НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА УСТАНОВА «НАУКОВИЙ ЦЕНТР АЕРОКОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЕМЛІ ІНСТИТУТУ ГЕОЛОГІЧНИХ НАУК НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ»

АПОСТОЛОВ ОЛЕКСАНДР АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 553.98:528.77

ВДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ЛІНЕАМЕНТНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ОЦІНКИ ПЕРСПЕКТИВНОСТІ ТЕРИТОРІЇ НА ПОШУКИ ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ

05.07.12 – Дистанційні аерокосмічні дослідження

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата геологічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.
Робота виконана в Державній установі «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України».

Науковий керівник: доктор геолого-мінералогічних наук, професор, академік НАН України
Лялько Вадим Іванович,
Державна установа «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», головний науковий співробітник.

Офіційні опоненти: доктор геологічних наук, старший науковий співробітник
Верховцев Валентин Геннадійович,
Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», завідувач відділу спеціальної металогенії.

доктор геологічних наук, старший науковий співробітник
Ломакін Ігор Емануїлович
Державна наукова установа «Центр проблем морської геології, геоекології та осадового рудоутворення НАН України», завідувач відділу тектоніки та морської геоекології.

Захист відбудеться 27 квітня 2021 р. об 14^{00} годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д26.162.03 Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України» за адресою 01054, м. Київ, вул. Олеся Гончара, 55-Б.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту геологічних наук НАН України (Україна, 01054, м. Київ, вул. Олеся Гончара, 55-Б) та на сайті ЦАКДЗ ІГН НАН України:
https://www.casre.kiev.ua/uk/organization/abstracts-and-dissertations-since-2015

Автореферат розісланий «___» березня 2021 р.

Секретар спеціалізованої
вченої ради Д 26.162.03
кандидат геологічних наук О.В. Седлерова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. До найважливіших стратегічних завдань України відноситься здобуття енергетичної незалежності, одним із шляхів вирішення якого є забезпечення країни паливно-енергетичною сировиною за рахунок збільшення обсягів видобутку нафти і газу.

На сьогодні відбулося значне скорочення кількості родовищ вуглеводнів, що відносно легко виявлялися при пошукових роботах. Головними об’єктами пошуку покладів вуглеводів залишились невеликі за розмірами родовища.

Вони відносно слабо проявлені в фізичних полях, що знижує ефективність їх дослідження геофізичними методами. Залягають такі родовища на все більшій глибині і відзначаються складними геологічними умовами.

Для їх ефективного прогнозу та пошуку необхідно використовувати всі фактори, що визначають формування покладів вуглеводнів. Одним з важливих факторів, що визначає перспективність території на пошуки покладів вуглеводнів є тріщинна проникність порід пов'язана з розломами, які визначають формування покладів вуглеводнів.

Відомі методи оцінки тріщинної проникності порід визначаються значною трудомісткістю та не можливістю їх застосування в умовах відсутності відслонення порід. В цих умовах, логічно застосувати для дослідження тріщинуватості порід лінеаменти, що дешифруються за матеріалами дистанційного зондування.

Інтенсивне впровадження методів дистанційного зондування Землі в задачі пошуку і прогнозу родовищ корисних копалин, обумовлено принципово новими можливостями, головними з яких є оглядовість космічних знімків, об'єктивність, достовірність, економічна доцільність їх застосування, а також можливість фіксації явищ і процесів, які недоступні для спостереження іншими методами або вимагають великих затрат праці.

З метою підвищення достовірності оцінки нафтогазоносності території у дисертаційній роботі запропоновано застосовувати метод просторово-ймовірнісного прогнозу покладів корисних копалин за матеріалами лінеаментного аналізу. У якості ознак нафтогазоносності території було використано зв'язок покладів з тріщинною проникністю порід. Розроблено метод кількісної оцінки лінеаментів різної просторової орієнтації за матеріалами космічної зйомки. Результати оцінки тріщинної проникності порід дозволяють уточнити розломні структури району.

Запропонована методика дослідження дозволить оперативно, з мінімальними затратами часу і коштів, провести оцінку перспективності території, а отримані в процесі дослідження матеріали лінеаментного аналізу можна включати до комплексу геофізичних досліджень, які традиційно використовують для прогнозу нафтогазоносності.

