

ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 553.98:(550.81+528.77):004.93

**М.О. ПОПОВ, С.А. СТАНКЕВИЧ,
М.В. ТОПОЛЬНИЦЬКИЙ, О.В. ТИТАРЕНКО**

ІНТЕГРАЦІЯ ДИСТАНЦІЙНИХ ТА ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНИХ ДАНИХ ПРИ ПОШУКАХ ПОКЛАДІВ НАФТИ ТА ГАЗУ НА СУХОДОЛІ

***Анотація.** У статті розглянуто удосконалені методи інтеграції та спільного оброблення багатовимірних гетерогенних геопросторових даних (дистанційного зондування Землі, геологічних та геофізичних) для пошуку нафтогазоперспективних ділянок на суходолі.*

***Ключові слова:** інтеграція даних, гетерогенні геопросторові дані, нафтогазоперспективність.*

Вступ

Незважаючи на зміну цінової політики на світових ринках енергоносіїв, забезпечення енергетичних потреб держави є вкрай пріоритетним завданням сьогодення. Одним з важливих шляхів розв'язання зазначеної проблеми є пошук і розробка нових родовищ вуглеводнів.

Зараз накопичено значні обсяги різноманітної інформації – матеріали та продукти дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), геологічні та геофізичні дані тощо – про нафтогазоперспективні території України, що можуть забезпечити це.

Проте, великі об'єми даних, які отримуються від різних інформаційних джерел, з одного боку, доповнюють один одного, а з іншого, вимагають наявності адаптованого і гнучкого науково-методичного апарату їх інтеграції та сумісного оброблення.

Сьогодні існує багато підходів до виконання інтеграції гетерогенних геопросторових даних – статистичні моделі [1, 2], моделі, що поширюють теорію імовірностей [3, 4], теорія можливостей [5], теорія свідчень Демпстера – Шейфера [6, 7].

В даній роботі удосконалено дві базові моделі інтеграції геопросторових даних – модель Демпстера – Шейфера та Байєсівська модель.

Інтеграція дистанційних та геолого-геофізичних даних за удосконаленою моделлю Демпстера – Шейфера

В рамках теорії свідчень Демпстером було запропоновано комбінаційне правило. Відповідно до нього, кінцевий результат-свідчення виводиться на основі поєднання вхідних свідчень. Це правило є комутативним, асоціативним, але не ідемпотентним або безперервним. Отже, така операція дасть нелогічні результати в умовах значного конфлікту між джерелами інформації. Тому зазначене правило потребує певного переосмислення та вдосконалення. Для вирішення цього питання запропоновано новий метод інтегрування даних від різних інформаційних джерел. Суть його полягає в урахуванні мір корельованості і узгодженості гіпотез та конфліктності інформаційних джерел. Послідовність кроків запропонованого методу показано на рис. 1.

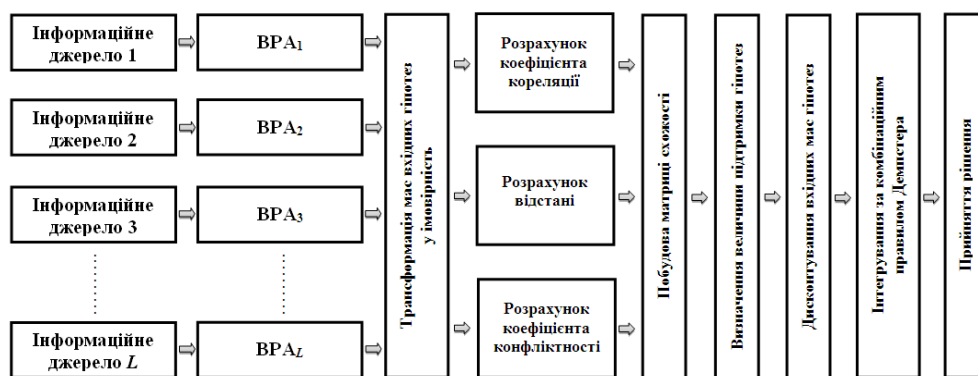


Рис. 1 – Структурно-логічна схема запропонованого методу

Метод тестувався на прикладі інтегрування дистанційних та геолого-геофізичних даних для Липоводолінського родовища на предмет пошуку вуглеводнів. Загальна кількість інформаційних шарів складала 18 одиниць.

Були застосовані два методи – класичний метод Демпстера – Шейфера та метод, що запропонований.

