

УДК 553.98:528.8:519.254

## МЕТОДИКА ІНТЕГРАЦІЇ ДИСТАНЦІЙНИХ ТА ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНИХ ДАНИХ ПРИ ПОШУКУ НАФТИ ТА ГАЗУ

*Станкевич С.А., Титаренко О.В.*

*ЦАКДЗ ІГН НАН України, Київ  
E-mail: [olgatitarenko@casre.kiev.ua](mailto:olgatitarenko@casre.kiev.ua)*

Запропоновано методику інтеграції багатоспектральних зображень та геолого-геофізичних просторових даних на основі статистично-інформаційної моделі. За результатами інтеграції одержується кількісна тематична карта нафтогазоперспективності досліджуваної площі. Забезпечується достатньо висока узгодженість одержуваних оцінок з результатами розвідувального буріння.

**Ключові слова:** інтеграція даних, дистанційні дані, геолого-геофізичні дані, нафтогазопошукові роботи

### ВСТУП

Розвиток науки й прискорення технічного прогресу вимагають всі більш повного й раціонального використання мінеральної сировини, зокрема нафти й газу. Проте необхідність раціонально використовувати кошти при прогнозі, пошуку та розвідці родовищ вимагає застосовувати нові методи, методики та технології. Технології прогнозу родовищ нафти та газу із залученням матеріалів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у комплексі з геолого-геофізичними даними на сьогодні широко використовуються й долучаються нафтогазорозвідувальними організаціями.

### 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Специфіка використання значної кількості географічно прив'язаної інформації, яка необхідна для проведення геологічної інтерпретації отриманих результатів, створення моделей об'єктів та оцінки нафтогазоперспективності ділянок вимагає застосування геоінформаційного підходу.

Основою таких технологій є комплексне дослідження нафтогазо-перспективних регіонів (ділянок) з використанням геоінформаційних технологій задля накопичення достатньої кількості даних по об'єктах, що вивчаються, коректної інтерпретації цих даних практично на будь-якій стадії, починаючи з підготовчого етапу й закінчуючи створенням аналітичного результуючого продукту.

При вирішенні тематичних завдань ДЗЗ ми маємо справу з вимірами, спостереженнями, які мають три головні компоненти: атрибути, що описують об'єкт, географічні дані, які дають уявлення про просторове положення об'єкту, і

часові дані, що описують момент і період години. Таким чином, дані можна представити як "сировину", з якої виходить інформація. Ця інформація найчастіше представлена у вигляді, придатному для обробки автоматичними засобами або при частковій участі людини [1].

Стосовно рішення нафтогазопошукових завдань необхідно мати такі основні масиви інформації:

- матеріали ДЗЗ на площу, яка досліджується, результати їх обробки та аналізу;
- технічну інформацію (характеристики та метадані) про системи ДЗЗ та наземну вимірювальну апаратуру;
- схеми профілів, маршрутів, розташування свердловин, доріг, наземних орієнтирів, гідромережі тощо;
- дані наземних та дистанційних спектрометрувань, результати їх статистичної обробки й аналізу;
- топографічні, геологічні та структурні карти різних масштабів та видів;
- науково-технічну, промислову та патентну інформацію про досліджувані об'єкти (географічну, геологічну, геофізичну, геохімічну тощо), прямі та непрямі методи пошуку покладів вуглеводнів [2,3].

Сучасні технології використання матеріалів ДЗЗ у геологорозвідувальному виробництві засновані на тому, що аерокосмічна інформація являє собою складову частину геопросторових даних і обробляється разом з іншими поверхнями широкого спектра картографічних і цифрових геологічних, геофізичних, екологічних, геохімічних, метеорологічних та інших даних за допомогою відповідного програмного забезпечення.

Використання технологій ДЗЗ для пошуків нафти і газу вимагає додаткового підтвердження геологічною інформацією, оскільки поклади вуглеводнів розташовані на значній глибині від поверхні. Поклади розташовуються у пастках, які можуть бути структурними або не структурними. Мета дистанційного знімання при пошуках вуглеводнів полягає у виявленні аномалій у геологічній будові, у ландшафті та обґрунтуванні поверхневих індикаційних ознак (індикаторів) глибинної будови літосфери, які в тому числі можуть вказувати на наявність сприятливих пасток на глибині [1].

