

---

doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.07.056>

УДК 517.528:553.98

**А.В. Хижняк, О.І. Архіпов, О.Д. Федоровський, Т.А. Єфіменко**

ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі

Інституту геологічних наук НАН України”, Київ

E-mail: ania1331@ukr.net

## **Пошук покладів вуглеводнів на основі аналізу космічної і наземної інформації методами багатокритеріальної оптимізації та аналітичних мереж (на прикладі Дніпровсько-Донецької западини)**

*Представлено членом-кореспондентом НАН України О.Д. Федоровським*

*На прикладі Турутинсько-Рогінцівської зони структур Дніпровсько-Донецької западини обґрунтовано можливість оцінки нафтогазоперспективності ділянок суходолу на основі аналізу космічної і наземної інформації методами багатокритеріальної оптимізації та аналітичних мереж.*

**Ключові слова:** *нафтогазоперспективні ділянки, багатокритеріальна оптимізація, оптичні аномалії, аналітичні мережі.*

Особливість методології пошуку покладів вуглеводнів (ВВ) на основі дешифрування матеріалів космічної зйомки в комплексі з даними наземних спостережень полягає у використанні методів, моделей і знань з різних наукових дисциплін, що дає можливість інтегрувати інформацію різної фізичної природи. При цьому рішення не може прийматися за однією ознакою, а вимагає багатокритеріальної оптимізації кількості показників [1].

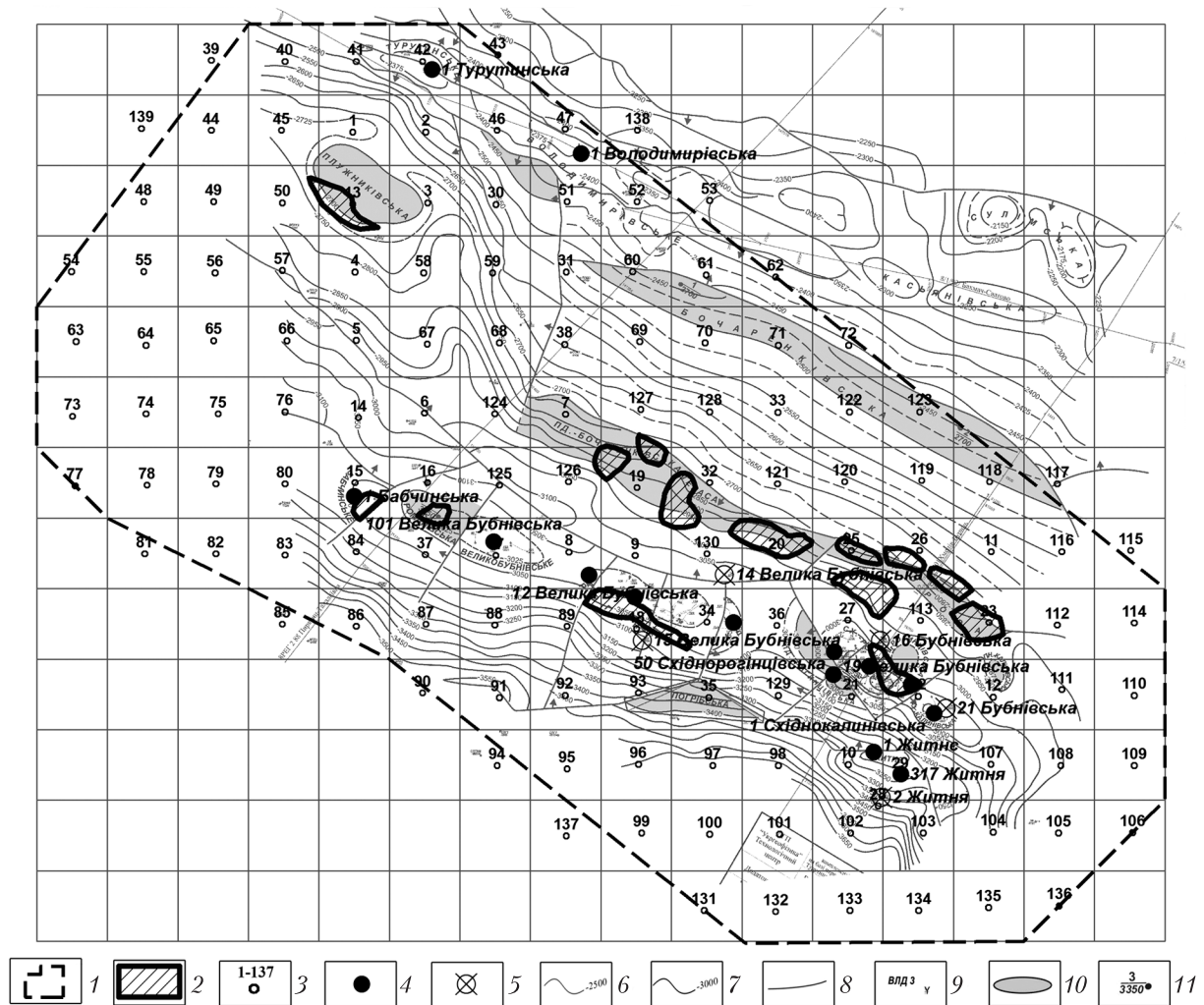
Відомо, що над покладами ВВ мають місце зони підвищених і понижених механічних напруг, які зумовлюють інтенсивне перенесення тепла, рідких і газоподібних флюїдів, а також окисно-відновні процеси в зонах аномально низьких значень механічних напруг, що ототожнюються з ділянками підвищених фільтраційних властивостей гірських порід. Масштаби цих процесів визначаються структурою механічних напруг, характером геохімічних бар'єрів і мігруючих флюїдів, інтенсивністю і типом міграції, темпами тепломасообміну та іншими особливостями геологічної будови. За таких обставин у зонах аномально низьких напружень формуються аномалії різних полів (фізичних, хімічних, біохімічних) [6].

