



ISSN 2411-6602 (Online)

ISSN 1607-2855 (Print)

Том 12 • № 2 • 2016 С. 137 – 141

УДК 550.813 : 553.98(477.6)

Методика прогнозування структурно-тектонічних піднять за матеріалами дистанційного зондування Землі

І.В. Тішаєв, В.І. Зацерковний*, К.П. Ягорлицька

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

В статті розглянуто підхід щодо застосування методів класифікації даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для розв'язку задач пошукової геології і геофізики. Інформація, яка отримується за допомогою матеріалів дистанційного зондування (МДЗ), дозволяє уточнювати структурну будову досліджуваних площ та виявляти неотектонічні підняття, які є певними індикаторами перспективних на вуглеводні (ВВ) ділянки. Доцільність залучення методів класифікації даних ДЗЗ ґрунтується на зв'язку глибинної будови надр (структурно-тектонічної ситуації) з сучасним рельєфом, характером гідромережі, геоморфологічних, геоботаничних та іншими ознаками. Перевага класифікатора Байєса полягає не тільки у визначенні належності об'єкту до певного класу, але і в обчисленні ймовірності такої приналежності. Це дає можливість для поставленої задачі на основі формалізованого кількісного критерію спрогнозувати наявність структурно-тектонічних піднять, потенційно перспективних на вміст вуглеводнів.

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ ПОДНЯТИЙ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ, Тишаев И.В., Зацерковный В.И., Ягорлицкая К.П. — В статье рассмотрен подход к использованию методов классификации данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для решения задач поисковой геологии и геофизики. Информация, которая получается с помощью материалов дистанционного зондирования (МДЗ), дает возможность уточнять структурное строение исследуемых площадей и определять неотектонические поднятия, которые выступают определенными индикаторами перспективных на углеводороды (УВ) участки. Целесообразность использования методов классификации данных ДЗЗ основывается на связи глубинного строения недр (структурно-тектонической ситуации) с современным рельефом, характером гидрологической сети, геоморфологических, геоботанических и других признаков. Преимущество классификатора Байеса состоит не только в определении принадлежности объекта к определенному классу, но и в расчете вероятности такой принадлежности. Это дает возможность для поставленной задачи на основании формализованного количественного критерия спрогнозировать наличие структурно-тектонических поднятий, потенциально перспективных на содержание углеводородов.

A TECHNIQUE OF THE STRUCTURAL-TECTONIC ELEVATIONS PREDICTION USING EARTH REMOTE SENSING DATA, by Tishae I.V., Zatserkovnyi V.I., Yagorlytska K.P. — We consider an approach of using methods of Earth remote sensing data (RSD) classification for solving tasks of exploration geology and geophysics. Information obtained from the remote sensing data gives a possibility to clarify the structure of investigated areas and to determine neotectonic elevations, which act as certain indicators of promising areas with hydra-carbons contents. Reasonability of using such methods of RSD classification is based on connection between deep structure of surface resources (structural-tectonic setting) with current landscape, character of hydrologic network, geo-morphological, geo-botanical and other features. The advantage of Bayes classifier is not only in determination of object belonging to certain class, but also in calculation of probability of such belonging. For the formulated task this lets to forecast a presence of structural-tectonic elevations, which are potentially promising areas for hydra-carbons contents, using a formalized quantitative criterion. contents.

Ключевые слова: материалы дистанционного зондирования (МДЗ); геоинформационные системы (ГИС); неотектонические поднятия, углеводороды; методы классификации.

Key words: remote sensing materials (RSM); geo-information systems (GIS); neotectonic elevations; hydra-carbons; classification methods.

1. ВСТУП

Незважаючи на неодноразові спроби “диверсифікації”, нафтогазова промисловість була і залишається основою енергетичного забезпечення сучасної цивілізації. Задачі пошуку і видобутку вуглеводнів змушують освоювати все більш глибокі шари земної кори. Як наслідок, зростають витрати і ризики в процесі видобутку.

Інтенсифікувати геологорозвідувальні вишукування вуглеводнів, знизити її вартість при одночасному скороченні строків виконання робіт можна шляхом впровадження матеріалів дистанційного зондування (МДЗ).

У зв'язку з цим актуальною є задача використання технологій ГІС і ДЗЗ [1, 2] з метою зниження собівартості в задачах пошуку потенційно-перспективних на вуглеводні геологічних структурних форм при одночасному скороченні термінів їх виконання. Безумовно, технології ГІС і ДЗЗ не можуть замінити

* Зацерковний Віталій Іванович; ✉ zvigis@mail.ru

наземні геологічні і геофізичні вишукування, проте при ландшафтному картографуванні у ГІС, аналізі активності екзогенних процесів за допомогою МДЗ, дослідженні рельєфу місцевості можна не тільки скоротити вартість польових досліджень, але й отримати більш точну і об'єктивну картину місцевості і спрогнозувати структурно-тектонічні підняття.

