмінність у фізичних властивостях відкладів дозволили провести кореляцію розрізу свердловин Більського НГКР.

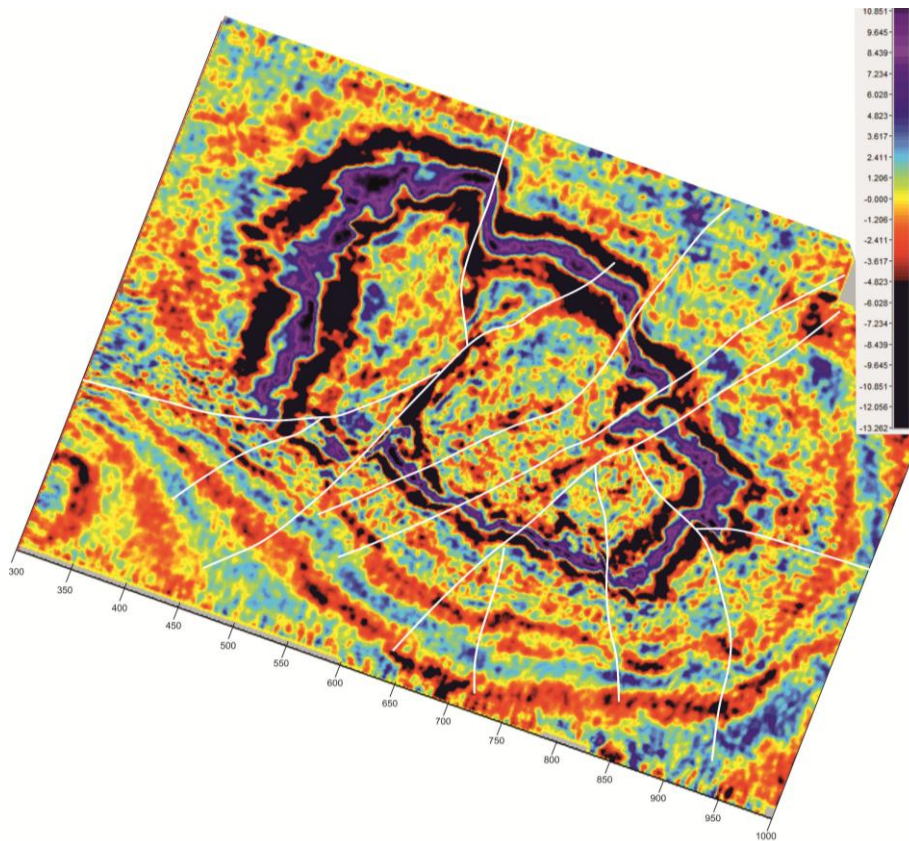


Рис. 5. Горизонтальний зріз мігрованого часового кубу на рівні $2T = 1700$ мс
Fig. 5. Time slice of migrated seismic volume at $2T = 1700$ ms

Також була проведена переінтерпретація матеріалів ГДС по окремих свердловинах з метою уточнення стратиграфічного розчленування і кореляції розрізів, виділення колекторів і вивчення особливостей їх поширення по площі, а також визначення їх фільтраційно-ємнісних властивостей.

Під час проведення кореляції розрізу були використані характерні репери, такі як пачки глин в покрівлі продуктивних пластів пермі, башкирські та візейські вапняки та ін.

Підставою для переінтерпретації даних ГДС стало розходження результатів випробування виділених об'єктів в процесі буріння та після перфорації з результатами оперативних висновків, виданих геофізичними експедиціями за даними буріння свердловин і представлених у справі кожної свердловини.

За результатами обробки сейсмічних даних, структурної інтерпретації та інтерпретації даних ГДС виконані сейсмічні інверсійні перетворення і отримані куби пористості, піщанистості та глинистості. Під час виконання прогнозу застосовувалися сучасні підходи детерміністичних та стохастичних технологій інверсійних перетворень сейсмічних та свердловинних даних також застосовувалися технології прогнозування на основі нейромережових алгоритмів.

