

УДК 550:681.3+004.9

**С.В. Костріков**

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна  
ІП «Геоклауд»

## ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГІС ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА (НА ПРИКЛАДІ ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО РОДОВИЩА)

Викладено методологію і методику ГІС-моделювання та візуалізації геологічного середовища Богатоїського газоконденсатного родовища. Подається методика побудови модельної конструкції «Імовірнісний Ресурсний куб + Пиллар Грід», за допомогою якої моделюється і візуалізується певний сегмент геологічного середовища цього родовища корисних копалин. Наводяться приклади інтеграції даних про геологічне середовище з подальшою візуалізацією результатів. Приклади, які подаються, стосуються відтворення і візуалізації в програмному забезпеченні продуктивних горизонтів родовища та локалізації місцеположення перспективних свердловин. Таке є можливим, зокрема, на підставі результатів моделювання та аналізу колекторських властивостей геологічного середовища. Подається декілька ілюстрацій в графічному інтерфейсі користувача спеціалізованого програмного забезпечення.

**Ключові слова:** ГІС-моделювання та візуалізація, геологічне середовище, Імовірнісний Ресурсний Куб, «Пиллар-Грід», геомодель, комп'ютерна система геомоделювання, чарунки 3D-«ґрида».

**S. Kostrikov**

### THE PRACTICE OF GIS-SOFTWARE IMPLEMENTATION FOR THE GEOLOGIC ENVIRONMENT VISUALIZATION (A CASE STUDY OF GAS CONDENSATE FIELD)

Methods and methodology of the GIS-modeling and visualization for the geological environment of Bogatojske gas condensate field have been presented. The concept of the modeling entity "Random Resource Cube + Pillar Grid" has been introduced, and this mineral deposit has been modeled with it. There have been several samples of the geological data integration, analysis and visualization. These examples have been relevant to the deposit producing layers simulation and visualization in the software with further localization of promising boreholes. This could be accomplished, in particular, by modeled results and with analysis of the geological environment reservoir properties. There have been several visuals in the software graphic user interface.

**Key words:** GIS-modeling and visualization, geological environment, Random Resource Cube, Pillar Grid, geomodel, geomodeling computer system, 3D-grid cells.

**С. В. Костриков**

### ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГИС ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

Изложены методология и методика геоинформационного моделирования и визуализации геологической среды Богатоїського газоконденсатного месторождения. Излагается методика построения модельной конструкции «Вероятностный Ресурсный куб + Пиллар Грід», с помощью которой моделируется и визуализируется определенный сегмент геологической среды данного месторождения полезных ископаемых. Приведены примеры интеграции данных о геологической среде с дальнейшей визуализацией результатов. Примеры, которые излагаются, касаются воспроизведения и визуализации в программном обеспечении продуктивных горизонтов месторождения и локализации местоположения перспективных скважин. Подобное возможно, в частности, на основании результатов моделирования и анализа колекторских свойств геологической среды. Приведены несколько иллюстраций в графическом интерфейсе пользователя специализированного программного обеспечения.

**Ключевые слова:** ГИС-моделирование и визуализация, геологическая среда, Вероятностный Ресурсный Куб, «Пиллар-Грід», геомодель, компьютерная система геомоделирования, ячейки 3D-«ґрида».

**Вступ.** Ця публікація подає зміст і головні особливості геоінформаційного програмного забезпечення щодо моделювання, аналізу та візуалізації геологічного середовища через дані сейсмічного зондування і петрофізичні керни свердловин на територіях родовищ корисних копалин. Дане програмне забезпечення розроблялося в українському підприємстві Геоклауд, у тому числі – безпосередньо автором статті. Програмний продукт, про який йдеться, робить наголос саме

на ГІС-процедурі візуалізації через наступні причини. Справа у тому, що переважна більшість сучасних геоінформаційних платформ і модулів моделювання підтримують лише двовимірне (2D) подання геологічних тіл, елементів та явищ в якості об'єктів карти в двох просторових вимірах. Фактично, такі звичайні ГІС-засоби не спроможні відтворювати геолого-тектонічні та літологічні ситуації, що мають місце в реальному тривимірному геологічному середовищі. Модулі

двовимірної та, так званої, «два з половиною»-вимірної візуалізації в ГІС, зазвичай, подають третю координату  $Z$  як дискретних, так і континуальних об'єктів у виді звичайної функції  $Z = f(x, y)$ . Саме тому, так би мовити, «ортодоксальна» ГІС-платформа не має інструментів для тривимірних геологічних об'єктів, геометричні форми яких мають, як правило, декілька значень третьої координати ( $Z$ ) для відповідних двох плоских координат  $(x, y)$ .

Одним з дуже небагатьох, на нашу думку, повноформатних програмних продуктів, які задовольняють вказаним вимогам подання геологічного середовища, є розробка компанії Шлямберже – програмний пакет Петрель (Petrel – англ.) [4, 9]. Дане програмне забезпечення надає можливість, наприклад, дійсно тривимірного картування, моделювання та візуалізації продуктивних пластів родовищ корисних копалин; зокрема, побудови і оформлення за всіма існуючими стандартами стратиграфічних структурних карт по покрівлі та підшві колекторів; побудови схем кореляцій, геологічних розрізів по результатах побудови тривимірних моделей. Ключовими методологічними засадами, на яких, на нашу думку, побудована ціла сукупність програмних продуктів Petrel, є положення широко поширеної в західній геологічній науці концепції геомодельовання [5–8]. Відповідні комп'ютерні системи геомодельовання (КСГМ) ефективно застосовуються в нафтогазовій геології при пошуку, розвідці та експлуатації родовищ вуглеводнів. Такі системи переважно базуються на похідних топологічних моделях дискретних об'єктів, побудованих згідно первинних емпіричних даних, що обробляються методами інтерполяційної геостатистики та структурної геології (зокрема, методом структурної інверсії). Найбільш розвиненим програмним забезпеченням серед КСГМ треба вважати саме Petrel.

Наше завдання щодо розробки релевантного програмного забезпечення полягало у створенні певного аналогу продукту компанії Шлямберже. Це програмне забезпечення, однак, переважно працює не з геофізичними, а з петрофізичними даними первинних кернів свердловин, зібраними по мережі останніх. Безумовно, дані сейсмічного зондування також мають бути застосовані для остаточного аналізу і уточнення висновків, зроблених через результати буріння. Ми

сподіваємося, що таке програмне забезпечення стане потужним інструментом для фахівців в нафтогазовій геології на всіх стадіях виконання робіт: при пошуках, розвідці, при експлуатації та при дорозвідці газоконденсатних родовищ, на чому і робиться наголос. Відомо, що для ефективної розробки останніх вимагається знати як, наприклад, об'єм промислових запасів газу, так і гідродинамічні умови, в яких знаходиться газовий поклад, що можливо лише через інтеграцію різноманітних даних разом з їх наступною візуалізацією, про що вже йшлося вище у вступі до статті.