Для досліджень була вибрана Турутинсько-Рогінцівська зона структур. У тектонічному відношенні вона належить до Великобубнівського структурного валу, що знаходиться в північно-західній частині північної прибортової зони Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), яка характеризується блоково-ступінчастою будовою фундаменту з поступовим зануренням блоків у бік осової частини западини [2].

© А.В. Хижняк, О.І. Архіпов, О.Д. Федоровський, Т.А. Єфіменко, 2017

Дослідження виконано на площі 540 км<sup>2</sup> у два етапи: на регіональному і детальному рівні. У першому випадку територія була розділена на 139 елементарних ділянок розміром 2 × 2 км<sup>2</sup> (рис. 1). Оскільки в межах Турутинсько-Рогінцівської зони структур існують родовища ВВ, є можливість на основі інформативних ознак їх ділянок сформувати компромісний склад ознак (“узагальненого портрета”), значення яких максимально відповідають параметрам кожного з розташованих на території родовищ ВВ.

Створення “узагальненого портрета” виконувалося на основі методу багатокритеріальної оптимізації (БКО):  $F$  – функція належності;  $G$  – функція відповідності;  $S$  – функція



**Рис. 1.** Турутинсько-Рогінцівська зона структур. Структурна карта за горизонтами відбиття  $V_{2п}$  та  $V_3$  з результатами попередніх аерокосмічних досліджень. Умовні позначення: 1 – район дослідження; 2 – оптичні аномалії; 3 – номер спостережень; 4 – продуктивні свердловини; 5 – непродуктивні свердловини; 6 – ізогіпси відбивного горизонту  $V_{2п}$ ; 7 – ізогіпси відбивного горизонту  $V_3$ ; 8 – розривні порушення; 9 – свердловини глибокого буріння; 10 – перспективні об’єкти, що потребують подальшого вивчення; 11 – проектні свердловини

близькості [5]

$$F_{rl} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m p_j G(b_{jr}, a_{jl}),$$

$$G(b_{jr}, a_{jl}) = 1 - S(b_{jr}, a_{jl}),$$

$$S(b_{jr}, a_{jl}) = \frac{|(a_{jl} - b_{jr})|}{|a_{jl}|},$$

де  $k$  – кількість ділянок родовищ ВВ;  $l = 1, 2, \dots, k$ ;  $m$  – кількість інформативних ознак;  $a_{jl}$  – значення  $j$ -ї ознаки  $l$ -ї ділянки родовища ВВ;  $p_j$  – значення вагового коефіцієнта  $j$ -ї ознаки  $l$ -ї свердловини,  $j = 1, 2, \dots, m$ ;  $n$  – кількість сформульованих наборів (комплектів) значень ознак;  $b_{jr}$  – значення  $j$ -ї ознаки  $r$ -го варіанта набору значень ознак,  $r = 1, 2, \dots, n$ .