Під час застосування класичного методу Демпстера – Шейфера були використані усі 18 інформаційних шарів та апріорні дані – результати геологорозвідки, які у подальшому використовувались для побудови (формування) відповідних гіпотез. Результат застосування класичного методу наведений на рис. 2. З його аналізу видно, що для значної площі родовища значення функції довіри складає 0. Це пов'язано, в першу чергу, з тим, що класичне комбінаційне правило Демпстера не завжди адекватно комбінує суперечливі свідчення, особливо в тих випадках, коли їх маса дорівнює 0.

Під час застосування методу, що запропонований, були використані 9 інформаційних шарів.

Результат застосування запропонованого методу наведений на рис. 3. З його аналізу видно, що уся площа родовища класифікована на предмет наявності вуглеводнів. Крім того, під час побудови зазначеної карти була проведена ймовірнісна трансформація інтегрованих даних для визначення точкової оцінки відповідних гіпотез, яка знаходиться між значенням функції

довіри та правдоподібності. Тобто метод, який запропонований, позбавлений недоліків, що характерні для комбінаційного правила Демпстера, та дозволяє перейти від інтервальної оцінки до точкової.

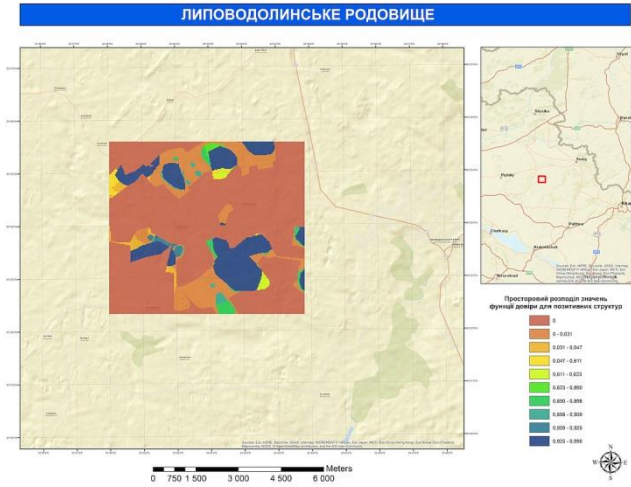


Рис. 2 – Результат застосування класичного методу Демпстера – Шейфера для Липоводолинського родовища

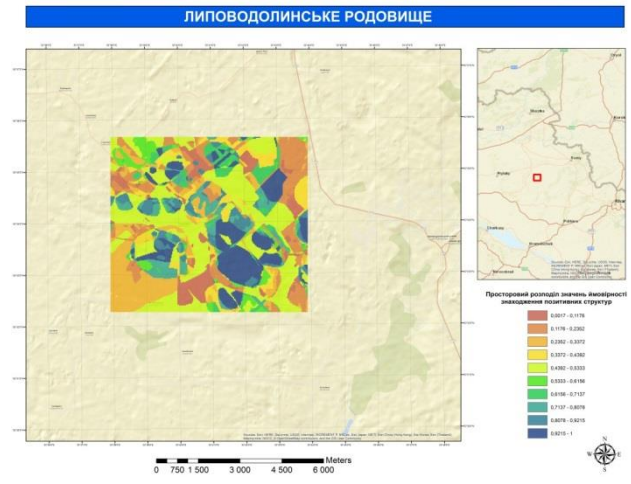


Рис. 3 – Результат застосування запропонованого методу для Липоводолинського родовища

Інтеграція дистанційних та геолого-геофізичних даних за удосконаленою моделлю Байєса

Класична модель Байєса застосовується при картографуванні нафтогазоперспективних ділянок на основі гіперкубу дистанційних та геолого-геофізичних даних [8]. За нею розраховуються апостеріорні імовірності належності растрових елементів гіперкубу позитивному еталону, яким вважаються просторова околиця продуктивних розвідувальних свердловин [9]. Необхідні для цього розподіли значень апріорних та умовних

ймовірностей елементів гіперкубу оцінюються заздалегідь визначеними позитивними та негативними просторовими еталонами.

Апостеріорна імовірність позитивного еталона для поточного елемента гіперкубу даних оцінюється за правилом Байєса [10].

Оцінювання умовних ймовірностей гіпотез здійснюється за різноманітними статистичними моделями, наприклад, на основі інформаційної дивергенції або статистичної метрики Бхаттачарія між елементами гіперкубу [11].