Зараз родовища вуглеводнів, які розробляються вже тривалий час як в Росії, так і в Україні (зокрема – газоконденсатні родовища), знаходяться, як правило, в своїй пізній стадії розробки, коли має місце дуже швидкий зріст обводненості продуктивних шарів і тому – різке падіння видобутку нафти та газу. У вказаному відношенні вітчизняні розробки спеціалізованого програмного забезпечення, яке значною мірою допоможе вирішувати проблеми добування корисних копалин (а коштуватиме значно нижче, ніж аналогічні продукти компанії Шлямберже – повного монополіста на цьому ринку), важко переоцінити.

**Вихідні передумови.** Нами вже неодноразово підкреслювалося, що більшість прикладів сучасного спеціалізованого ГІС-моделювання і візуалізації щодо підтримки розробки родовищ корисних копалин спрямована на підтримку поточної та перспективної експлуатації родовищ, гідрогеологічне та геохімічне тестування товщі гірських порід [1–3]. На думку автора, провідне місце в подібних дослідженнях має займати інтеграція різноманітних даних із подальшою візуалізацією проміжних або заключних результатів їх обробки. Дуже важливим у рамках вказаних результатів є визначення певних класів просторового розповсюдження даних щодо регіонального екстену геологічного середовища – тривимірного простору розташування родовища корисних копалин. Також є очевидним, що більш-менш значні обсяги геологічних даних без застосування ГІС-засобів проблематично обробляти та майже неможливо ефективно аналізувати і робити по результатах аналізу висновки. Наприклад, визначення згаданих просторових класів лише на підставі звичайних табличних даних, що робиться в рамках традиційних досліджень, є дуже проблематичним. В таких до-

слідженнях геологи часто вдаються до засобів ручного креслення паспортів свердловин та паперових геологічних карт із наступним їхнім порівнянням для пошуку просторових кореляцій. Дана методика може надати надійні результати, однак її впровадження потребує дуже багато часу. Використання апаратного і програмного забезпечення ГІС зберігає час фахівця і значно підвищує ефективність відповідних досліджень.

Ми вже підкреслювали у попередніх публікаціях, що значне збільшення обсягів геологічної інформації у цифровому форматі та необхідність створення детальних тривимірних моделей геологічного середовища спричиняють нові вимоги для менеджменту відповідних даних [1]. Ключовим моментом тут має бути адаптування тривимірних геологічних моделей до модуля 3D моделювання певної ГІС-платформи. У вказаному аспекті ця стаття і доводить нашу концепцію ГІС-відтворення геологічного середовища. Остання подається у вигляді авторської концепції імовірного ресурсного кубу (ІРК), певні елементи методики побудови якого вже були опубліковані раніше [1, 3]. Особливість моделювання полягає в тому, що концепція ресурсного кубу гармонічно поєднується з відомою концепцією так званого Піллар-Гріда, розробленою компанією Шлямберже. Сутність «Ресурсний Куб + Pillar Grid» може бути побудована через інтерпретацію та інтерполяцію даних первинних спостережень по мережі свердловин, уточнена через геофізичну інформацію і подаватиме різні геологічні ситуації в тривимірному просторі.

**Метою** статті є подання оригінальної концепції розробки програмного забезпечення щодо інтеграції даних про геологічне середовище родовища корисних копалин із подальшим моделюванням і заключною візуалізацією результатів для підтримки ефективної експлуатації родовища вуглеводнів.

**Виклад основного матеріалу.** Два класи геомodelей щодо відтворення геологічного середовища. Концептуальна модель, яка знаходиться в основі нашого геоінформаційного програмного забезпечення для симуляції геологічного середовища полягає в інтеграції даних первинних спостережень (керни свердловин і дані сейсмічного зондування) з геомodelями. Останні є головними сутностями згаданої вище концепції геомodelювання. Такою сутністю є цифрове подання

певного екстенту геологічного середовища, який можемо визначити по аналогії із встановленням екстенту географічного простору [3]. Геомodelі створюються через інтерполяцію і різні методи інтерпретації первинних, переважно точкових даних. Геомodelі мають можливість подавати різні геологічні ситуації в трьохвимірному просторі. Певна база знань та сейсмічні дані можуть застосовуватися в геомodelях як допоміжні засоби.

Взагалі, можна вважати, що дотепер існували два головних підходи до створення геомodelей, які значною мірою відрізнялися один від одного [5–8]. Кінцевою метою в одному випадку є створення дискретної моделі геооб'єктів, а в іншому – континуальної моделі тривимірного «ґріда» (*grid* – англ., решітка, сітка). В першому випадку, обраний екстент геологічного середовища поділяється на сукупність обраних по певному параметру (структурно-геологічному або стратиграфічному) різнорозмірних об'ємів, які не перетинаються, але повністю заповнюють даний екстент. Для практичних цілей дискретна геомodel складається: по-перше, із структурної геологічної моделі, що зберігає інформацію про топологічні і геометричні характеристики всіх геооб'єктів, розташованих нижче видимої поверхні; по-друге, з асоційованою моделі властивостей гірських порід, яка дозволяє відтворювати властивості мінералів і порід, що складають ці геооб'єкти [8].

Континуальна геомodel тривимірного «ґріда» виводить на перший план не сукупність геооб'єктів у певному екстенті геологічного середовища, а градієнт властивостей цього середовища в межах вказаного екстенту. Саме така геомodel і реалізована в програмному забезпеченні Petrel [10]. Однією з її ключових дефініцій є згадане вище поняття «Піллар Гріда», а взагалі, ця модель включає в себе наступні складові. Pillars (Пілари) – вертикальні лінії, що з'єднують кутові точки чарунок 3D-«ґріда». Pillar Gridding (Пілар Гріддінг) – первинний процес створення тривимірної (3D) сітки по певному екстенту геологічного середовища (здійснюється шляхом використання ключових пілларів, тектонічних трендів і стратиграфічних границь). Результатом впровадження Pillar Gridding є тривимірна структура, яка називається просторовим кістяком, і визначає всі топологічні та геометричні властивості екстенту неоднорідного геологічного

середовища. Таким чином, дана континуальна геомодель стає схожою на дискретну. 3D-«грід» – сітка з горизонтальних і вертикальних ліній, яка використовується для опису тривимірної геологічної моделі. Corner point grid («Грід» кутової точки) – структурний «грід», в якому вісім кутів клітки (чарунки тривимірної сітки) можуть бути переміщені, створюючи нерегулярну геометрію чарунки, що може бути критичним для адекватного подання геологічного середовища через континуальну модель.