У межах Турутинсько-Рогінцівської зони структур виявлено цілу низку родовищ ВВ, які використані нами як вхідна інформація – еталонні об'єкти (ділянки родовищ ВВ): Бабчинське нафтогазоконденсатне, Великобубнівське та Володимирівське газоконденсатні, Східнорогінцівське, Житнє та Турутинське нафтові родовища. Крім того, у цій зоні розташовані структури, які, за різними даними, можуть бути продуктивні: Плужниківська, Південнобочаренківська, Горова, Північнорогінцівська, Північнокалінівська, Погрібська, Романівсько-Бабчинська, Східнокалінівська.

Як вхідну інформацію для апробації зазначеної розробки використано: топографічні карти масштабів 1 : 500000 – 1 : 10000, структурні карти масштабів 1 : 200000 – 1 : 10000 за різними відбивними горизонтами, матеріали багатозональних космічних зйомок, дані радарної топографічної зйомки (SRTM), основні відомості про нафтогазоносність еталонних родовищ та промислові дані щодо продуктивності свердловин, які пробурені в межах району досліджень (параметричні, пошукові, розвідувальні, експлуатаційні).

Для виявлення оптичних аномалій рослинності та ґрунтів (над прогнозними об'єктами, які були виділені в процесі вивчення структурно-геоморфологічних та неотектонічних осо-

### Інформативні ознаки ділянок родовищ ВВ

№ ВВ	Функція $F$	Значення окремих ознак								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
21	0,81	-4	-10	45	-210	120	150	150	10	10
27	0,81	-2	-6	45	-215	100	145	80	8	9
22	0,83	-3	-9	45	-185	110	140	80	7	8
10	0,84	-5	-10	45	-200	100	145	100	5	6
16	0,82	-4	-3,5	40	-270	90	130	100	7	9
17	0,82	-5	-4	40	-275	150	140	110	7	9
18	0,82	-5	-5,5	40	-250	100	150	100	7	6
15	0,82	-3	-2	40	-260	100	130	95	6	9
29	0,81	-6	-12	40	-185	110	150	100	5	6
Ваговий коефіцієнт		3	4	2	3	4	4	4	8	8

близькостей площ) використані матеріали багатозональної аерокосмічної зйомки. Їх вибір охоплював весь часовий діапазон вегетації різних рослинних покривів і стану ґрунтів з метою встановлення періодів реєстрації оптичних аномалій, обумовлених покладами ВВ. За неотектонічною активністю вся територія Турутинсько-Рогінцівської зони структур була розбита на неотектонічні блоки.

У результаті виконаного аналізу інформативних ознак наявності ВВ для оцінки нафтогазоперспективності ділянок Турутинсько-Рогінцівської зони структур ДДЗ на регіональному рівні вибрано такі:

- 1) інтенсивність залишкових аномалій гравітаційного поля ( $-16...+4$  мГал);
- 2) інтенсивність гравітаційного поля ( $-5...+2$  мГал);
- 3) величина геотермічного ступеня ( $20...40$  м/°С);
- 4) інтенсивність магнітного поля ( $-500...0$  нТл);
- 5) температура на зрізі  $-3500$  м ( $140...180$  °С);
- 6) температура на зрізі  $-5000$  м ( $140...180$  °С);
- 7) температура підшви відкладів верхньовізейського під'ярусу нижнього карбону ( $75...150$  °С);
- 8) неотектонічна активність блоків (у балах від 1 до 10);
- 9) інтенсивність оптичних аномалій (у балах від 1 до 10).

У таблиці наведено інформативні ознаки окремих ділянок родовищ ВВ Турутинсько-Рогінцівської зони структур (№ ВВ), а також результати обчислення значень функції належності  $F$  для цих ділянок.