Основними постулатами при пошуках нафтогазоносних структур дистанційними методами, були й залишаються твердження про неоген-четвертинний час утворення нафтогазових покладів, провідну роль неотектонічного фактора та геофлюїдодинамічних процесів у формуванні родовищ нафти і газу. Ці процеси і явища мають вплив на формування сучасної земної поверхні та її

покриття, що фіксується дистанційними сенсорами одночасно на значній території в широкому спектрі електромагнітного випромінювання.

Нами зроблено спробу застосування нового підходу до виявлення геологічних об'єктів – площинних структурних утворень з певними геологічними (а також дистанційними) характеристиками – на матеріалах дистанційного зондування у різних спектральних діапазонах з одночасним використанням геолого-геофізичних даних.

При інтегруванні геолого-геофізичних і геоморфологічних ознак з дистанційними даними залучаються:

- матеріали багатозональної космічної зйомки;
- топографічні карти масштабу 1:100 000 – 1:10 000;
- цифровий рельєф території дослідження;
- розподіл температури поверхні;
- структурні карти по відбивним горизонтам масштабів 1:10 000 – 1:50 000;
- геолого-промислові дані про продуктивність свердловин;
- геологічні розрізи;
- стратиграфічні колонки;
- дані наземних та дистанційних фотометричних та спектральних вимірювань;
- інформація по геоекологічній ситуації в районах досліджень.

## 2. ІНТЕГРАЦІЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНИХ ТА ДИСТАНЦІЙНИХ ДАНИХ

Інтеграція геолого-геофізичних даних спроможна суттєво підвищити ефективність застосування дистанційних зображень при вирішенні нафтогазопошукових задач [4]. Якщо сумісна тематична обробка багатоспектральних наборів аерокосмічних зображень зараз не викликає особливих труднощів, то залучення даних принципово іншої фізичної природи потребує розробки спеціальних моделей.

По-перше, аерокосмічні зображення, як правило, одержуються в цифровій растровій формі, а геолого-геофізичні дані – у формі наборів просторових відліків на нерегулярній решітці, причому майже завжди більш низької просторової розрізненості. Тому першим етапом інтеграції має бути просторова регуляризація наявних геолого-геофізичних даних до растру аерокосмічного зображення. Сучасні геоінформаційні системи мають для цього цілий арсенал способів – від простішої сплайн-інтерполяції до геолого-геофізичного моделювання [5].

По-друге, відомі моделі інтеграції залишають відкритим питання про порядок сумісної обробки кількісних полів різної фізичної природи. Очевидно, що перед обробкою різноманітні дані мають приводитися до певної єдиної кількісно-

вимірювальної форми, наприклад шляхом різного роду масштабування, нормування та фільтрування. Наприклад, в математичній статистиці прийнято центрувати та нормувати вхідні фізичні дані таким чином, щоб їх дисперсія складала одиницю. В загальному випадку слід перед обробкою обрати певний єдиний діапазон припустимих змін даних  $[f_{\min} .. f_{\max}]$  та визначити відповідні перетворення  $F_j$ , зазвичай лінійні:

$$F_j: [x_{\max j} .. x_{\min j}] \rightarrow [f_{\min} .. f_{\max}] , \quad \forall j = 1 .. m , \quad (1)$$

де  $x_{\max j}$ ,  $x_{\min j}$  – максимальне та мінімальне значення  $j$ -го геолого-геофізичного показника,  $f_{\min}$ ,  $f_{\max}$  – верхня та нижня границі єдиного діапазону,  $m$  – загальна кількість використаних геолого-геофізичних полів.

Додаткову інформацію про раціональне масштабування даних можуть надати позитивні та негативні приклади пошукових об'єктів. Наприклад, інколи можливо підібрати таку систему масштабувальних перетворень  $F_j, j = 1 .. m$ , яка забезпечить максимальну відмінність набору різнорідних даних від позитивних і негативних прикладів в заданій інформаційній метриці [6].