На рисунку 6 зображений фрагмент кубу коефіцієнтів відкритої пористості та інтегральна карта осереднених зважених коефіцієнтів відкритої пористості у товщі, яка включає продуктивні горизонти: Трк_(а), Трк_(b), Трк_(v). З даного рисунку видно, що концентрація підвищених значень коефіцієнтів пористості зосереджується в апікальній частині структури. Також в апікальній частині спостерігається ущільнення.

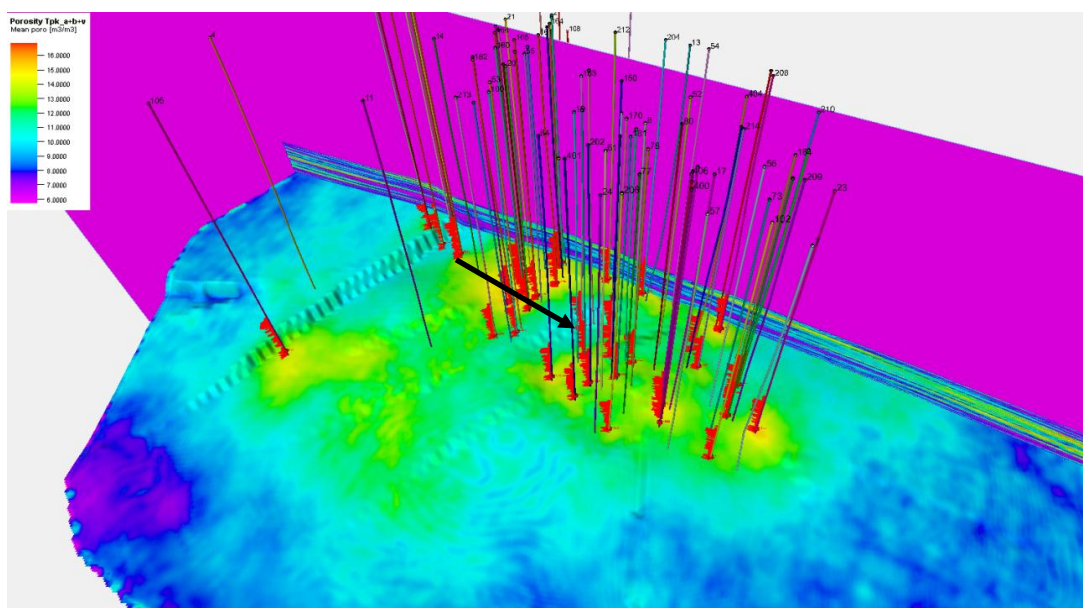


Рис. 6. Фрагмент кубу коефіцієнтів відкритої пористості та карта осереднених зважених коефіцієнтів відкритої пористості у товщі, яка включає продуктивні горизонти: Трк_(а), Трк_(b), Трк_(v). Чорною стрілкою показане ущільнення розрізу

Fig. 6. A fragment of the cube of the coefficients of open porosity and a map of the averaged weighted coefficients of open porosity in a column that includes productive horizons: Trk_ (a), Trk_ (b), Trk_ (v). The black arrow shows the compaction

Розріз коефіцієнтів відкритої пористості через серію свердловин у відкладах нижнього карбону зображений на рисунку 7. З усіх наведених рисунків видно, що виконаний розподіл коефіцієнтів пористості на основі інверсійних перетворень забезпечує врахування просторового розподілу властивостей та їх мінливості. Отриманий розподіл відповідає вимогам, що необхідні для виконання гідродинамічних досліджень, вирішення задач розробки покладів та закладення нових свердловин.