На основі методу БКО була створена програма, за допомогою якої з врахуванням ознак ділянок родовищ ВВ (див. таблицю) отримано компромісний варіант комплексу інформативних ознак (за максимальним значенням функції  $F$ ) для оцінки нафтогазоперспективності ділянок Турутинсько-Рогінцівської зони структур ДДЗ на регіональному рівні:

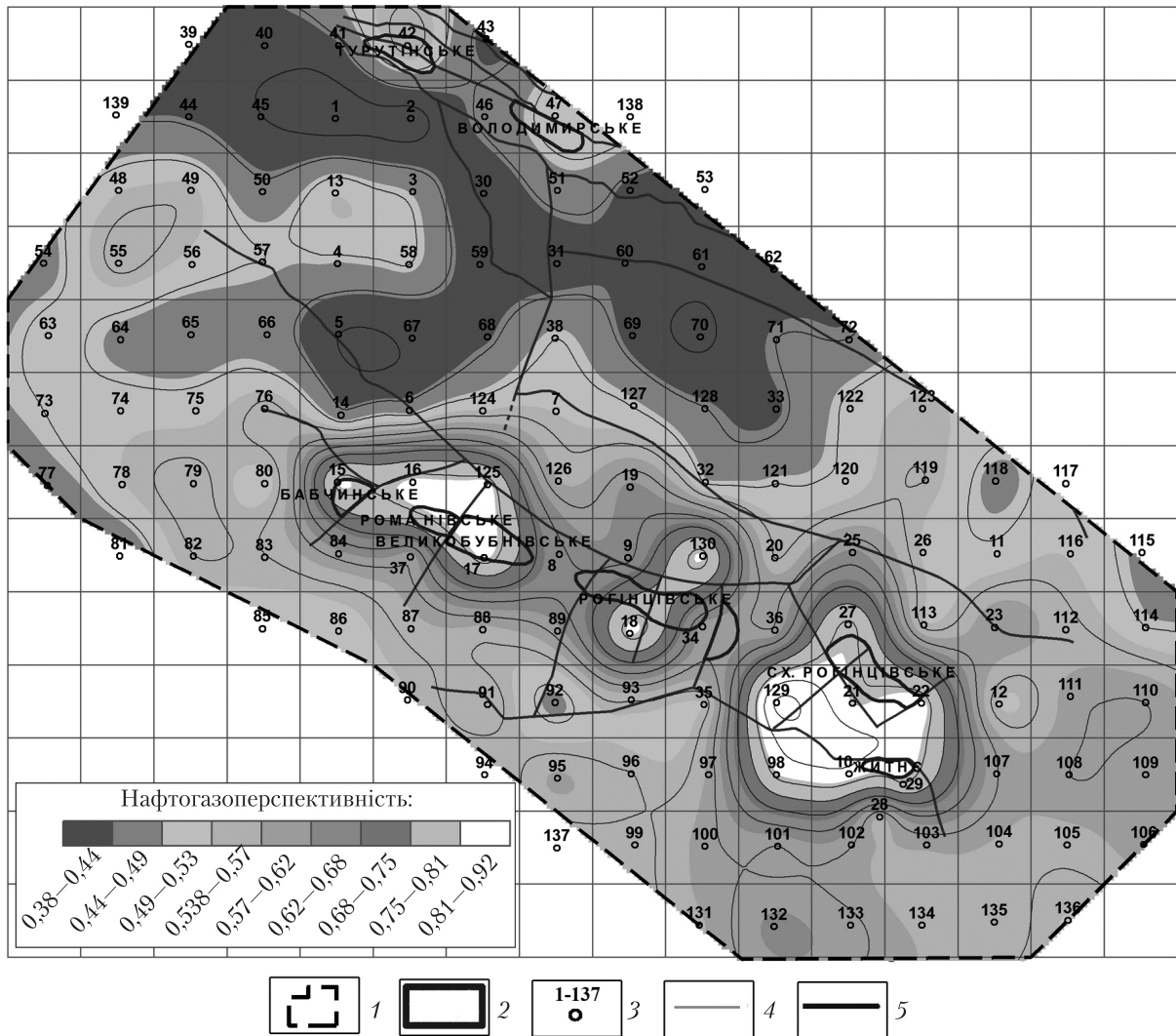
№ ознаки	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Значення	-5	-9	40	-210	100	150	100	6	9

Отриманий комплект інформативних ознак використано для порівняння з ним характеристик (ознак) при класифікації кожної із 139 ділянок Турутинсько-Рогінцівської зони структур ДДЗ шляхом послідовного обчислення функції належності  $F$ .