Отже, дисертаційна робота присвячена вдосконаленню методики лінеаментного аналізу для оцінки перспективності території на поклади вуглеводнів, яка є складовою частиною вирішення важливої наукової і народногосподарської проблеми щодо підвищення ефективності пошуків

родовищ нафти і газу за даними наземних та космічних зйомок. Але для цього потрібно вирішити ряд методичних питань.

Таким чином, ***актуальним науковим завданням***, яке вирішується у даній роботі, є розробка нових методів і технологій представлення результатів структурного дешифрування в кількісній формі для подальшої прогнозної оцінки території на пошуки покладів вуглеводнів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, результати яких відображені у дисертаційній роботі, виконувались у відповідності до науково-дослідних робіт, які проводилися в ДУ "Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України" згідно з темами: НДР "Дослідження фундаментальних процесів енергомасообміну в системі "ґрунт-вода-рослина" з метою обґрунтування формування на земній поверхні інформативних спектральних сигналів для пошуків корисних копалин та контролю екологічного стану за допомогою аерокосмічних зйомок" (Державний реєстраційний № 0102U000926); ДКР "Відпрацювання та впровадження методики, переданої в НЦУВКЗ" (контракт за №2–03/04–ЦАКДЗ/05 від 27.05.2005р. між Державним підприємством «Дніпрокосмос» та ЦАКДЗ ІГН НАН України (шифр: Космокарта-ЦАКДЗ); НДР "Методологія пошуку корисних копалин на основі геоінформаційного підходу до комплексного інтерпретування матеріалів аерокосмічного багатоспектрального / гіперспектрального знімання і даних наземних фізичних вимірювань та спостережень" (Державний реєстраційний № 0107U002302); НДР "Методи інформаційного інтегрування даних багатоспектрального аерокосмічного знімання, польової спектрометрії і геолого-геофізичних даних при вирішенні завдань дистанційного пошуку корисних копалин на суходолі і морському шельфі" (Державний реєстраційний № 0112U000702); НДР "Розширення перспектив нарощування запасів корисних копалин на основі нових технологій аерокосмічних досліджень Землі" (Державний реєстраційний № 0017U004166); НДР "Розробка методики прогнозу нафтогазоносності на основі вивчення геофлюїднодинамічних процесів у розломних зонах з використанням матеріалів супутникових зйомок і геолого-геофізичної інформації (на прикладі бортових зон Дніпровсько-Донецької западини)" (Державний реєстраційний № 0116U006402).

Мета і завдання дослідження: *Метою дисертаційної роботи* є вдосконалення методики лінеаментного аналізу для оцінки перспективності території на пошуки покладів вуглеводнів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- вдосконалення методу визначення кількості систем лінеаментів (їх меж та модальних значень);
- визначення зв'язку між розмірами вікон осереднення лінеаментів та глибиною залягання покладів вуглеводнів;
- практичне застосування вдосконаленої методики лінеаментного аналізу для прогнозної оцінки території на виявлення покладів вуглеводнів;
- розробка рекомендацій щодо застосування запропонованої методики.

Об'єкт дослідження: тріщинна проникність гірських порід.

Предмет дослідження: лінеаменти, дешифровані на основі даних ДЗЗ, як відображення тріщин порід, що визначає вірогідність формування покладів вуглеводнів.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених завдань використовувались:

- аерокосмогеологічні методи – для структурного дешифрування даних ДЗЗ;
- методи абстрактної алгебри та аналітичної геометрії – для побудови і здвигу вікна осереднення за напрямком, а також для підрахунку кількості, довжини лінеаментів у вікні;
- методи математичної статистики – при аналізі поля лінеаментів (використання непараметричних статистичних критеріїв);
- метод кореляційного аналізу – для визначення взаємозв'язку між розподілами даних (нічної та денної температури, щільності лінеаментів за геологічними даними і побудованою картою щільності лінеаментів для всього району);
- метод теорії ймовірності – використання функції відношення правдоподібності для комплексування даних карт щільності лінеаментів;
- методи ГІС-технологій – для зіставлення різноманітної інформації та формування ГІС-проєкту.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому, що:

1. ***Вдосконалено*** методику аналізу орієнтування лінеаментів з метою виділення систем лінеаментів, що заснована на аналізі мінімумів та максимумів розподілу азимутів простягання лінеаментів, з урахуванням зсуву початкової точки інтервалу групування.