По-третє, дуже важливим етапом інтеграції є вибір адекватної метрики сумісної обробки даних. Зараз при сумісній обробці дистанційних та геолого-геофізичних даних використовують різноманітні статистичні – Махаланобіса, Бхатачарія, Чернова [7], тощо, інформаційні – взаємна ентропія, Фішерівська інформація [8], тощо та евристичні – нелінійні індекси, топологічні оцінки [9], тощо. При нафтогазопошукових дослідженнях з використанням дистанційних даних добре себе зарекомендувала інформаційна дивергенція Кульбака-Лейблера [10]  $D$ :

$$D = \sum_{j=1}^m p_j \log_2 \frac{p_j}{q_j} . \quad (2)$$

де  $p_j$ ,  $q_j$  – розподіли густин ймовірностей  $j$ -го з оброблюваних полів даних для поточного вимірювання та цільового зразка відповідно.

Після того, як визначено процедури просторової регуляризації  $R_j, j = 1 .. m$  та масштабувальні перетворення (1) та обрано інформаційну метрику (2), стає можливим провести сумісну обробку дистанційних та геолого-геофізичних даних для їх інтеграції. Загальний порядок інтеграції  $m$  просторових полів даних пояснюється схемою приведеною на рис.1.

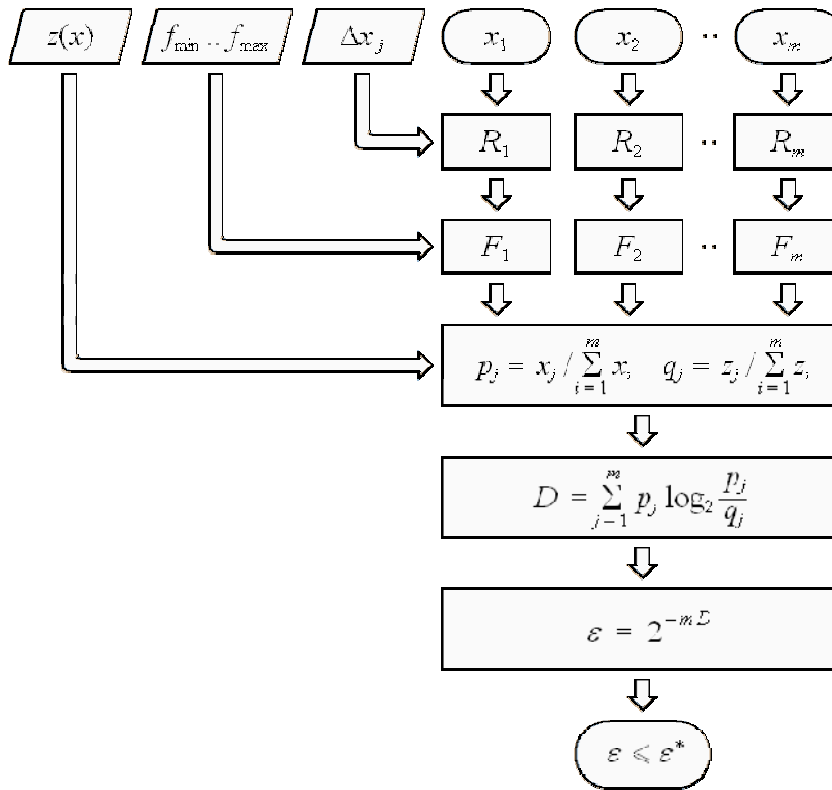


Рис.1. Алгоритм інтеграції просторових дистанційних та геолого-геофізичних даних

Для виконання просторової регуляризації  $R_j$  та масштабувальних перетворень  $F_j$  потрібні параметри вхідних  $\Delta x_j$  та цільового растру, а також значення вхідних діапазонів кожного набору даних  $[x_{\max j} .. x_{\min j}]$  та єдиного вихідного діапазону  $[f_{\min} .. f_{\max}]$  даних. Густина імовірності  $p_j$  для обчислення інформаційної дивергенції  $D$  оцінюються за вибірковими гістограмами, причому для об'єктів пошуку бажано мати перелік еталонних ділянок даних  $z(x)$ . Якщо таких ділянок в межах району досліджень немає, оцінювання густин імовірності  $q_j$  має здійснюватися або за виявленими аномаліями наборів даних, або за певними додатковими міркуваннями, зовнішніми відносно системи інтеграції даних.

### 3. ПЕРЕВІРКА МЕТОДИКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Результатом інтеграції дистанційних та геолого-геофізичних просторових полів даних має бути певна кількісна величина, яка однозначно характеризує близькість довільного  $m$ -вимірного просторового сегменту даних до еталонного зразка.