В якості теоретичного підґрунтя розробки платформи спеціалізованого програмного забезпечення для геологічних задач нами розглядалася можливість оптимального поєднання двох вказаних класів геомodelей – 1) просторової та атрибутивної інформації щодо дискретних геооб'єктів, що подає просторові властивості та семантику – ключову інформацію щодо предметних властивостей геооб'єктів; 2) просторових та атрибутивних властивостей континуальних геооб'єктів, які подаються через тривимірний «грід» кутової точки.

Слід підкреслити що, як розроблена нами декілька років тому і реалізована в авторській КСГМ модель Імовірнісного Ресурсного Кубу (ІРК) [1] (рис. 1), так і модель 3D-«гріда» (розробка компанії Шлямберже) (рис. 2), що також була впроваджена в нашому програмному забезпеченні, очевидно відносяться до обох класів геомodelей і можуть подавати як дискретні геооб'єкти, так і континуальні геологічні явища. Спроба поєднати два класи геомodelей в рамках однієї функціональності геоінформаційного програмного забезпечення може дати можливість правильно описати геологічну невизначеність в кожній точці ІРК. Для цього змінні певного модельного параметру (наводиться нижче) мають розглядатися в імовірнісній площині по екстену геологічного середовища, однак також такими, які детерміновані місцевою тектонікою. Відповідно, вони залежні від тектонічних зсувів та від регіональної геологічної невизначеності. Подібне теоретичне припущення повністю відповідає оптимальному поєднанню двох відомих складових геологічного моделювання – стохастичної та детерміністської. В практичній площині це подається концептуальною сутністю «ІРК+Пілар Грід», що і дозволяє, кінець кінцем, отримати адекватну остаточну модель родовища корисних копалин.

Інтегрована концептуальна сукупність «ІРК+Пілар Грід» є об'єктно-орієнтованою моделлю (ООМ), яка передбачає: 1) ієрархічну топологічну модель, і що поділяє весь даний екстент геологічного середовища на сукупність геооб'єктів; 2) надання в Декартовій системі координат геометричних властивостей тим геооб'єктам, що можуть бути визначені лише по загальній топології чарунок тривимірного «гріда», який заповнює даний екстент топологічного простору; 3) властивості кожної чарунки (осередку) 3D-«гріда», які описуються через числові вектори; 4) семантику локальних геомodelей, що можуть бути побудовані в межах даного екстену геологічного середовища, коли останній описується через сукупність «ІРК+Пілар Грід»; 5) кожна чарунка 3D-«гріда» повинна мати посилання БД первинних геологічних спостережень.

Таким чином, згідно викладеної концепції інтегрована модель включає в себе: 1) дані первинних спостережень та 2) геомodelі двох класів. Її найважливішою частиною є абстрактне цифрове подання певної частини геологічного середовища у вигляді ІРК. Останній може бути побудований через інтерпретацію та інтерполяцію даних первинних підповерхневих спостережень у певних реперних точках. Саме він – Імовірнісний Ресурсний Куб – поєднує дискретну і континуальну складові вказаної інтегрованої моделі. Виглядає доцільним використовувати концепцію ІРК остільки, оскільки об'єктивно існує поняття геологічної невизначеності [11]. Введення останньої обумовлено необхідністю застосування інтерпретаційно-інтерполяційної техніки через недолік інформації про геологічне середовище.

Концепція Імовірнісного Ресурсного кубу. Побудова ІРК за авторською концепцією узагальнюється через три наступні етапи (рис. 3-А-В) [1]. По-перше, створюється звичайна геологічна модель, побудована на підставі аналізу та інтерпретації даних первинних спостережень, як правило – на підставі петрофізичних та геофізичних даних (рис. 3-А).

По-друге, результативна модель складається із сукупності геологічних інтерфейсів (поверхонь розподілу сегментів геологічного середовища, що поєднують різні типи гірських порід і суттєво відрізняються своїми властивостями). Кожний з інтерфейсів має розглядатися як імовірнісне поле. Відповідно до наявної геологічної інформації та зрозумі-