На лінгвістичному рівні абстракції задача оцінки нафтогазоперспективності ділянки може бути сформульована таким чином: наскільки подібний об'єкт розпізнавання (в нашому випадку це ділянка досліджуваної території) корелює з компромісним набором ознак. Оцінка ступеня відповідності досліджуваної ділянки компромісному комплексу ознак визначається автоматично за значенням функції належності  $F$ .

На рис. 2 наведено результати оцінки нафтогазоперспективності ділянок Турутинсько-Рогінцівської зони структур ДДЗ на основі методу БКО і міждисциплінарної інтеграції аерокосмічної і наземної інформації. Відносна перспективність дослідних ділянок подана в градієнтах яскравості, значення яких пропорційні їх нафтогазоперспективності (більш світлі ділянки).

На другому етапі було виконано детальну оцінку і вибір найбільш нафтогазоперспективної ділянки для подальшої геофізичної розвідки на прикладі дослідження двох ділянок (А



**Рис. 2.** Результат оцінки нафтогазоперспективності ділянок Турутинсько-Рогінцівської зони структур ДДЗ. Умовні позначення: 1 – район дослідження; 2 – ділянки спостережень; 3 – родовища вуглеводнів; 4 – розривні порушення; 5 – ізолінії нафтогазоперспективності

та В), які отримали на першому етапі найвищий бал по цільовій функції належності  $F$ . Для цього застосовували метод аналітичних мереж (МАН) [3], який дає можливість обробляти більш різноманітні і складні структури з урахуванням залежності між рівнями та зворотними зв'язками між елементами рівнів і тим самим досягати більшої об'єктивності й достовірності в прийнятті рішень. У мережкових задачах компоненти розглядаються як взаємодіючі об'єкти, які впливають один на одного щодо чітко сформульованого керуючого критерію.

Для визначення найбільш нафтогазоперспективної ділянки на основі МАН проводиться структурування проблеми у вигляді мережової моделі (рис. 3), за допомогою якої аналізуються взаємозв'язки між запропонованими альтернативами і узагальненими критеріями вибору.

У ході досліджень нами був використаний програмний продукт (ПП) Super Decision. Розрахунок складається з трьох кроків.

**Крок 1.** Визначення експертами в предметній області пріоритетів, за якими буде оцінюватися кожна ділянка. Оцінка проводилася за шкалою інтенсивності від 1 до 9, яка запропонована Т. Сааті [4].

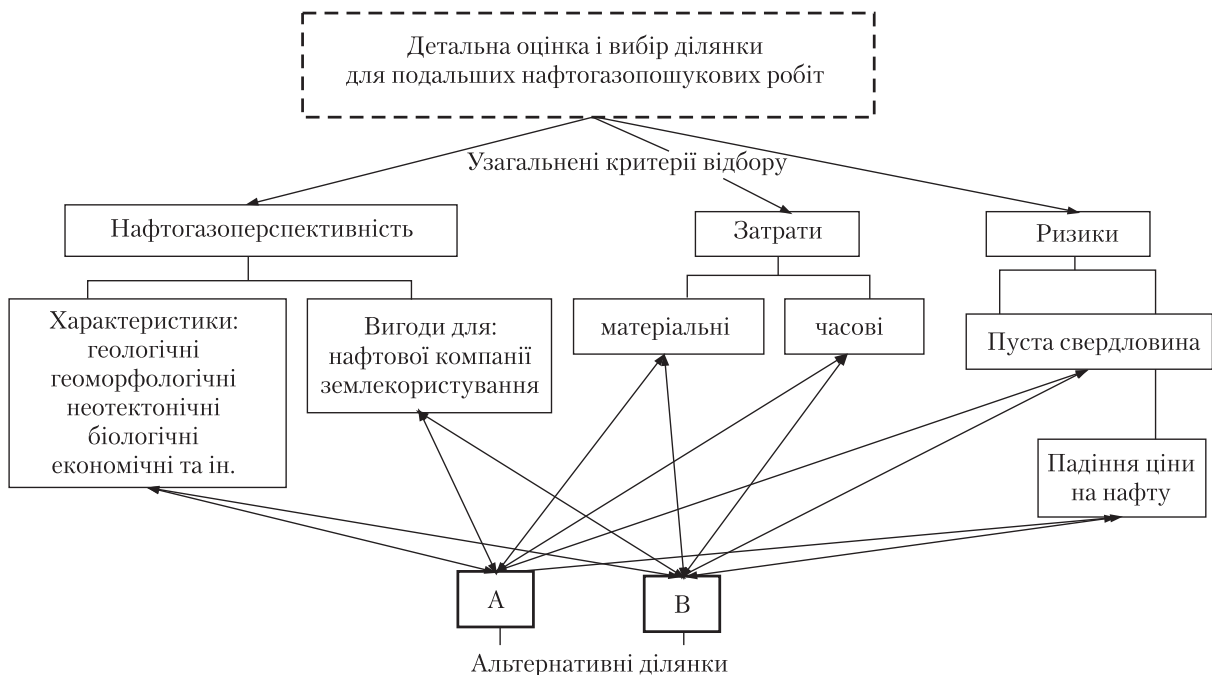
Потім в ПП Super Decision будуються взаємозв'язки між критеріями та альтернативами і по кожному вносяться експертні оцінки.