Просторовий розподіл цієї величини – це тематична карта, яка забезпечує осмислену інтерпретацію та візуалізацію багатовимірних полів даних різної фізичної природи. Показником близькості поточного та еталонного наборів даних є імовірність їх переплутування  $\varepsilon$ . В обраній інформаційній моделі цю імовірність можна оцінити як [11]

$$\varepsilon = 2^{-mD} \quad (3)$$

На рис.2 показано розподіл інтенсивностей вхідних просторових полів даних, а на рис.3 – вихідна імовірність (3) за результатами інтеграції.

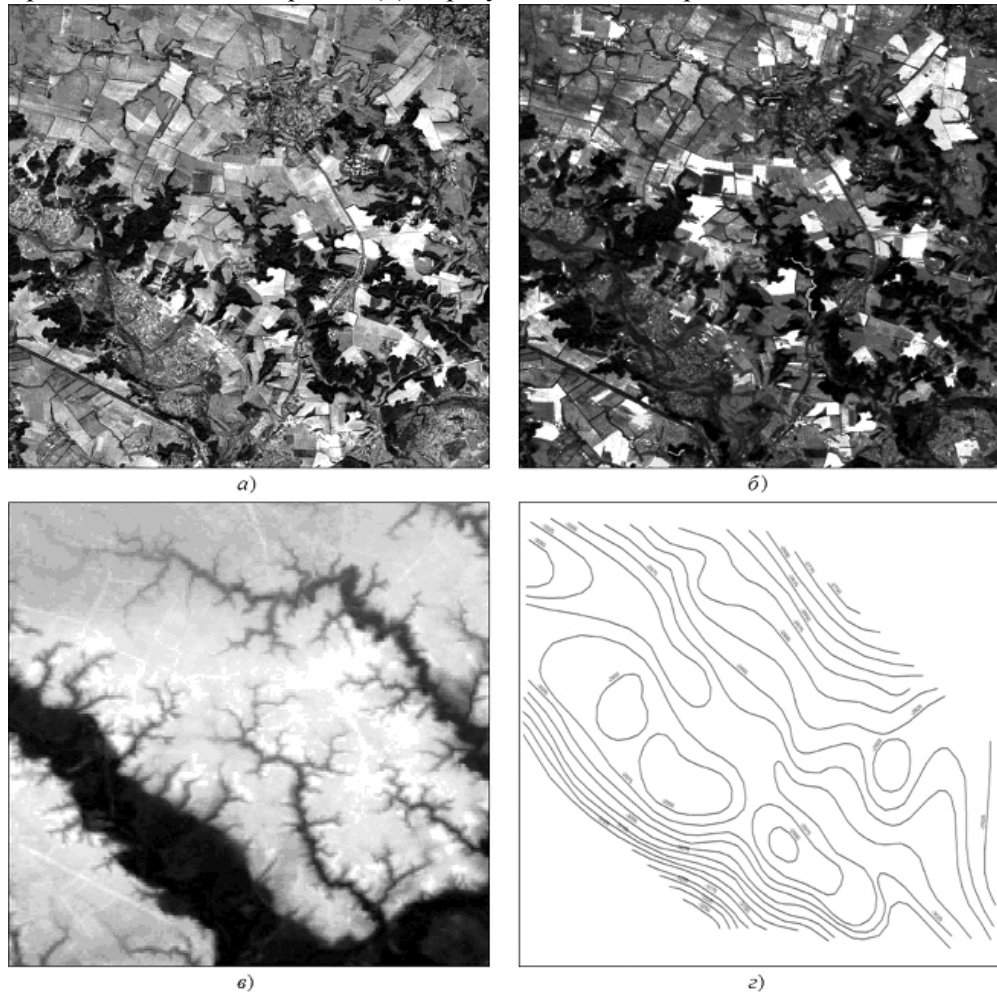


Рис.2. Вхідні поля дистанційних та геолого-геофізичних даних:

*a* – космічне зображення на територію дослідження (Landsat/ETM+, 27.09.2005), *б* – просторовий розподіл температури поверхні, К; *в* – цифровий рельєф території дослідження; *г* – структурна карта по відбивному горизонту В-26 масштабу 1:50 000