Інформація, яка отримується за допомогою МДЗ дозволяє уточнювати структурну будову досліджуваних площ та виявляти неотектонічні підняття, які є певними індикаторами перспективних на вуглеводні (ВВ) ділянки.

МДЗ характеризують такі важливі властивості [2]:

- доступність;
- оперативність, можливість створення сервісів оперативного моніторингу;
- достовірність і актуальність одержуваної інформації;
- однаковість отримуваної інформації;
- висока просторова точність вихідних даних і результатів їх обробки;
- широкий спектр технічних характеристик, які дозволяють вибирати найбільш оптимальні дані для розв'язку конкретної задачі;
- широке охоплення, тобто можливість аналізу крупних за площею територій;
- можливість одержання інформації на віддалені і важкодоступні території без тотального польового або аерофізичного обстеження [2].

2. АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

Актуальність роботи визначається потребами розширення сировинної бази енергоносіїв для забезпечення ефективного розвитку економіки України, а також необхідністю впровадження сучасних інформаційних технологій, пов'язаних з пошуком і освоєнням нафтогазових родовищ.

Об'єкт дослідження — нафтогазова галузь України та підвищення ефективності діяльності підприємств галузі, використовуючи можливості геоінформаційних технологій та ДЗЗ.

Предмет дослідження — непрямі і прямі ознаки дешифрування нафтогазових родовищ.

Метою дослідження є аналіз використання МДЗ Землі та геоінформаційних технологій в нафтогазовій галузі.

3. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Методики використання даних дистанційного зондування Землі під час розв'язання різноманітних геологознімальних, геологорозвідувальних і геологопошукових завдань досліджували українські та закордонні науковці (Азімов О.Т., Аксьонов А.А., Апостолов О.А., Архипов О.І., Воробйов В.Т., Воронова Г.І., Цветков В.Я., Михайлов А.В., Михайлов С.І., Карпенко О.М., Ніколаєнко Б.А., Сабліна І.Ю., Савіних В.П., Шуваєва М.К.). У розвитку ландшафтно-індикаційного метода дешифрування МДЗ стосовно до пошуків нафтогазоносних структур велика роль належить Астахову В.І., Башилову В.І., Гололобову Ю.М., Кірсанову А.А., Можаяєву Б.М., Можаяєвій В.Г., Смирновій І.О. та ін.

4. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Сучасні способи обробки даних МДЗ та ГІС, такі як автоматизовані класифікації, лінеаментний аналіз, 3D-моделювання дозволяють одержувати картографічні матеріали, що відбивають розподіл різних об'єктів і явищ на земній поверхні. Ці матеріали можуть бути використані для подальшого просторового аналізу і картографічного наповнення геопорталів, які в свою чергу є найважливішою частиною галузевих інформаційних систем і джерелом інформації для прийняття управлінських рішень.

Доцільність залучення методів класифікації даних ДЗЗ для розв'язку задач пошукової геології і геофізики ґрунтується на припущеннях, які багаторазово демонструвалися багатьма дослідниками про зв'язок глибинної будови надр (структурно-тектонічної ситуації) з сучасним рельєфом, характером гідромережі, геоморфологічних, геоботанічних та іншими (аж до антропогенних) ознаками [3–5].

В основі запропонованого методу лежить теорема Байєса — одна з основних теорем теорії ймовірностей, яка дозволяє визначити ймовірність деякої події за умови, що сталась інша, статистично взаємозалежна з нею подія. Іншими словами, теорема дозволяє розрахувати ймовірність того, що деяка конкретна подія з'явилася внаслідок певної конкретної події [6, 7]. Теорему Байєса можна розглядати як механізм формування висновку (прийняття рішення).

Задача класифікації полягає в тому, щоб побудувати алгоритм $\alpha: X \rightarrow Y$, здатний класифікувати довільний об'єкт дослідження $x \in X$.

Байєсовський класифікатор — широкий клас алгоритмів класифікації, заснований на принципі максимуму апостеріорної ймовірності. Для об'єкта, що підлягає класифікації, обчислюються функції правдоподібності кожного із класів, по них обчислюються апостеріорні ймовірності класів. Об'єкт відноситься до того класу, для якого апостеріорна ймовірність є максимальною. Перевага класифікатора Байєса, полягає не тільки у визначенні належності об'єкту до певного класу, але і в обчисленні ймовірності

такої приналежності. Це дає можливість для поставленої задачі на основі формалізованого кількісного критерію спрогнозувати наявність структурно-тектонічних підняття, потенційно-перспективних на вміст вуглеводнів.