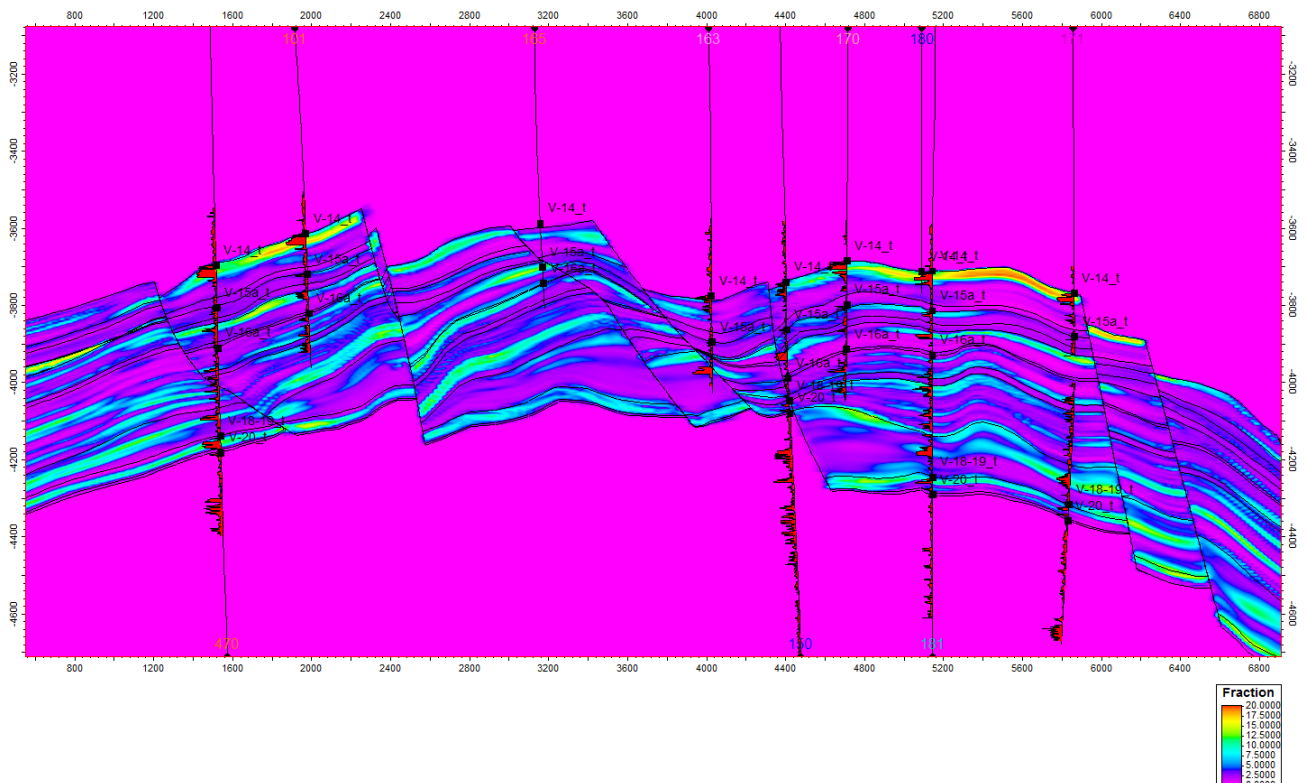


Рис. 7. Розріз коефіцієнтів відкритої пористості через серію свердловин у відкладах нижнього карбону. На розрізі винесені криві коефіцієнту пористості
Fig. 7. Section of coefficients of open porosity through a series of wells in lower carbon deposits. On the section a curve is given for the coefficient of porosity

Співставлення розломної тектоніки за результатами переінтерпретації 3D сейсміки та геолого-геофізичної моделі 2016 року наведено на рисунку 8 на прикладі структурних побудов по візейських відкладах (покрівля продуктивного горизонту В-14).