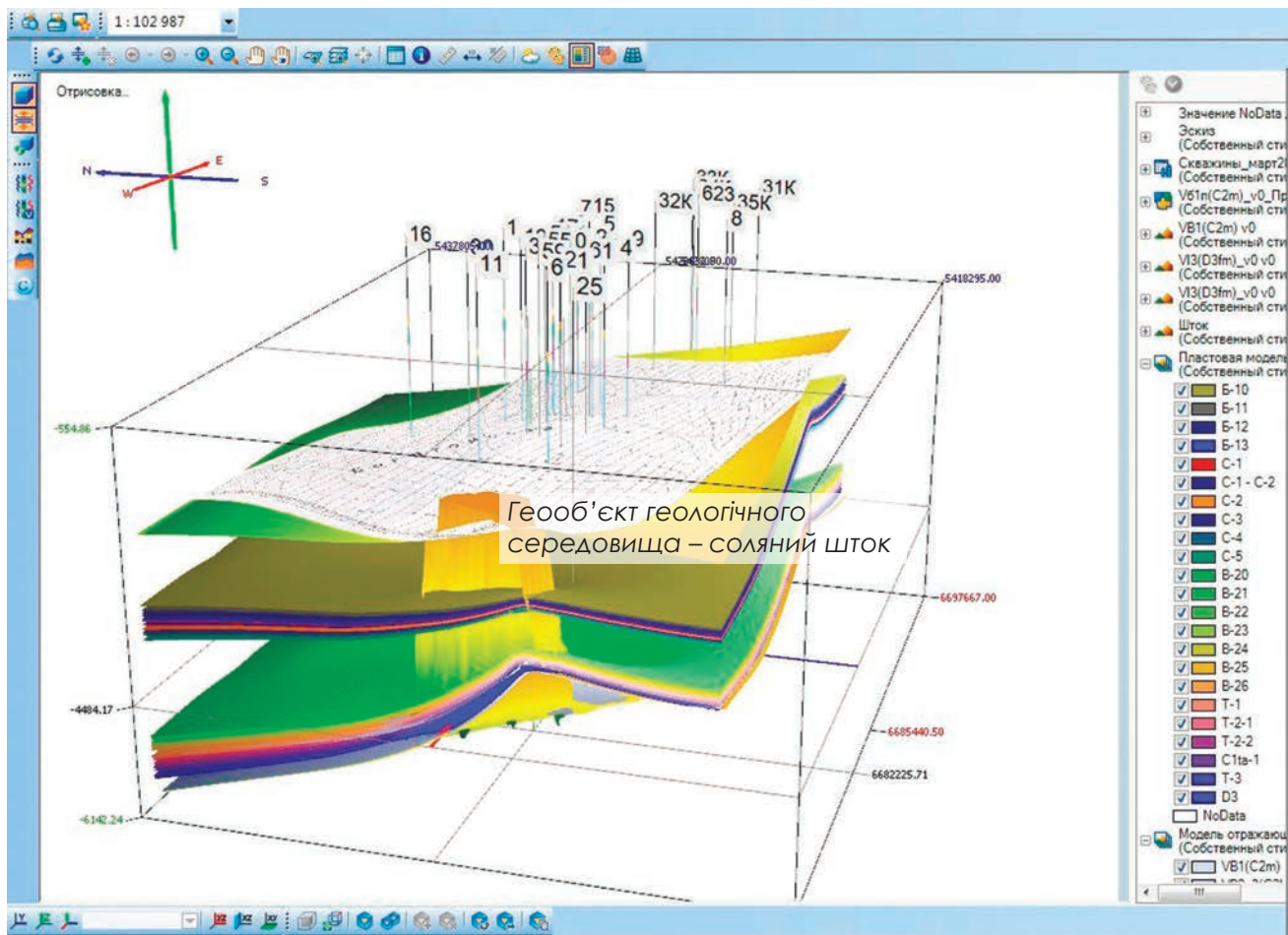


Рис. 1. Імовірнісний Ресурсний Куб Богатойського газоконденсатного родовища в KCGM WellGlance.

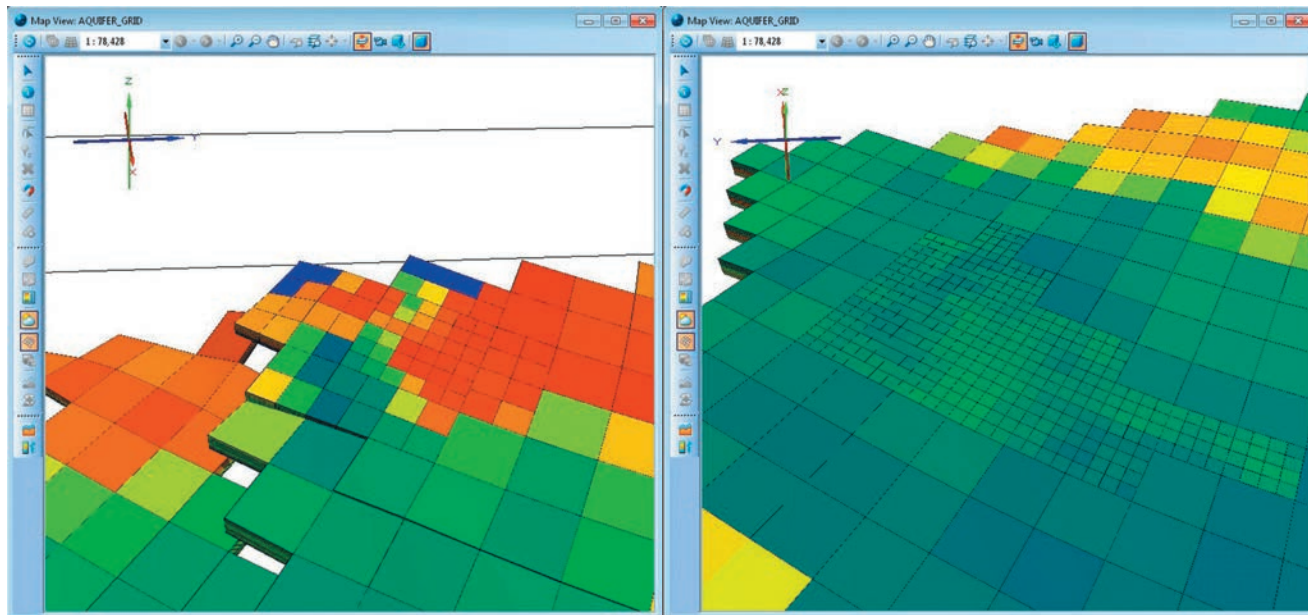


Рис. 2. Модель 3D-«ґрида» Богатойського газоконденсатного родовища в KCGM WellGlance: на рис. зліва – червоні чарунки дійсного газоносного покладу; на рис. справа – дрібна сітка чарунок (так званий, локальний «ґрид»), що відбиває перспективне розташування газоносного покладу.



Рис. 3. Графічне подання підходу до інтеграції – візуалізації просторово поширених геологічних даних [1, с. 66].

лих обмежень будується модель мінливості. Остання описує, як найкраща статистична гіпотеза відрізняється від дійсної картини в наборі комплексів гірських порід (опису геологічного середовища на підставі виключно емпіричних даних свердловин). Імовірнісні варіації групуються навколо найкращої статистичної гіпотези, і модель просторової мінливості (напів-варіограмна функція  $\gamma(h)$ ) відбиває, що невизначеності щодо геологічного середовища зростають по мірі того, як оціночний віддаляється від точок забору емпіричних даних – свердловин (рис. 3-Б).

По-третє, вже безпосередньо для ресурсного кубу мінливість кожного із згаданих геологічних інтерфейсів перераховується в імовірність, яка описує геологічний горизонт, розташований безпосередньо над ним і під ним. Значення імовірності корегуються через певні правила перетину, які регулюють геолого-тектонічну структуру і стратиграфічну послідовність в ресурсному кубі. На виході із моделювання по ІРК є набір послідовних імовірнісних полів, кожному з яких є притаманний певний тип гірських порід і певні властивості даного сегменту геологічного середовища (рис. 3-В).