**Крок 2.** Розрахунок суперматриці і граничної матриці елементів взаємозв'язку. Визначається нафтогазоперспективність, затрати та ризики на кожній ділянці за окремими узагальненими критеріями.

**Крок 3.** Використовуючи стандартну адитивну (імовірнісну) формулу (additive (probabilistic)) з урахуванням узагальнених критеріїв і експертних оцінок щодо пріоритетів вибраних критеріїв, на основі кінцевого ранжування об'єктів були отримані фінальні результати оцінки ділянок Турутинсько-Рогінцівської зони ДДЗ:  $A = 0,45$ ;  $B = 0,55$ .

Таким чином, на прикладі Турутинсько-Рогінцівської зони ДДЗ показано можливість застосування методів багатокритеріальної оптимізації та аналітичних мереж для оцінки нафтогазоперспективності і вибору ділянок для подальших геофізичних та геохімічних розвідувальних робіт на основі міждисциплінарної інтеграції аерокосмічної й наземної інформації різної фізичної природи і даних різної розмірності.

На підставі отриманих значень функції  $F$  для кожної із 139 ділянок з використанням програми ArcGIS 10.0 було побудовано схему нафтогазоперспективності ділянок Турутинсько-Рогінцівської зони структур ДДЗ (див. рис. 2).



**Рис. 3.** Модель детальної оцінки і вибору ділянок території для нафтогазоперспективних робіт

Так, Турутинсько-Рогінцівська зона структур ДДЗ в центральній своїй частині розділяється навпіл долиною р. Ромен з дещо аномально підвищеним лівим бортом, саме тут і розташовані найбільш неотектонічно активні блоки, які співвідносяться зі Східнорогінцівським родовищем (10 балів), Північнорогінцівською, Східнокалінівською та Південнобочаренківською структурами (9–10 балів). У правобережній частині найбільші значення припадають на Великобубнівське родовище (9 балів). У неотектонічному плані досить значний інтерес становить блок, розташований на південний захід від Великобубнівського родовища (10 балів).

На другому етапі на прикладі дослідження двох ділянок, виділених на першому етапі за максимальним значенням функції  $F$ , було показано можливість детальної оцінки нафтогазоперспективності території методом аналітичних мереж з урахуванням вигід, затрат та ризиків.

#### ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Архіпова Т.О., Товстюк З.М., Козлов З.В., Федоровський О.Д., Якимчук В.Г. Оцінка нафтогазоперспективності територій з використанням системного підходу та космічної інформації для наступної геофізичної розвідки. *Геоінформ.* 2006. № 3. С.40–45.
2. *Атлас родовищ нафти і газу України*. В 6 т. М.М. Іванюта, В.О. Федішин, Б.І. Деніга та ін. (ред.). Львів: УНГА, 1998. Т. 1–3: Східний нафтогазоносний район.
3. Саати Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети. Москва: КД “Либроком”, 2009. 360 с.
4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Москва: Радио и связь, 1993. 186 с.
5. Федоровский А.Д., Даргейко Л.Ф., Зубко В.П., Якимчук В.Г. Системный подход к оценке эффективности аппаратурных комплексов дистанционного зондирования Земли. *Космична наука і технологія*. 2001. 7, № 5-6. С. 75–79.
6. Явление парагенезиса субвертикальных зонально-кольцеобразных геофизических, геохимических и биогеохимических полей в осадочном чехле земной коры. Диплом на открытие 234 от 24.07.1980.