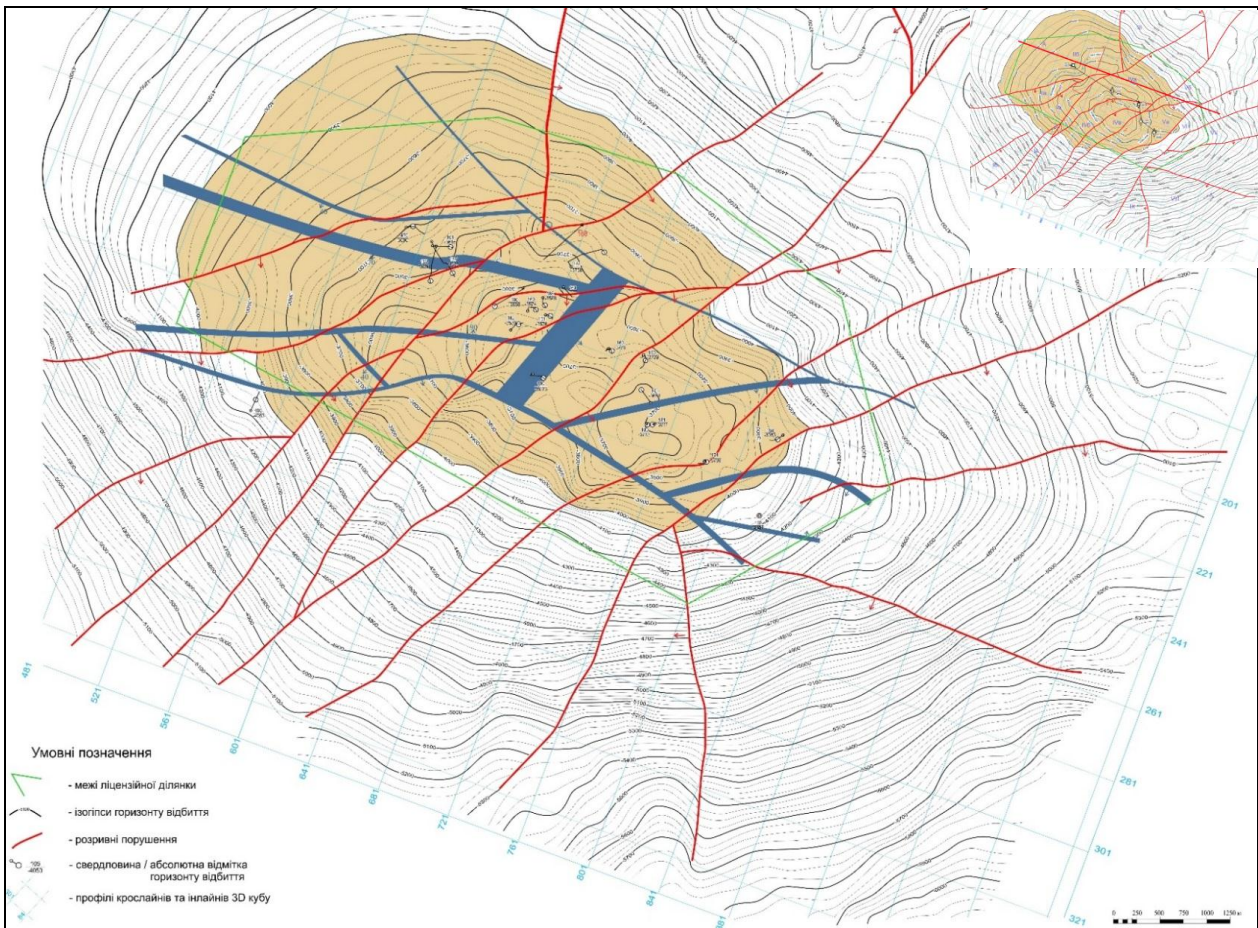


Рис. 8. Карта покрівлі продуктивного горизонту В-14 з нанесенням розривних порушень з геолого-геофізичної моделі 2016 р. (синім кольором) у порівнянні з попередньою моделлю (Звіт..., 2017)

Fig. 8. The top of productive horizon B-14 with fault from the geological and geophysical model of 2016 (blue) in comparison with the previous model (Report..., 2017)