За даними аеро- і космознімків можна виявити і класифікувати різномасштабні структури, визначити тип порушень, спрямованість тектонічних рухів та встановити їх зв'язок із глибинними структурами. Перевага класифікатора Байєса полягає не тільки у визначенні належності об'єкту до певного класу, але і в обчисленні ймовірності такої приналежності. Це дає можливість на основі формалізованого кількісного критерію спрогнозувати наявність структурних форм, потенційно-перспективних на вміст вуглеводнів.

Функціональна схема реалізації класифікатора на основі вирішального правила Байєса (для задачі прогнозування потенційно-перспективних на вуглеводні геологічних структурних форм) представлена на рис. 1.

4.1. Вибір області дослідження та її загальна характеристика

Область дослідження розташовується в центральній частині Дніпровсько-Донецької нафтогазоносного регіону, що приурочений до однойменної тектонічної западини, котра має північно-західне простягання завдовжки до 950 км та шириною 100–150 км і є авлакогеном блокової будови. Більшість виявлених тут родовищ пов'язані з лінійними антиклінальними складками [2]. В їх межах встановлено локальні структурні підняття, до яких саме і приурочені окремі родовища (рис. 2).

У центральній частині області дослідження (Полтавська область) поширені поклади вуглеводнів в пастках структурного класу (склепінні, тектонічно-екрановані), що обумовлює вибір саме цієї території для прогнозування потенційно перспективних структурних форм.

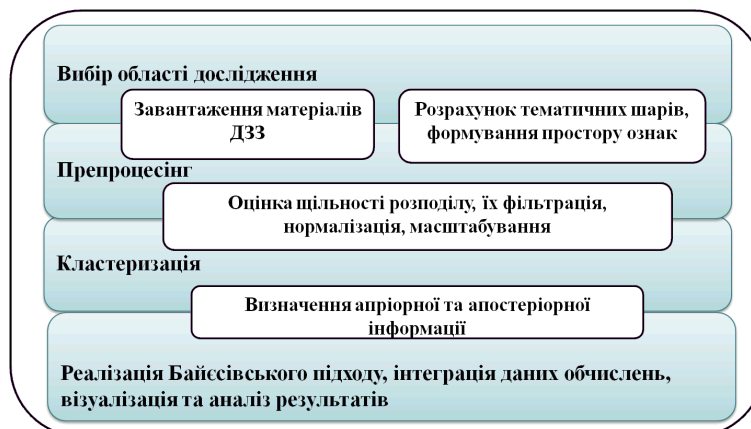


Рис. 1. Функціональна схема реалізації класифікатора на основі вирішального правила Байєса

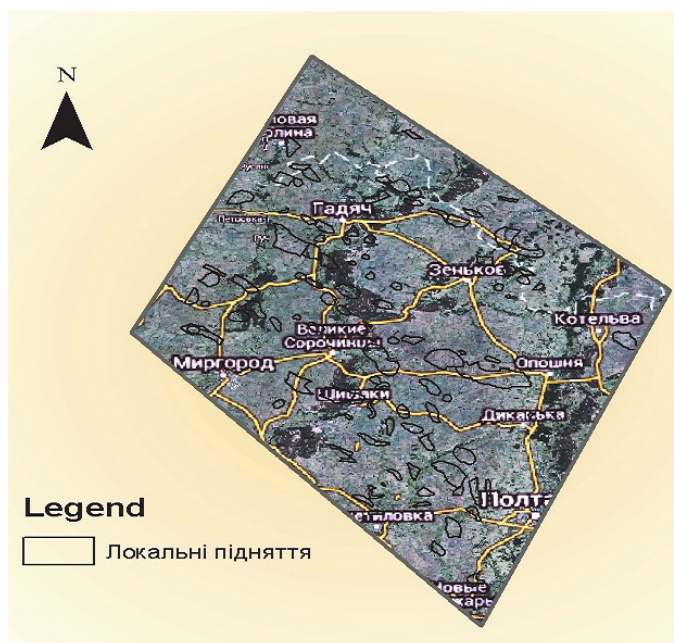


Рис. 2. Розподіл об'єктів навчальної множини (відомих тектонічних підняття) в межах області дослідження

4.2. Препроцесінг та кластеризація растрових даних

На практиці при розв'язанні класифікаційних завдань домінують два підходи — піксельної та об'єктної класифікації. У даній роботі застосовано перший підхід. Область дослідження охарактеризована сукупністю растрових шарів з ідентичними геопросторовими параметрами, але різного семантичного наповнення.