2. ***Визначено*** залежність між кількістю виділених систем та значеннями інтервалу групування лінеаментів.

3. ***Обґрунтовано*** вибір розмірів вікна осереднення для побудови карт щільності лінеаментів, в залежності від глибини залягання покладів нафти та газу.

4. ***Встановлено*** складний характер зв'язку між значеннями щільності лінеаментів окремих систем та покладами вуглеводнів. Поклади вуглеводнів відсутні в полях мінімальних та максимальних значень щільності окремих систем, а розташовані в оптимальних (проміжних) їх значеннях. Комплексування даних різних систем щільності лінеаментів між собою підвищує достовірність результатів прогнозу.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів підтверджується застосуванням сучасних статистичних, ймовірнісних, кореляційних методів та засобів дослідження, використанням високоякісних багатозональних космічних знімків, цифрової моделі рельєфу за даними ДЗЗ, топографічних карт різних масштабів, а також збігом перспективних територій, виділених за пропонованою методикою, з геологічною будовою району, результатами наземних пошуково-розвідувальних робіт, а саме, з відомими продуктивними свердловинами, даними пошукового буріння.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості дослідження будови розломів за даними лінеаментного аналізу та кількісної оцінки перспективності території на поклади вуглеводнів, їх використанні в комплексі з даними геофізичних і геохімічних досліджень.

Вдосконалена методика була реалізована при виконанні господарчих договорів:

- “Проведення досліджень з використанням матеріалів космічних зйомок для прогнозування нафтогазоносних об’єктів на площах Крутовської, Леоновської, Тишкинської і Романовської ліцензійних ділянок (Ростовська область РФ) по визначенню місць проведення детальних наземних робіт для розміщення пошукових та розвідувальних свердловин” за Договором № 1/2006 від 12.01.2006;
- “Складання карти прогнозу нафтогазоносності Холмської ліцензійної ділянки (Сахалінська область, Російська Федерація) за матеріалами космічної зйомки в масштабі 1:50000” за Договором від 15.11.2006;
- “Складання карти прогнозу нафтогазоносності Некрасовської ліцензійної ділянки (Сахалінська область, Російська Федерація) за матеріалами космічної зйомки в масштабі 1:50000” за Договором від 10.05.2007.

За результатами досліджень отримано (у співавторстві) 1 патент України на винаходи.

Особистий внесок здобувача полягає в тому, що основні результати дисертаційного дослідження отримані здобувачем особисто. Автором проаналізовано більшість з-поміж існуючих на теперішній час підходів до дешифрування та аналізу лінеаментів за матеріалами космічної зйомки, що викладено у понад 40 наукових роботах іноземних авторів, а також понад 20 робіт сучасних наукових вітчизняних дослідників. Дисертантом самостійно вдосконалено методику лінеаментного аналізу для оцінки перспективності території на поклади вуглеводнів. Оброблено понад 15 супутникових знімків отриманих різними сенсорами, цифрову модель рельєфу, проведено аналіз закономірного розподілу азимутів простягання поля лінеаментів, виділено кількість, межі та модальні значення систем лінеаментів, побудовано карти щільності поля лінеаментів з використанням його різних параметрів. Автором розроблена програма Lineament на мові програмування Delphi для кількісної обробки поля лінеаментів. Оцінено зв'язок між картами щільності лінеаментів та покладами вуглеводнів (об’єктами навчання) та за допомогою методу просторово-ймовірнісного прогнозування проведено оцінку перспективності території на поклади вуглеводнів. Укладено карти прогнозу перспективності території на пошуки покладів вуглеводнів.