На основі отриманих даних за результатами переінтерпретації сейморозвідувальних робіт 3D, матеріалів ГДС та результатів сейсмічної інверсії уточнено геологічні моделі продуктивних горизонтів: J_{2b} середньоюрського (байоського); Тпк тріасового пісковиково-карбонатного; Г-10, Г-11 верхнього карбону; М-3-4 середнього карбону; В-14, В-15, В-16, В-20 нижнього карбону; перспективних об'єктів у відкладах нижньовізейсько-турнейського та верхньодевонського комплексів.

На рисунку 9 зображена комплексна 3D-модель Більського НГКР для усіх продуктивних та перспективних геологічних рівнів.

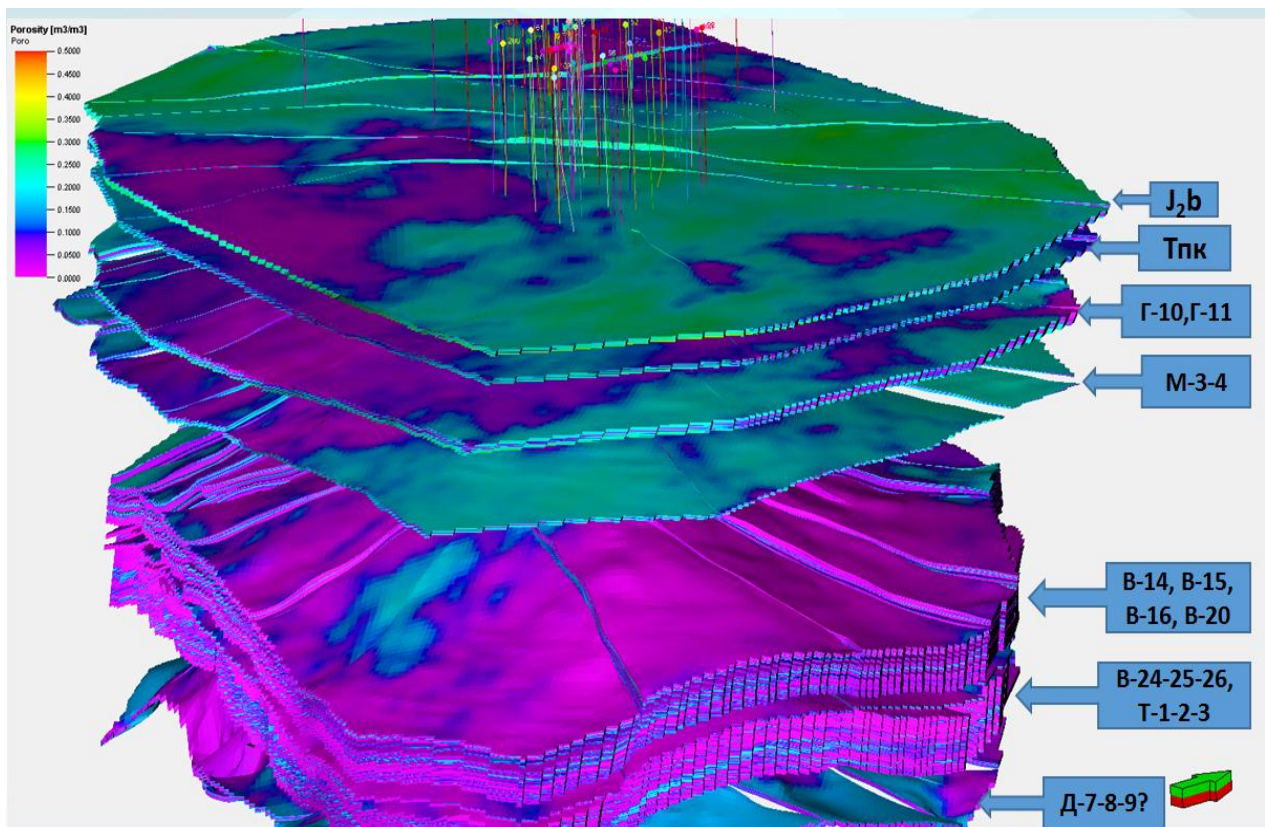


Рис. 9. Комплексна 3D-модель Більського НГКР для усіх продуктивних та перспективних геологічних рівнів