Первинною інформацією для оцінки імовірності певного геологічного інтерфейсу є точкові значення вздовж свердловин в екстенції родовища корисних копалин (див. рис. 1). Модель “правильної стратиграфічної колонки” передбачає переважно вертикальний напрямок наявних свердловин. Важливо, щоб кожний геологічний інтерфейс перетинався достатньою кількістю свердловин. Інформація про матеріал, який ідентифікується вздовж свердловини, може бути не певним значенням імовірності, а дискретним показ-

ником (наприклад, “1” – є матеріал певного шару, “0” – немає матеріалу певного шару). Геологічні інтерфейси є базовими елементами в ІРК, і вони є межами різних типів гірських порід. У цьому відношенні треба визначати певне змінне значення, яке буде відповідати координаті  $Z$  кожного із геологічних інтерфейсів у кожній їхній точці  $(x, y)$ . Однак, слід мати на увазі, що для геологічного середовища, яке ускладнене стратиграфічними неузгодженнями і тектонічними структурами таке спрощене подання  $Z$ , як функції від  $(x, y)$ , скоріше за все не буде виглядати адекватним.

Тому для простого геологічного інтерфейсу третя координата  $Z$  приймається функцією від двох координат  $u, v$ , що враховують регіональну геологічну структуру (наприклад, координата  $u$  є паралельною вісі розламів, а координата  $v$  – перпендикулярна до неї). Таким чином, координата  $Z$  геологічного інтерфейсу є функцією координатного вектору  $U(u, v)$ , а згадане вище змінне значення по третій координаті  $n$ -го геологічного інтерфейсу ресурсного кубу можна записати як [1]:

$$IPKn \sim Z\{U(u, v)\} \quad (1)$$

Для адекватного опису геологічної невизначеності в кожній точці ІРК треба розглядати значення (1) в імовірнісній площині, а також і таким, що детерміноване місцевою тектонікою. Відповідно, це значення буде залежне від тектонічних зсувів та від регіональної геологічної невизначеності [11]. Подібне твердження поєднує два класи геомоделей, про що йшлося вище, і відповідає розумінню двох складових геологічного моделювання – детерміністської та стохастичної. Ми вже підкресливали вище, що в практичному аспекті ці дві складові відбиває модельна сукупність «ІРК+Пілар Грід».

На наступному кроці побудови даної сукупності модель мінливості (рис. 3-Б) оцінює можливі варіації навколо найкращої статистичної гіпотези. В рамках цієї моделі значення локального коливання  $\delta^2(U)$  в межах ІРК визначається як просторово-залежна дефініція. Типи гірських порід, що складають певний геологічний інтерфейс, є безперервними поверхнями з умовними границями. Така границя є розмитою та невизначеною, оскільки різні породи, ділянки яких, однак, будуть розташовані одна біля одної, зрозуміло, матимуть близькі властивості. Таким чином, можна встановити загальне правило для моделювання геологічного середовища через ІРК – чим менше відстань між ділянками різних типів порід геологічного інтерфейсу, тим ближче властивості цих порід. Звідси випливає, що із збільшенням відстані окремих ділянок геологічного інтерфейсу, від реперних точок бурових свердловин, точність геолого-пошукового прогнозу суттєво зменшується. В той саме час, очевидно, що значення  $\delta^2(U)$  імовірнісної функції  $Z\{U(u, v)\}$  буде дуже незначним на ділянках розташування свердловин, а також на ділянках безпосереднього сусідства з ними, і буде пропорційно збільшуватись по мірі віддалення від реперної точки свердловини.

Напівваріограмна функція  $\gamma(h)$  подає просторову мінливість як функцію відстані між місцеположеннями (див. рис. 3-В). Можна вважати, що напівваріограма подає просторову різницю між двома місцеположеннями як певний маршрут по геологічному інтерфейсу, що описується через геометричні і топологічні властивості геооб'єктів, які цей маршрут перетинають.

Враховуючи (1) імовірності ресурсного кубу, описують вірогідність знаходження певних типів гірських порід та певних властивостей геологічного середовища в його будь-якій точці. Імовірності, які описують появу різноманітних типів гірських порід, розраховуються для будь-якого блоку ресурсного кубу як для 3D-імовірнісного поля. Для кожного геологічного інтерфейсу прописуються свої вірогідні інтервали імовірності. Ширина вірогідного інтервалу і є мірою геологічної невизначеності, і тому може встановлювати довірчі місцеположення ділянок геологічного інтерфейсу, і такі ділянки, які є невизначеними.

Введення сукупності чарунок 3D-«ґріда» кутової точки (описується вище) в 3D-імовірнісне поле ресурсного кубу є єдиною необхід-

ною процедурою, яка уможливило дискретизацію цього поля. Остання, в свою чергу, в подальшому є єдиним можливим засобом виокремлення дискретних геооб'єктів по геологічним інтерфейсам ІРК (як, наприклад, виокремлення існуючих і перспективних газоконденсатних покладів в межах родовища – див. рис. 2).

Моделювання та візуалізація регіонального об'єкту дослідження. В українському підприємстві ІП «Геоклауд» на підставі програмного забезпечення WellGlance, в розробці якого автор статті приймав безпосередню участь, був створений проект Богатойського газоконденсатного родовища, розташованого в Московському районі Дніпропетровської області (див. рис. 1).

По-перше, спеціалізоване програмне забезпечення дозволяє узагальнювати дані різнопредметних досліджень, які проводилися в різний час на цьому родовищі. Наприклад, ми можемо візуалізувати сукупність стратиграфічних профілів, побудованих на всю глибину ресурсного кубу для визначення геохімічних властивостей родовища (рис. 4):

По-друге, ці профілі були співвіднесені із рельєфом видимої поверхні та зі свердловинами, після чого по даним сейсмічного зондування була побудована модель семи відбиваючих горизонтів. Отримані результати були сполучені з 1) пластовою моделлю родовища (тобто, з моделлю газоносних шарів) та з 2) візуалізованим геооб'єктом геологічного середовища – соляним штоком, який може виступати своєрідним «уловлювачем» вуглеводнів (див. рис. 2).

По-третє, на заключних етапах створення проекту від завдань інтеграції та візуалізації даних ми переходили безпосередньо до прогнозно-функціонального геологічного моделювання родовища. По буровим кернам свердловин і по геофізичній інформації створювався вихідний набір геологічних інтерфейсів ІРК для прогнозного моделювання (рис. 5). Кінець кінцем, створювалася модель колекторських властивостей родовища через ресурсні кубики відкритої та ефективною пористості, емпіричної і наведеної проникності, літології продуктивних шарів (рис. 6).