Основні результати дисертаційного дослідження висвітлені у ряді наукових праць. Серед праць опублікованих у співавторстві внесок здобувача полягає у наступному:

– у роботах [6-7, 9-15] обґрунтовано можливості сумісного використання сучасних технологій ДЗЗ, ГІС для вирішення природоресурсних, зокрема геологічних задач (пошуку покладів нафти та газу);

– у роботах [1-2, 4-5, 20-21] запропоновано вдосконалену методику лінеаментного аналізу;

– у роботах [1, 3, 8, 15, 16, 17, 19, 21] проведено застосування вдосконаленої методики для прогнозування покладів вуглеводнів за даними лінеаментного аналізу;

– у роботах [1-2] запропоновано та проведено апробацію вдосконаленої методики лінеаментного аналізу для оцінки перспективності території на поклади вуглеводнів на полігонів (Тарханкутського півострову Криму, Дніпровсько-Донецької западини (Україна); Сахалінської нафтогазоносної провінції (РФ));

– у роботах [13-14] розроблено алгоритми та програму Lineament.

Апробація результатів. Результати дисертаційних досліджень апробовані на наукових конференціях і семінарах: Міжнародна науково-практична конференція “ГІС Форум-2001” (Київ, 2001); Школа-семінар для молодих науковців “Наукові космічні дослідження” (с. Жукін, Київська область, 2003); Девятая международная конференции пользователей ESRI и Leica Geosystems в Украине “Геоинформационные технологии в управлении территориальным развитием” (Ялта, 2006); Восьмая всероссийская научно-практическая конференция “Геоинформатика в нефтегазовой и горной отраслях” (Москва, 2007); Перша наукова конференція “Науки про Землю та Космос – суспільству” (Київ, 2007); International Conference on the Use of Space Technology for Water Management (Saudi Arabia, Riyadh, 2008); ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS (Vienna, Austria, 2010); Восьмая Всероссийская открытая конференция “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса” (Москва, 2010), 14-а Українська конференція з космічних досліджень (Ужгород, 2014), Двенадцатая Всероссийская Открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)» (Москва, 2014).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 21 роботу, зокрема: дві колективні монографії, 4 статті у журналах, що внесені до Переліку наукових фахових видань України з геологічних наук, одна стаття у періодичному науковому виданні країни Європейського Союзу з наукового напрямку, за яким підготовлено дисертацію, один патент у співавторстві, 4 статті, що додатково висвітлюють зміст дисертації, 9 публікацій у збірниках матеріалів і тез доповідей вітчизняних та міжнародних конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаної літератури (218 найменувань на 24 сторінках) та 3 додатків на 4 сторінках. Робота викладена на 196 сторінках, що містять 165 сторінок основного тексту, 48 рисунків і 31 таблицю.

Автор висловлює щиру подяку член-кореспонденту НАН України М. О. Попову за увагу при виконанні роботи. Автор щиро дякує науковому керівнику академіку НАН України В. І. Ляльку та колегам ЦАКДЗ ІГН НАН України к.геол.-мін.н. А. Я. Ходоровському та к.геогр.н. Л. О. Єлістратовій.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність вдосконалення методики лінеаментного аналізу для оцінки перспективності території на пошуки покладів вуглеводнів. Описано наукову новизну отриманих результатів дисертації, їхнє практичне значення та подано інформацію про особистий внесок здобувача, апробацію роботи, список опублікованих за даною тематикою робіт, і перелік наукових програм, пов’язаних із описаними в роботі дослідженнями.

Перший розділ – «***Досвід застосування лінеаментного аналізу в задачах прогнозування покладів вуглеводнів***» – присвячений вивченню вітчизняного та зарубіжного досвіду застосування лінеаментного аналізу в задачах вивчення геологічної будови території та прогнозуванню покладів вуглеводнів. Наведено загальні відомості про лінеаменти, поняття та визначення; показано зв'язок лінеаментів з геологічною будовою земної кори та фізичні механізми прояву лінеаментів на космічних знімках; розглянуто основні підходи, методи та алгоритми виділення лінеаментів за геолого-геофізичними та аерокосмічними даними.

Обґрунтовано доцільність застосування аерокосмічних методів. Оскільки собівартість наземних пошукових робіт велика, та не завжди є в наявності геолого-геофізичні дані на всю територію дослідження, економічної актуальності набувають експрес-технології, які дозволяють дати прогнозну оцінку території на пошуки покладів вуглеводнів за відносно невеликі кошти. Однією з таких технологій є лінеаментний аналіз даних структурного дешифрування, побудова карт щільності лінеаментів для дослідження геологічної будови території та прогнозної оцінки території на пошуки покладів вуглеводнів.