Щільності розподілів радіометричних значень сигналів в позитивних та негативних еталонах може бути оцінено за відповідними гістограмами гіперкубу даних. Інформаційна дивергенція та відстань Бхаттачарія дозволяють обчислити необхідні умовні імовірності еталонів в кожному елементі гіперкубу [12].

Безпосередню обробку гіперкубу даних суттєво ускладнює наявність шарів даних логічного (Булевського) типу – геологічні розломи, бінарні аномалії тощо. В цьому разі оцінки інформаційної дивергенції або інших статистичних метрик часто виявляються виродженими, і тому обчислити умовні імовірності не вдається. З іншого боку, шари Булевських даних є математичною ідеалізацією розподілу реальних фізичних параметрів із своїми статистичними законами, які можливо оцінити за гістограмами навчальних вибірок. Отже, при практичному використанні гіперкубів даних із окремими Булевськими шарами класична Байєсівська модель потребує попередньої передобробки вхідних даних з метою запобігання виродженню оцінок умовних ймовірностей. Для цього існує декілька шляхів: штучне розмиття бінарних даних, просторова інтерполяція, евристична трансформація та інші. В нашому випадку було застосовано попередню оцінку статистичних характеристик імовірнісних розподілів з відповідною корекцією вхідних даних перед виконанням інтеграції.

Байєсівську інтеграцію дистанційних і геолого-геофізичних даних за удосконаленими моделями інформаційної дивергенції та статистичної метрики Бхаттачарія виконано на гіперкубі з 18 шарів даних, як і в попередній частині (рис. 2, рис. 3). Результати показано на рис. 4 і рис. 5.

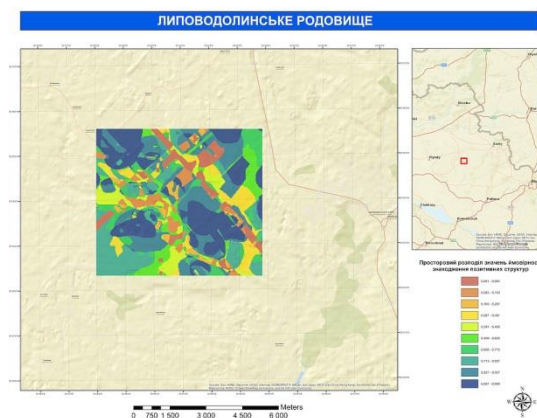


Рис. 4 – Результат застосування Байєсівської інтеграції даних на основі інформаційної дивергенції для Липоводолінського родовища

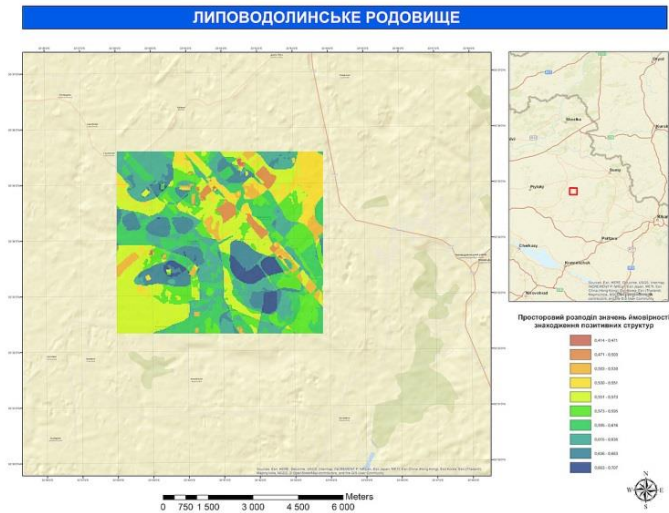


Рис. 5 – Результат застосування Байєсівської інтеграції даних на основі статистичної метрики Бхаттачарія для Липоводолінського родовища

Геологічна інтерпретація отриманих результатів інтеграції даних для Липоводолінського родовища

Дослідження інтеграції дистанційних та геолого-геофізичних даних при пошуках покладів нафти та газу проводилося на Липоводолінському нафтогазоконденсатному родовищі. Воно в тектонічному відношенні знаходиться в західній частині приосьової зони Дніпровсько-Донецької западини і входить до складу Артюхівсько-Липоводолінського валу [13].