По-четверте, в програмному забезпеченні КСГМ WellGlance були послідовно побудовані: 1) карти композитних шарів колекторських властивостей продуктивних серпуховських і турнейських горизонтів родовища і

на цій підставі – 2) карти газогелогічного районування. Композитні карти колекторських властивостей співвідносилися з границею газоводяного контакту, лінією фаціального заміщення та з розрахованим на підставі досліджень (що передували нашому) контуром газоносності. На цій підставі контур газоносності був актуалізований, зокрема, по турнейському горизонту, а по поверхні створеного по цьому горизонту 3D-«Пілар-Гріда» були локалізовані перспективні ділянки закладання нових свердловин (рис. 7)

**Висновки.** В нашій статті окремо підкреслюється, що значне збільшення обсягів геологічної інформації в цифровому форматі та необхідність створення детальних 3D моделей регіональних сегментів геологічного середовища спричиняють нові вимоги щодо збереження, обробки і аналізу релевантних

даних. Ключовим положенням тут буде адекватне адаптування тривимірних моделей середовища до модулів (plug-ins – англ.) 3D-моделювання певної ПС-платформи. Розробка спеціалізованого геоінформаційного програмного забезпечення в предметній галузі геології, пошуку, розвідці та експлуатації родовищ корисних копалин має бути спрямована на інтеграцію різноманітних первинних та похідних даних із наступним моделюванням, аналізом та візуалізацією проміжних або кінцевих результатів. Модельна сукупність «Імовірнісний Ресурсний Куб + Pillar Grid» може бути застосована в системах підтримки прийняття рішень щодо експлуатації родовищ корисних копалин вуглеводнів.

*Рецензент: кандидат технічних наук,  
доцент І. В. Удалов*

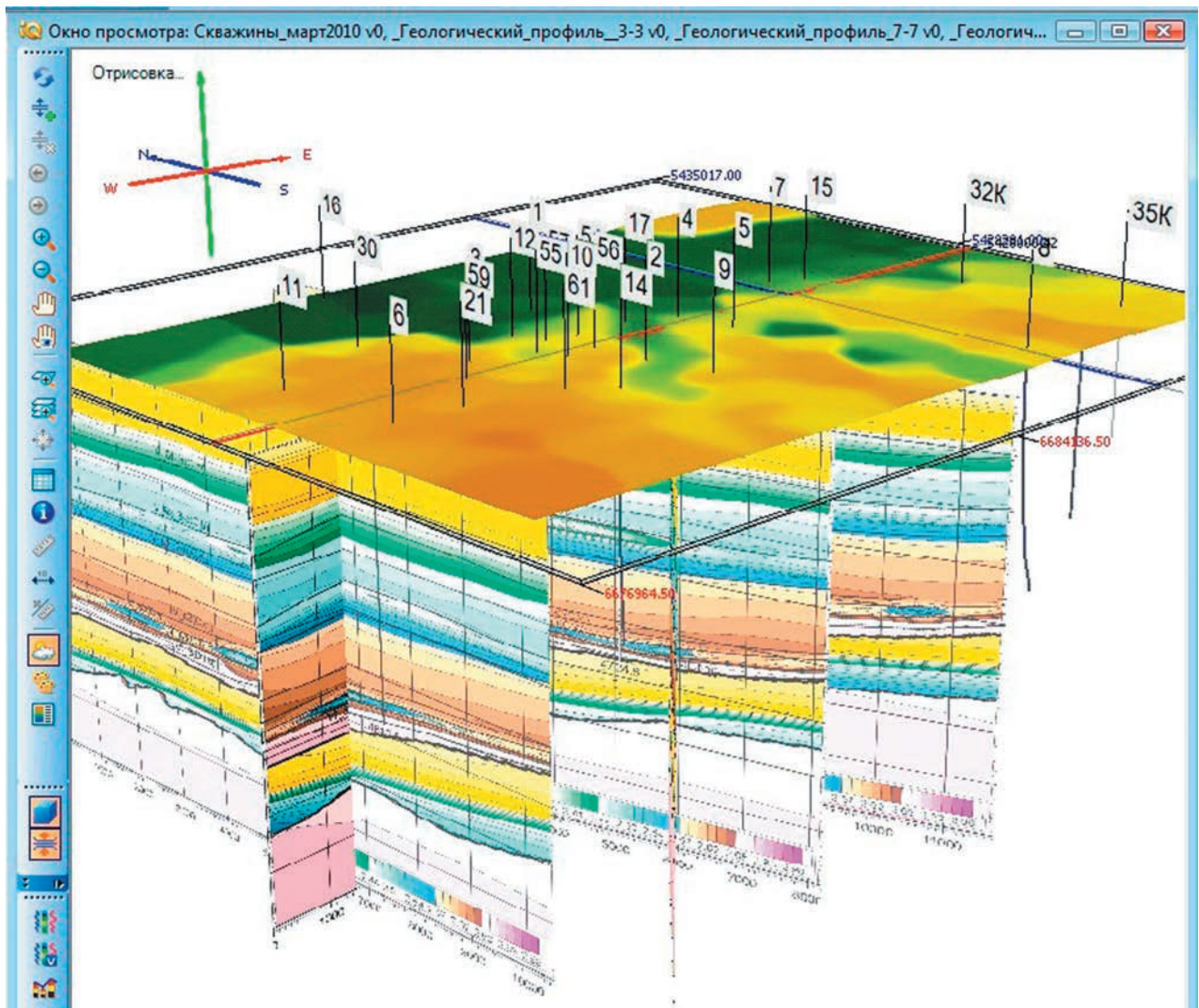


Рис. 4. Візуалізація стратиграфічних профілів, побудованих на всю глибину ІРК для визначення геощільнісних властивостей родовища.