Надійшло до редакції 31.01.2017

#### REFERENCES

1. Arkhipova, T. O., Tovstyuk, Z. M., Kozlov, Z. V., Fedorovsky, O. D. & Yakymchuk, V. G. (2006). Assessment of gas and oil prospects of areas based on systematic approach and space information for next geophysical survey. *Geoinform.*, No. 3, pp. 40-45 (in Ukrainian).
2. Ivanyuta, M. M., Fedyshyn, V. O., Denega, B. O., Arciriy, Y. O. & Lazaruk Y. G. (Eds) (1998). Atlas of oil and gas deposits of Ukraine (in 6 volumes). Lviv: UNGA. (Vol. 1–3: Eastern oil and gas bearing area) (in Ukrainian).
3. Saati, T. (2009). Decision making in dependencies and feedbacks: analytical networks. Moscow: Bookshop “LIBROKOM” (in Russian).
4. Saati, T. (1993). Decision making. Methods of hierarchy analysis. Moscow: Radio i svyaz (in Russian).
5. Fedorovsky, A. D., Dargeiko, L. F., Zubko, V. P. & Yakimchuk, V. G. (2001). Systematic approach to efficiency assessment of hardware systems of remote sensing of Earth. *Space Science and Technology*, 7, No. 5-6, pp. 75-79 (in Russian).
6. Diploma on the discovery 234. Belolikhov, N. I., Davydova, L. N., Zor'kin, L. M., Karus, Ye. V., Kirichek-Bondareva, M. A., Korkh, Z. A., Kuznetsov, O. L., Mogilevskiy, G. A., Petukhov, A. V., Polshkov, M. K., Ratner, Ye. I., Rogotskiy, G. V., Sidorenko, A. V., Sidorenko, S. A., Chakhmakhchev, V. G., Chirkin, I. A. The phenomenon of paragenesis of subvertical zone-ring-like geophysical, geochemical, and biogeochemical fields in the sedimentary section of Earth's crust. Regist. 24.07.1980 (in Russian).

Received 31.01.2017

*A.V. Khizhnyak, A.I. Arkhipov, A.D. Fedorovskiy, T.A. Efimenko*

ГУ “Научный центр аэрокосмических исследований Земли  
Института геологических наук НАН Украины”, Киев  
E-mail: ania1331@ukr.net

ПОИСК ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА  
КОСМИЧЕСКОЙ И НАЗЕМНОЙ ИНФОРМАЦИИ МЕТОДАМИ  
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ И АНАЛИТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ  
(НА ПРИМЕРЕ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ)

На примере Турутинско-Рогинцевской зоны структур Днепровско-Донецкой впадины обоснована возможность оценки нефтегазоперспективности участков суши на основе анализа космической и наземной информации методами многокритериальной оптимизации и аналитических сетей.

**Ключевые слова:** нефтегазоперспективные участки, многокритериальная оптимизация, оптические аномалии, аналитические сети.

*A.V. Khizhnyak, O.I. Arkhipov, O.D. Fedorovsky, T.A. Yefhimenko*

Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth  
of Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, Kiev  
E-mail: ania1331@ukr.net

SURVEY OF HYDROCARBON DEPOSITS BASED ON THE ANALYSIS  
OF SPACE AND SURFACE INFORMATION VIA METHODS  
OF MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION AND ANALYTICAL NETWORKS  
(CASE OF THE DNIEPER-DONETS DEPRESSION)

As exemplified by the case of the Turutynsko-Rohintsivskaya zone in the Dnieper-Donets depression, the potential for the assessment of onshore oil and gas prospects is substantiated on the basis of the analysis of space and surface information through methods of multi-criteria optimization and analytical networks.

**Keywords:** oil and gas areas, multi-criteria optimization, optical anomalies, analytical network.