Таким чином, за растрового представлення області дослідження кожна елементарна комірка (піксель) описується вектором ознак, компонентами котрого виступають значення усіх растрових шарів в цільовому пікселі.

Ознаками в даному дослідженні розглядались растрові тематичні шари, отримані за результатами дистанційних зондувань Землі середньої просторової розрізненості SRTM і Landsat-8, а також розраховані на їх основі похідні продукти: теплові поля, мінеральні індекси, щільність мережі лініamentів, морфометричні параметри рельєфу тощо (всього близько 10 характеристик).

Наступним кроком для виконання якісної класифікації було проведення препроцесінгу вхідних даних, а саме нормалізація та приведення до єдиних діапазонів шкал. Цей процес проводився за наступними критеріями:

- якщо значення безперервних ознак характеризуються суттєво асиметричними розподілами, то такі ознаки шляхом відповідних перетворень приводились до нормального розподілу;
- за необхідності здійснюється зниження розмірності простору ознак шляхом реалізації процедур декореляції (ортогоналізація Грама–Шмідта, метод головних компонент тощо).

До ознак, що характеризувались наявністю високо амплітудних завад (імпульсного типу), поперечно застосовувалась нелінійна фільтрація. Уніфіковані ознаки піддавались класифікації без навчання методом ISODATA з метою формування набору кластерів, компактних згідно певного критерію.

Алгоритм ISODATA використовує мінімальну спектральну відстань для визначення відповідного кластера (класу) для кожного пікселя. Процес починається з призначення випадкового (наближеного) середнього значення кластера і повторюється до тих пір, поки це значення не досягне величини середнього для кожного кластеру вихідних даних. Використаний алгоритм кластеризації ISODATA передбачає апіорне завдання необхідного числа кластерів. При цьому, згідно з критерієм групування, що використовується, в результаті кластеризації можливе утворення меншої їх кількості. Тоді процес кластеризації зупиняється на досягнутому рівні оптимального розбиття.

4.3. Розв'язання задачі класифікації на основі вирішального правила Байєса та аналіз результатів

Метою процесу є визначення кластера (або групи кластерів), який з найбільшою ймовірністю буде локалізувати ділянки, потенційно перспективні на наявність структурних форм, що можуть бути пастками вуглеводнів.

Для вирішення поставленого завдання реалізовувався ймовірнісний підхід, який базується на вирішальному правилі Байєса [3]:

$$P(E_i|A) = \frac{P(A|E_i) \cdot P(E_i)}{\sum_j P(A|E_j) \cdot P(E_j)}$$

$P(E_i|A)$ — апостеріорна ймовірність, що визначається як частка площі i -го кластера, який потрапив в контур навчальної вибірки (подія A), по відношенню до повної площі i -го кластера (подія E_i), в межах досліджуваної території.

$$P(A|E_i) = \frac{S_{E_i \cap A}}{S_{E_i}}$$

$P(E_i)$ — апіорна ймовірність того, що довільна точка з досліджуваної території буде належати i -му кластеру. Визначається як відношення сумарної площі i -го кластера відношенню до площі області дослідження.

$$P(E_i) = \frac{S_{E_i}}{S_{\text{Е.заг}}}.$$

Алгоритм класифікації, заснований на теоремі Байєса з припущенням про незалежність ознак, передбачає, що наявність ознаки в класі не пов'язана з наявністю будь-якої іншої ознаки.

Моделі на основі баєсівського класифікатора, окрім очевидної переваги в інтерпретації результату, також характеризуються простотою програмної реалізації і високою швидкістю при роботі з великими наборами даних.

По кожному з тематичних шарів класифікація проводилась окремо і по кожній отримувалась просторовий розподіл ймовірності. За теоремою множення ймовірностей незалежних подій на виході утворився растр, кожен осередок якого відображає ймовірність знаходження структурних підняття у межах території дослідження (рис. 3).