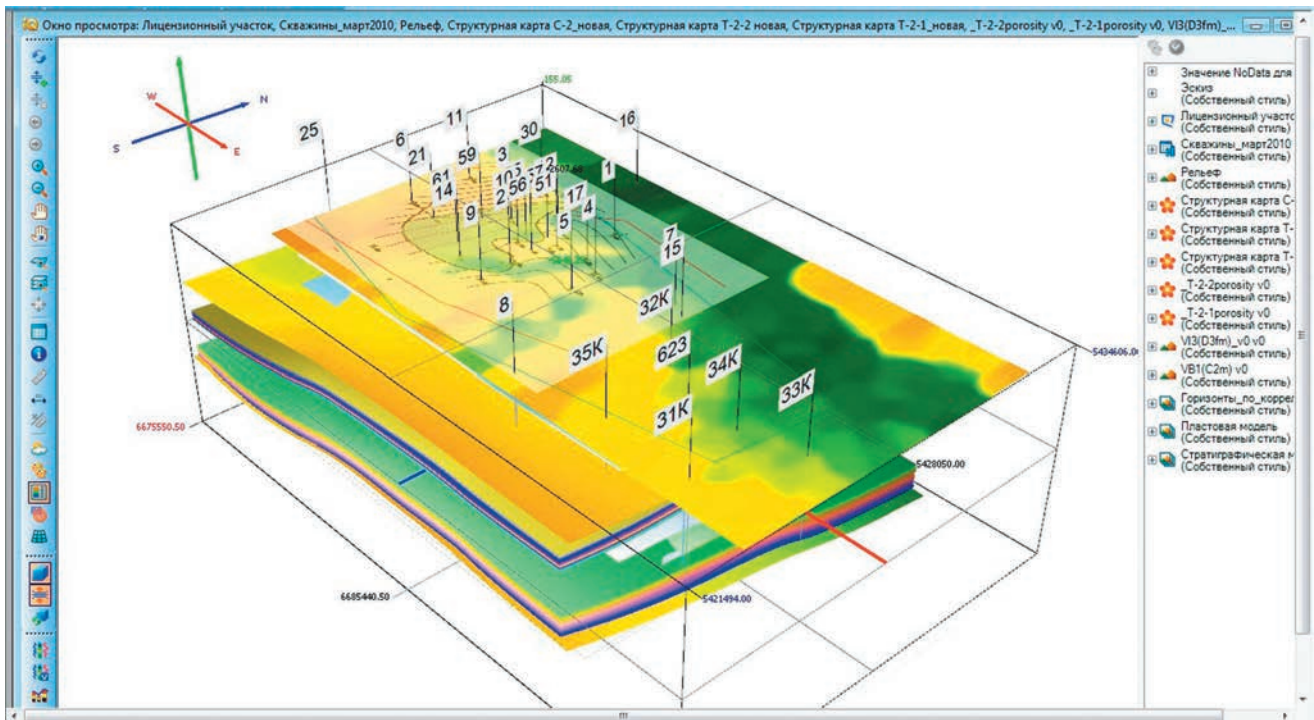


Рис. 5. Вихідний набір геологічних інтерфейсів ІРК та видима поверхня для прогнозного моделювання по Боготойському газоконденсатному родовищу.

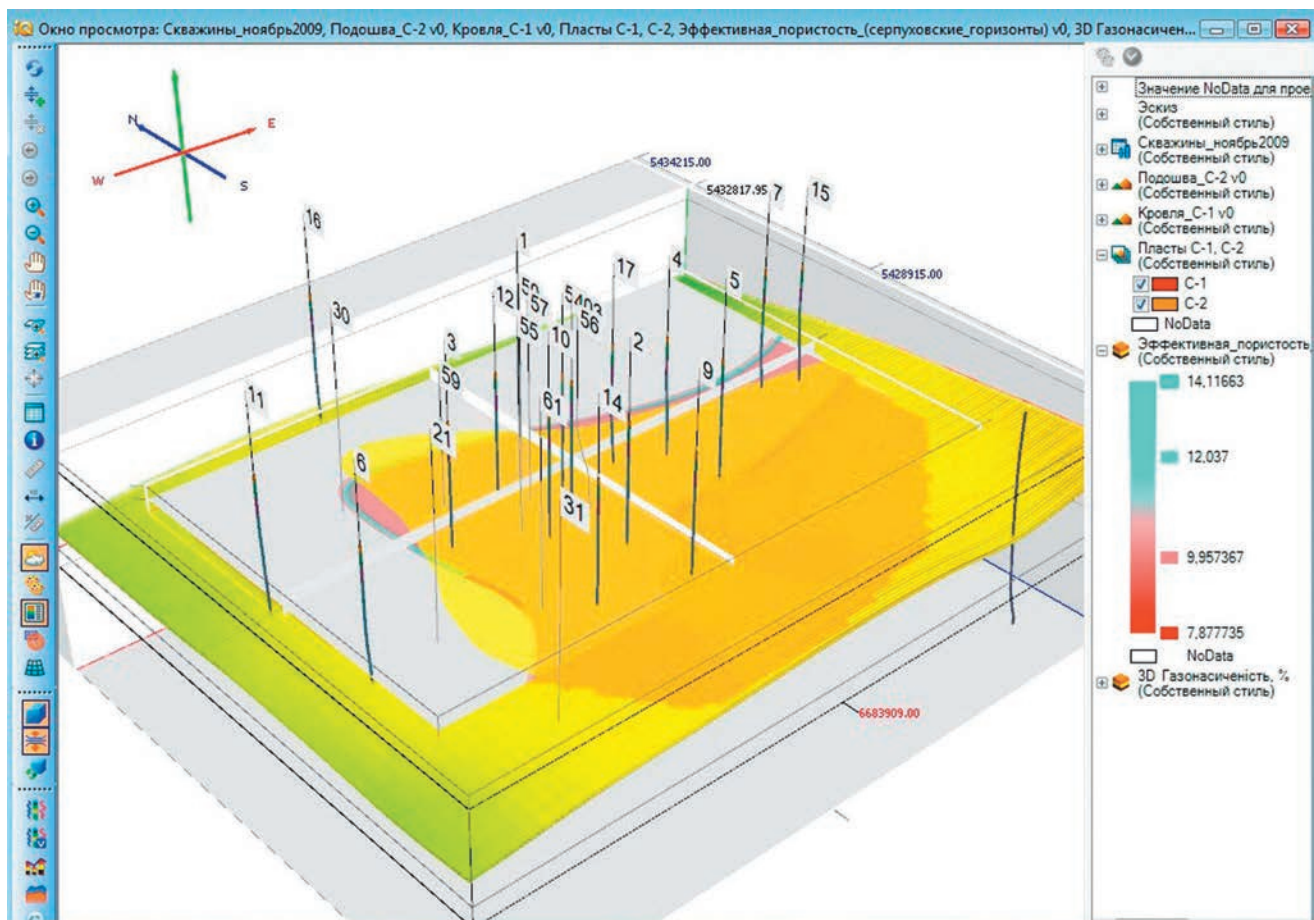


Рис. 6. Модель колекторських властивостей Боготойського родовища: високі значення ефективної пористості (блакитний колір в легенді) мають відбивати найбільш продуктивні поклади.