Проведений аналіз літературних джерел показав, що значний внесок у розвиток теоретичних і методологічних аспектів обробки та аналізу космічних даних для вирішення геологічних завдань внесли такі сучасні українські дослідники, як Чебаненко І. І., Тяпкин К. Ф., Бусигін Б. С., Нікулін С. Л., Верховцев В. Г., Ломакін І. Е., Лялько В. І., Азімов О. Т., Товстюк З. М., Філіпович В. Є., Перерва В. М., Ліщенко Л. П., Сахацький О. І., Мичак А. Г, Ходоровський А. Я., Титаренко О. В. та інші. Наукові праці цих дослідників взяті за теоретичну основу дисертаційного дослідження. Огляд та аналіз літератури показав, що більшість дослідників не дійшли згоди з приводу єдиного визначення терміну «*лінеамент*». Виходячи з проведеного аналізу у дисертаційному дослідженні буде використане поняття терміну «*лінеамент*» – як будь-які лінійні форми ландшафту, які не пов’язані з антропогенною діяльністю. Крім того, при огляді існуючих методик лінеаментного аналізу виявлено суттєві недоліки: при дешифруванні лінеаментів не має єдиного принципу, як виділяти лінеаменти при структурному дешифруванні; при побудові графіку розподілу азимутів простягання лінеаментів використовують довільне обране, не обґрунтоване значення інтервалу групування лінеаментів, а це безпосередньо впливає на кількість систем, що виділяються; не аналізувалися мінімуми на графіках розподілу азимутів простягання

лінеаментів, аналіз мінімумів має важливе значення, оскільки допомагає впевнено встановити межі систем лінеаментів; не враховуються гістограми розподілів лінеаментів, складені зі зміною розташування первинної точки відліку; розміри ковзного вікна, що використовується для побудови карт щільності лінеаментів, встановлюються різними авторами довільно; оцінка зв'язку між покладами вуглеводнів та картами щільності лінеаментів різних систем відбувається візуально, а загальний вплив полів щільності лінеаментів різних систем майже не оцінюється. Саме цим аспектам буде приділена особлива увага в наступних розділах.

Розглянутий зв'язок лінеаментів з геологічною будовою земної кори, дозволив встановити, що лінеаменти, як своєрідні природні індикатори глибинного поділу земної кори, відображають канали, що доставляють різні флюїди і розчини на поверхню Землі, а тому можуть слугувати прямими індикаторами при прогнозуванні та пошуку родовищ вуглеводнів. Розглянуті та проаналізовані існуючі методики, підходи, методи і алгоритми виділення лінеаментів за дистанційними даними. Аналіз показав, що немає єдиних узагальнюючих принципів і засобів для виділення кількості систем лінеаментів, їх меж та модальних значень. Тому необхідним є вдосконалення методики кількісного аналізу поля лінеаментів з достовірним виділенням систем лінеаментів та кількісної оцінки перспективності території на наявність покладів вуглеводнів з використанням побудованих карт щільності лінеаментів. Таким чином, використання результатів вдосконаленої методики дозволить виділяти відносно невеликі від загальної площі геологічно обґрунтовані перспективні ділянки, що підвищить точність результатів прогнозно-пошукових робіт і це, в свою чергу, суттєво знизить вартість наземних геолого-геофізичних робіт.

Другий розділ – **“*Вдосконалення методики лінеаментного аналізу даних дистанційних зондування Землі для прогнозування покладів вуглеводнів*”**, в ньому обґрунтовано основні передумови та допущення для вдосконалення методики лінеаментного аналізу; наведено умови формування ГІС-проєкту; отримано результати структурного дешифрування даних ДЗЗ; зроблено кількісний опис поля лінеаментів за рахунок оцінки достовірності виділення усіх максимумів і мінімумів на гістограмі розподілу лінеаментів з врахуванням зміщення початкової точки інтервалу групування; виділено межі систем лінеаментів, їх модальні значення та кількість систем лінеаментів; встановлено залежність кількості систем лінеаментів, що виділяються, від значення інтервалу групування лінеаментів; визначено залежність між розмірами ковзного вікна та глибиною залягання покладів вуглеводнів; побудовано карти щільності лінеаментів з використанням різних ознак; сформовано комплекс ознак для прогнозної оцінки території на пошуки покладів вуглеводнів. На основі всіх перелічених передумов та допущень у розділі 2 на рис. 1 наведено графічну модель вдосконаленої методики лінеаментного аналізу для оцінки перспективності території на пошуки покладів вуглеводнів за даними наземних та дистанційних матеріалів. Процес

розроблення основних положень вдосконалення методики лінеаментного аналізу включав 5 етапів.