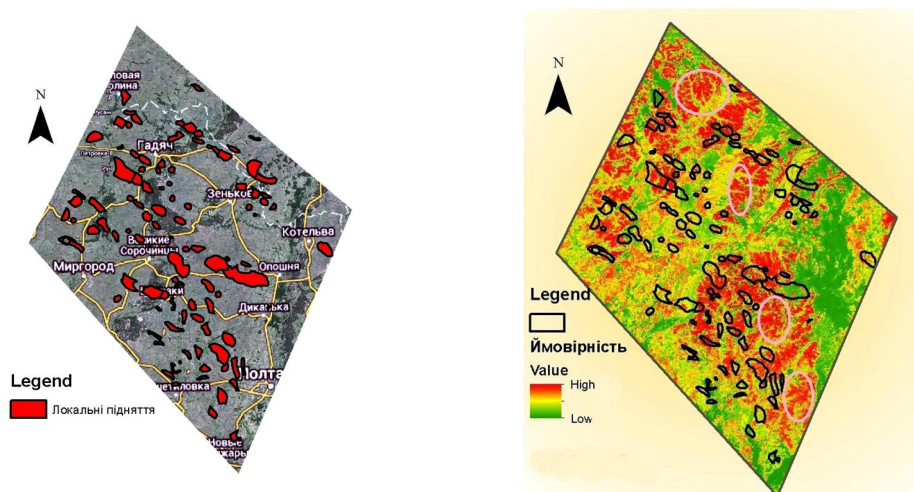


Рис. 3. Картограма ймовірності знаходження структурних підняття у межах території дослідження

Інтеграція результатів обчислень та їх візуалізація здійснювались в програмному забезпеченні ArcGIS 10.2. Аналізуючи отримані результати, можна сказати, що ділянки місцевості, котрі характеризуються найбільшою ймовірністю (червоний колір), мають достатньо стійку просторову кореляцію з відомими структурно-тектонічними підняттями.

Відповідно, можна очікувати, що і на інших ділянках, котрі також характеризуються високою ймовірністю, деяким чином проявляються особливості структурно-геологічної будови місцевості, потенційно перспективні на вуглеводні. Вони можуть мати перший пріоритет для подальшого вивчення, а ділянки, зображені помаранчевим і жовтим, — другий пріоритет. Геологічна змістовність результатів (з точки зору наявності потенційно перспективних на вуглеводні структури) повинна визначатися на підставі експертних оцінок, що враховують апріорні відомості про геологію регіону в цілому і області дослідження зокрема, а також з урахуванням результатів інших методів.

5. ВИСНОВКИ

За результатами проведених досліджень розроблена комплексна методика прогнозування структурно-тектонічних підняття за даними ДЗЗ (аналізу ЦМР, мультиспектральних космознімків тощо) та на основі використання Байєсівського класифікатора.

Процес пошуків та розвідки нафти і газу дуже складний, трудомісткий, із високим ступенем ризику. Оцінюючи перспективи нафтогазоносності окремих територій і локальних структур, геологи дуже часто змушені аналізувати великі масиви фактичної інформації, одержаної під час пошуково-розвідувальних досліджень на різних етапах та стадіях геологорозвідувального процесу. Через те, що пошуки нових скопчень вуглеводнів зосереджені переважно на великих глибинах, у складнобудованих зонах, морських акваторіях, отримані дані часто є неповними, нечіткими і навіть суперечливими та некоректними. Проте потрібно приймати відповідальне рішення, адже у кінцевому підсумку йдеться про доцільність і місце закладання дорогої глибокої свердловини.

Саме для цих цілей і розроблена дана експрес-методика, яка є оперативною та технологічно не пов'язаною з витратами на організацію і проведення польових досліджень. При цьому отримані результати носять ймовірнісний характер, виражений в кількісній мірі, і носять рекомендаційний характер при плануванні подальших геологорозвідувальних робіт.

1. Зацерковний В.І., Тишаєв І.В., Вірило І.В., Демидов В.К. Геоінформаційні системи в науках про Землю. — Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2016. — 510 с.
2. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування: монографія / за ред. В.І.Лялька, М.О.Попова. — К.: Наукова думка, 2006. — 360 с.
3. Толстой М.І., Гожик А.П., Рева М.В. та ін. Основи геофізики. — К.: Обрії, 2007. — 446 с.
4. Жилев М.Ю. Обзор применения мультиспектральных данных ДЗЗ и их комбинаций при цифровой обработке // Геоматика. — 2009. — № 3. — С.59–64.
5. Світлицький В.М., Стельмах О.Р., Світлицька І.В. Геологічні основи та теорія пошуків і розвідки родовищ нафти і газу. — К.: Інтерпрес ЛТД, 2010. — С.240–250.
6. Жуков М.Н. Математична статистика та обробка геологічних даних: підручник. — К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008. — 518 с.
7. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: классификация и снижение размерности. — М.: Финансы и статистика, 1989. — 607 с.

Надійшла до редакції 10.10.2016

Прийнята до друку 16.11.2016