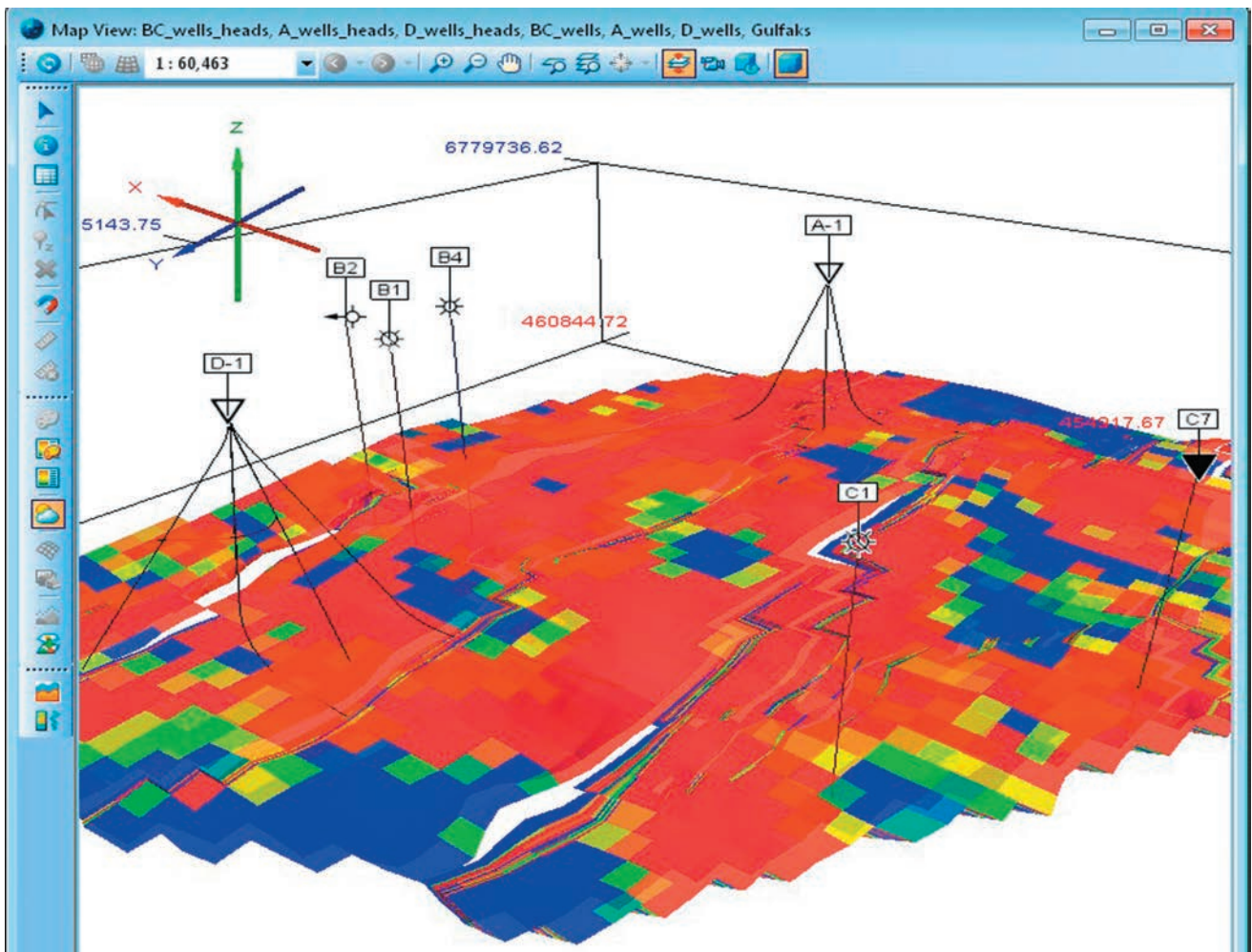


Рис. 7. Локалізація по поверхні 3-D-«Пілар-Гріда», що відповідає турнейському горизонту родовища, перспективних ділянок закладення нових свердловин (червоний колір відбиває контур газоносності).

#### Література:

1. Костріков С. В. Досвід ГІС-моделювання і візуалізації системи свердловин та геологічного середовища (на прикладі Грем'ячинського родовища калійних солей)/С. В. Костріков. – Геоінформатика. – 2009. – № 2. – С. 64–70.
2. Костріков С. В., Черваньов І. Г., Спиця Р. О. Застосування ГІС-технологій для морфоструктурно-неотектонічних досліджень/С. В. Костріков С. В., І. Г. Черваньов, Р. О. Спиця//Морфоструктурно-неотектонічний аналіз території України. Наукова монографія – Київ: Наукова думка, 2013. – С. 119–136.
3. Костріков С. В. Геоінформаційне моделювання природно-антропогенного довкілля. Наукова монографія/С. В. Костріков//Харків: Вид-во ХНУ ім. В. Н. Каразіна. – 2014. – 484 с.
4. Сашин А. В. Методическое руководство построения и оформления структурных карт, схем корреляций, геологических разрезов в программном пакете Petrel компании Schlumberge/А. В. Сашин. – Лукойл – нефтяная компания. Главное управление по геологии и разработке. Фондовые материалы. – М., 2009. – 57 с.
5. Apel M. From 3d geomodelling systems towards 3d geoscience information systems: data model, query functionality, and data management/M. Apel//Computers & Geoscience. – 2006. – V. 32. – P. 222–229.
6. Brodaric B., Gahegan M., Harrap R. The art and science of mapping: computing geological categories from field data/B. Brodaric, M. Gahegan, R. Harrap//Computers & Geosciences – 2004. – V. 30. – n. 7. – P. 719–740.
7. Lees J. M. Geotouch: software for three and four dimensional GIS in the earth sciences/J. M. Lees//Computers & Geosciences. – 2000. – Vol. 26. – No. 7. – P. 751–761.
8. Mallet J.-I. Geomodelling/J.-I. Mallet. – London-NY: Oxford University Press, 2002. – 624 p.
9. Schlumberge Information Solutions. Курс Перпель по моделированию свойств. – v. 2012 (вып. 1). Перевод на русский язык компании Лукойл. – М., 2012. – 126 с.
10. Schlumberge Information Solutions. Petrel E&P Software Platform – 2014. – Електронний ресурс. Режим доступу: [http://www.software.slb.com/products/platform/Pages]
11. Tacher L., Parriaux A. Calcul et représentation de l'incertitude associée aux modèles géologiques/L. Tacher, A. Parriaux.– Colloque Modélisation du sous-sol, Ecole des Mines, Paris, February 3–4, 1997, documents du BRGM. – 1997. – Vol. 274. – P. 108–111.