В геоморфологічному відношенні площа Липоводолінської нафтогазоносної структури розташована на правобережжі р. Хорол в межах Новохарківської неогенової тераси [14]. Склепіння структури підкреслюється дискордантним закладанням правостороннього притоку-балки р. Хорол, верхів'я якої розгалужується, охоплюючи припіднятий блок рельєфу в межах склепіння структури з обох боків, що підкреслюється площинним зливом поверхневих ґрунтів з площини блоку та свідчить про його неотектонічну активність. Схожий по активності блок спостерігається північно-західніше свердловини № 9, від якої він відділений лінеamentом. Можливо, тут слід очікувати структурне ускладнення у відкладах нижнього карбону.

З метою уточнення геологічної будови Липоводолінського нафтогазового родовища було застосовано дешифрування багатоспектральних космічних знімків, з виділенням лінеamentів та їх зон. Космічна радарна топографічна зйомка SRTM дозволила побудувати схему морфотектоізогіпс та виділити крупні неотектонічні блоки. Всі результати зведено до єдиної схеми структурно-геоморфологічних досліджень (рис. 6).

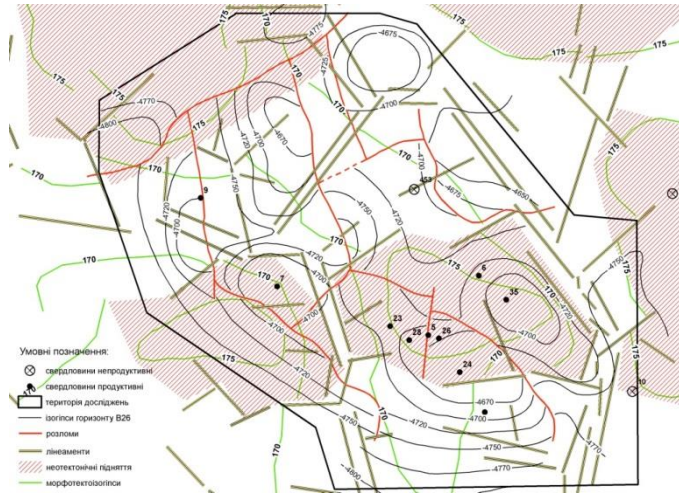


Рис. 6 – Липоводолінське нафтогазоносне родовище. Дані структурно-геоморфологічних досліджень для подальшої інтеграції

Застосування класичного методу Демпстера – Шейфера для прогнозування нафтогазоносності на території Липоводолінського родовища (рис. 2) призводить до нульових значень функції довіри для більшості території. Із 10 відомих свердловин 3 знаходяться на цій території, тобто їх вплив не було враховано. Складається враження, що високу оцінку отримали тільки неотектонічні підняття.

Результатом аналізу нафтогазоносності за допомогою запропонованого методу інтеграції геопросторових даних з урахуванням корельованості і узгодженості гіпотез та конфліктності інформаційних джерел є карта розподілу вихідної імовірності, за якою можна дати комплексну оцінку нафтогазоперспективності досліджуваної площі (див. рис. 3). Слід звернути увагу, що використання цього методу краще підкреслює блокову неоднорідність родовища, що підтверджено геологічними уявленнями. Крім того, непродуктивні свердловини № 10, № 453 віднесено до низької прогнозної вірогідності 20 та 40% відповідно, а продуктивні свердловини № 9, № 23, № 24, № 26, № 28 – до прогнозної вірогідності 90%, № 7 та 8 – до 80%.

Результат застосування Байєсівської інтеграції даних на основі інформаційної дивергенції для Липоводолінського родовища представлено на рис. 4. Територія, яка розташована на північний захід від родовища потребує подальшого вивчення. Ділянка в центрі родовища в районі продуктивних свердловин № 8, № 23, № 24, № 26, № 28 виявлена як найбільш вірогідна (> 80%), свердловина № 453 (розташована в цій самій зоні) – непродуктивна скоріше за все тому, що вона попадає на перетин зон лінеаментів та знаходиться поблизу розлому (див. рис. 6). Непродуктивна свердловина № 10 розташована в зоні 20% ймовірності нафтогазоперспективності. Як перспективні та потребуючі додаткових досліджень можна визначити дві ділянки: перша – у північно-східному районі дослідження (60–80% імовірності) та ділянка біля свердловини № 7 (> 80%).

Карта імовірності нафтогазоперспективних ділянок, отримана методом застосування Байєсівської інтеграції даних на основі статистичної метрики Бхаттачарія (рис. 5), близька за результатами, отриманими попереднім

методом. Вона також підкреслює роздрібненість території родовища. Але непродуктивні свердловини № 10, № 453 розташовані в зоні імовірностей нафтогазоперспективності 50–60%. Слід відмітити, що усі продуктивні свердловини знаходяться на ділянках високої імовірності нафтогазоносності.