Fig. 9. Integrated 3D model of the Bilsky GGKR for all productive and perspective geological levels

Висновки

За результатами виконаних комплексних робіт з уточнення геологічної будови Більського НГКР та для побудови структурних поверхонь уточнено стратиграфічні розбивки основних продуктивних горизонтів в юрі, тріасі, верхньому, середньому, нижньому карбоні та у верхньому девоні.

У межах Більського родовища після переобробки отримано куб сейсмічних даних з покращеним співвідношенням сигнал/завада в цільових інтервалах об'єкту досліджень. Вдалося досягти покращення динамічної картини виділення тектонічних порушень у сейсмічному хвильовому полі у порівнянні із результатами обробки минулих років. Вперше застосована технологія CRS, яка дозволила отримати якісно нові дані результуючого сейсмічного кубу.

Проведено параметричний аналіз хвильового поля та прогноз ділянок розповсюдження порід з покращеними колекторськими властивостями по основних продуктивних горизонтах юрсько-тріасових, верхньо-середньо-нижньокарбонівих та верхньодевонських відкладів.

Під час виконання прогнозу застосовувалися сучасні підходи детерміністичних та стохастичних технологій інверсійних перетворень сейсмічних та свердловинних даних з метою прогнозування петрофізичних властивостей продуктивних товщ досліджуваних об'єктів. В процесі прогнозування застосовувалися технології прогнозування на основі нейромережевих алгоритмів.

У зв'язку із уточненням геологічної будови родовища відбулася зміна структурної будови із новою розбивкою на блоки, за рахунок чого деякі експлуатаційні свердловини опинились в інших блоках, що привело до зміни конфігурації об'єктів розробки.

Список літератури

1. Common Reflection Surface (CRS) Overview, ProMAX® Reference Manual. 2011. 6 p.
2. Yonghai Zhang, Steffen Bergler, Peter Hubral. 2015. Common-reflection-surface (CRS) stack for common offset. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2478.2001.00292.x>
3. Геологическое строение и подсчет запасов углеводородов нижнекаменноугольных отложений Бельского месторождения Полтавской области Украины // ГК Украины по геологии и использованию недр, Государственное геологическое предприятие «Полтавнефтегазгеология», Полтава, 1992. – 120 с.
4. Звіт на надання геологічних, геофізичних та пов'язаних з ними вишукувальних та консультаційних послуг: «Уточнення геологічної будови Більського нафтогазоконденсатного родовища з метою оптимізації розробки та оцінки перспектив пошуку скупчень вуглеводнів в глибоких горизонтах», Вишневе. – 2017. – ДП «Науканафтогаз». – 440 с.

References

1. Common Reflection Surface (CRS) Overview, ProMAX® Reference Manual. 6 p.
2. Yonghai Zhang, Steffen Bergler, Peter Hubral. 2015. Common-reflection-surface (CRS) stack for common offset. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2478.2001.00292.x>.
3. Geological structure and calculation of reserves of hydrocarbons in lower carbon deposits of the Belsky deposit of the Poltava region of Ukraine. 1992. Poltava. GK of Ukraine of geology and subsoil use, State-owned geological enterprise. Poltavoilgazgeology. C. 120 p.
4. Report of the provision of geological, geophysical and associated survey and consulting services: «Clarification of the geological structure of the Bilsky oil and gas condensate field in order to optimize the development and assessment of prospects exploration for hydrocarbon accumulations in deep horizons». 2017. Vyshneve. SE «Naukanaftogaz». 440 p.