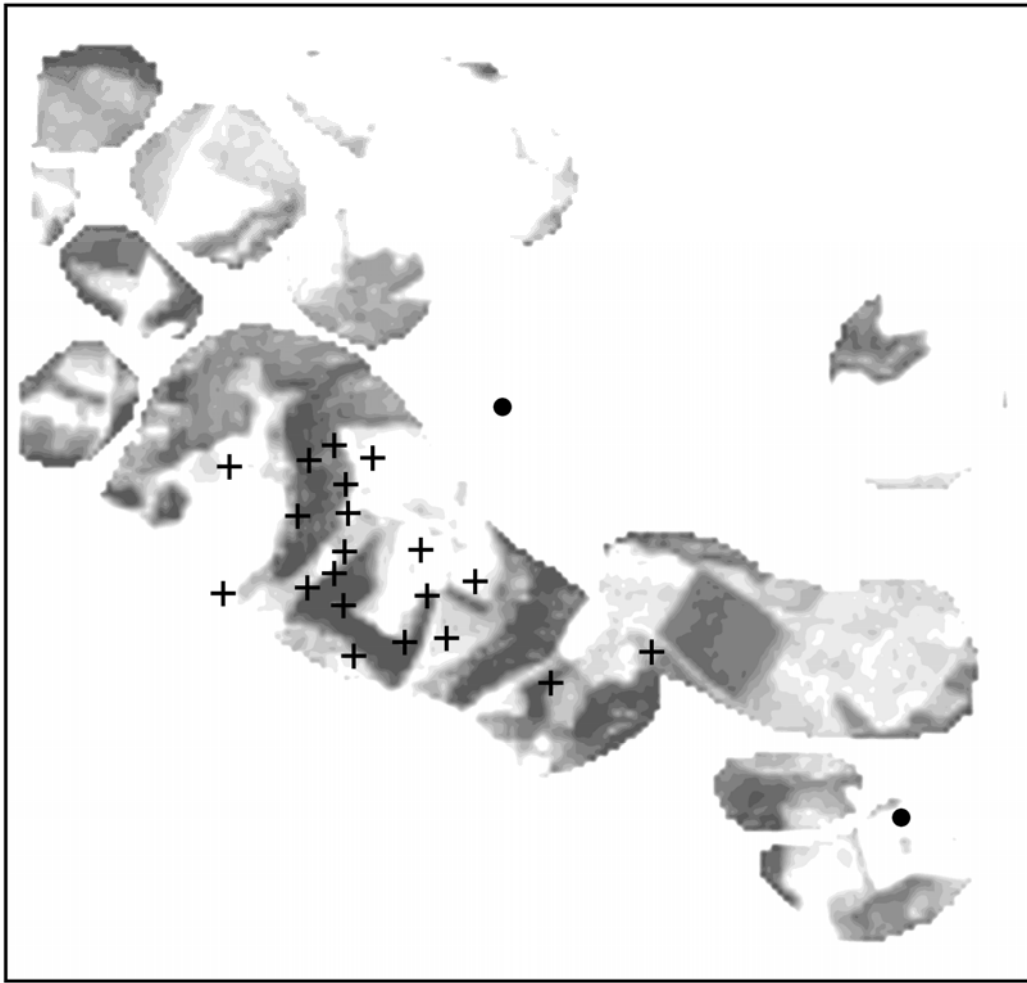


Рис.3. Просторовий розподіл імовірності помилки за результатами інтеграції дистанційних та геолого-геофізичних даних. На схему нанесено розвідувальні свердловини: + – продуктивні, ° – непродуктивні

В результаті інтеграції одержано графічний образ просторового розподілу інтегрального індикатора за даними дистанційних та геолого-геофізичних досліджень, який можна трактувати як комплексну оцінку нафтогазоперспективності досліджуваної площі. За результатами розвідувального буріння встановлювалося наявність чи відсутність вуглеводнів в прогнозній точці. Оскільки достовірних кількісних характеристик виявлених покладів вуглеводнів немає, оцінювалося рангова кореляція між розподілом інтегрального індикатора та розташуванням продуктивних / непродуктивних свердловин. Коефіцієнт рангової кореляції Кендала за даними 22 розвідувальних свердловин перевищує 0,82, що свідчить про достатню ефективність запропонованої методики.

За нашими оцінками та даними попередніх досліджень можна очікувати на високу підтверджуваність (на рівні 60-80 %) результатів інтеграції дистанційних та геолого-геофізичних даних при дослідженні нафтогазоперспективності окремих територій.