Висновки

Отже, було проведено інтеграцію дистанційних та геолого-геофізичних даних при пошуках покладів нафти та газу на території Липоводолинського нафтогазоконденсатного родовища за моделями на основі:

- класичної теорії Демпстера – Шейфера;
- удосконаленої моделі Демпстера – Шейфера з урахуванням корельованості/узгодженості гіпотез та конфліктності інформаційних джерел;
- Байєсівського злиття даних за метрикою інформаційної дивергенції;
- Байєсівського злиття даних за статистичною метрикою Бхаттачарія.

Найбільш інформативним результатом з точки зору геологічної інтерпретації видається Байєсівська інтеграція даних за статистичною метрикою Бхаттачарія.

Подальші дослідження варто спрямувати на розроблення нових, більш інтелектуальних моделей інтеграції дистанційних та геолого-геофізичних даних, які враховували б взаємозв'язки та взаємообумовленість між шарами даних різної геологічної природи та раніше накопичений досвід практичних нафтогазопошукових робіт на суходолі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Cowell R.G. Probabilistic Networks and Expert Systems / R.G. Cowell, P. Dawid, S.L. Lauritzen, D.J. Spiegelhalter. – N.Y.: Springer, 1999. – 324 p.
2. Wally P. Statistical reasoning with imprecise probabilities / P. Wally. – L.: Chapman and Hall, 1991. – 706 p.
3. Кузнецов В.П. Интервальные статистические модели / В.П. Кузнецов. – М.: Радио и связь, 1991. – 352 с.
4. Hall D.L. Human-centered information fusion / D.L. Hall, J.M. Jordan. – Boston: Artech House, 2010. – 296 p.
5. Dubois D. Possibility theory, probability theory and multiple-valued logics: A clarification / D. Dubois, H. Prade // *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 2001. – Vol. 32. – No. 1. – P. 35–66.
6. Shafer G. A mathematical theory of evidence / G. Shafer. – Princeton: Princeton University Press, 1976. – 297 p.
7. Yager R.R. On the Dempster-Shafer framework and new combination rules / R.R. Yager // *Information Sciences*, 1987. – Vol. 41. – No. 2. – P. 93–137.
8. Попов М.А. Принципы геоинформационного обеспечения задач дистанционного поиска полезных ископаемых / М.А. Попов, С.А. Станкевич, С.Ю. Марков, А.В. Зайцев, М.В. Топольницкий, О.В. Титаренко // *Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского*. – 2012. – Т. 25(64). – № 1. – С. 177–190.
9. Станкевич С.А. Интегрування гетерогенної просторової інформації при вирішенні нафтогазопошукових задач / С.А. Станкевич, М.О. Попов, О.В. Зайцев, С.Ю. Марков, Е.Б. Кудашев, О.П. Дишлик // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, 2012. – Вип. 2(24). – С. 105–110.

10. Gelman A. Bayesian Data Analysis / A. Gelman, J.B. Carlin, H.S. Stern, D.B. Rubin. – New York: Chapman & Hall, 2000. – 670 p.
11. Станкевич С.А. Методика картирования границ залежей углеводородов с использованием данных дистанционного зондирования / С.А. Станкевич, О.В. Титаренко // Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса / Под ред. В.Г. Бондура. – М.: Научный мир, 2012. – С. 425–430.
12. Попов М.А. Интеграция гетерогенной пространственной информации для решения задач поиска нефти и газа / М.А. Попов, С.А. Станкевич, С.Ю. Марков, А.В. Зайцев, Е.Б. Кудашев // Электронные библиотеки, 2013. – Т.16. – Вып. 2. – <http://www.elbib.ru/rus/journal/2013/part2/PSMZK>
13. Атлас родовищ нафти і газу України / За ред. М.М. Іванюти, В.О. Федішина, Б.І. Денєги, Ю.О. Арсірія, Я.Г. Лазарука. – Т. 1: Східний нафтогазоносний район. – Львів: УНГА, 1998. – С. 273–282.
14. Дудніков М. Перспективи нафтогазоносності Південно-Східної частини Дніпровсько-Донецької западини / М. Дудніков // Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Геологія, 2012. – Вип. 58.– С. 36–40.

Стаття надійшла до редакції 05.04.2017