## ВИСНОВКИ

Отримані результати дозволяють площинно в регіональному масштабі визначити ділянки, статистичні характеристики яких найбільше подібні до характеристик еталонного об'єкта – родовища. Розрізненість геологічних даних, які використовувались для аналізу, зіставима з розрізненістю дистанційних даних. В результаті проведеного аналізу і інтерпретації отриманих даних виділено ділянки, які є перспективними на наявність нафтогазоносних структур.

Застосування запропонованої методики інтеграції дистанційних та геолого-геофізичних просторових даних полягає в реалізації ідеї підкріплення геоіндикаційних ознак глибинних геологічних структур на космічному зображенні наземними даними (можливо меншої просторової розрізненості).

Застосування запропонованої методики дозволить підвищити оперативність та об'єктивність попередніх оцінок нафтогазоперспективності площ, що досліджуються, що є дуже важливим при нафтогазопошукових роботах.

## Перелік літератури

1. Кузнецов О.Л., Никитин А.А. Геоинформатика // М. : Недра, 1995. – С. 212
2. Геофизические методы исследования / Под ред. В.К.Хмелевского. – М. : Недра, 1988.
3. Бондаренко В.М., Демура Г.В., Ларионов А.М. Общий курс геофизических методов разведки. – М. : Недра, 1986.
4. Станкевич С.А., Седлорова О.В. Інтеграція дистанційних та геофізичних просторових даних при пошуку вуглеводнів на морському шельфі // Геоінформатика, 2007. – № 3. – С.77-81.
5. Пивняк Г.Г., Бусыгин Б.С., Никулин С.Л. ГИС-технология интегрированного анализа разнородных и разноуровневых геоданных // Доповіді Національної академії наук України, 2007. – № 7. – С. 115-123.
6. Атаков А.И., Гололобов Ю.Н., Мавричев В.Г., Кирсанов А.А., Липийнен К.Л. Новые технологии обработки дистанционных геолого-геофизических данных при нефтегазописковых работах // Материалы 8-ой Всероссийской научно-практической конференции “Геоинформатика в нефтегазовой и горной отраслях”. – М. : ГИСА, 2007. – CD.
7. Фукунага К. Ведение в статистическую теорию распознавания образов. – Пер. с англ. – М. : Наука, 1979. – С. 368
8. Landgrebe D.A. Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing.- Hoboken: John Wiley, 2003. – P. 520



9. Станкевич С. А. Алгоритм статистичної класифікації об'єктів дистанційного спостереження за їх спектрально-топологічними характеристиками // Науковий вісник Національного гірничого університету, 2006. – № 7. – С. 38-40.
10. Архіпов О.І., Станкевич С.А., Титаренко О.В. Картування границь нафтогазоносних ділянок за даними наземного спектрометрування // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – Київ: Всеукраїнська асоціація геоінформатики, 2009. – С. 123-131.
11. Кендалл М., Стьюарт А. Статистические выводы и связи. – Пер. с англ. – М.: Наука, 1973. – С. 899

**Станкевич С.А., Титаренко О.В. Методика интеграции дистанционных и геолого-геофизических данных при поиске нефти и газа** // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: География. – 2009. – Т. 22 (61). – №1 – С. 105-113.

Предложена методика интеграции многоспектральных изображений и геолого-геофизических пространственных данных на основе статистическо-информационной модели. В результате интеграции получается количественная тематическая карта нефтегазоперспективности исследуемой площади. Обеспечивается достаточно высокая согласованность получаемых оценок с результатами разведочного бурения.

**Ключевые слова:** интеграция данных, дистанционные данные, геолого-геофизические данные, нефтегазопроисковые работы

**Stankevich S.A., Titarenko O.V. Remote sensing and geophysical data fusion technique for oil and gas prospecting** // Scientific Notes of Taurida V. Vernadsky National University. – Series: Geographics. – 2009. – Vol. 22 (61). – №1 – P. 105-113.

The technique for multispectral imagery and geophysical spatial data fusion on the basis of statistical-information model is offered. The result of data fusion is the quantitative thematic map of possible oil and gas deposit within the explored area. The sufficient consistency between the obtained estimations and exploratory drilling outputs is provided.

**Keywords:** data fusion, remote sensing data, geophysical data, oil and gas prospecting

*Поступила в редакцию 22.04.2009 г.*