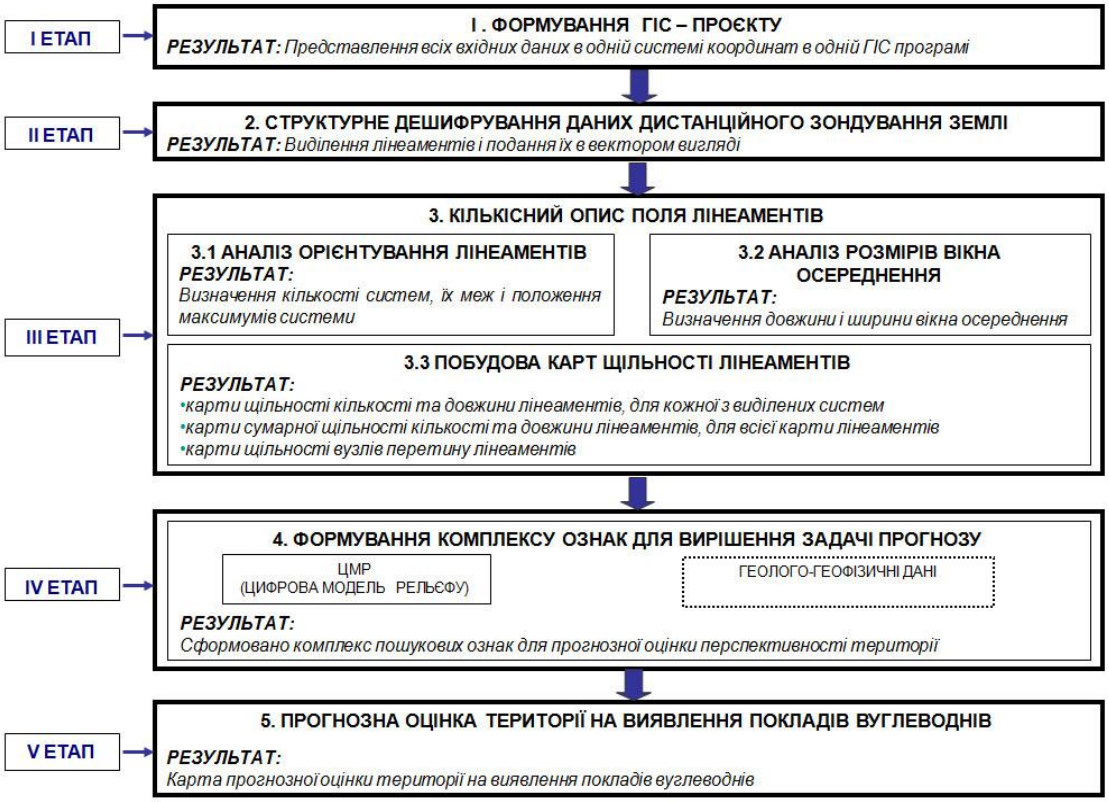


Рис. 1. Графічна модель вдосконаленої методики лінеаментного аналізу для оцінки перспективності території на пошуки покладів вуглеводнів за даними наземних та дистанційних матеріалів

Перший етап методики – «Формування ГІС-проєкту». Основною метою цього етапу є отримання набору вхідних верифікованих матеріалів та створення бази даних в середовищі ГІС. У якості вхідної інформації залучаються матеріали багатозональної космічної зйомки з супутників (Sentinel 2, Landsat та ін.), цифрова модель рельєфу (DEM), топографічні карти масштабу 1:100000, матеріали попередніх геолого-геофізичних та пошуково-розвідувальних робіт на територію дослідження.

На рис. 2, наведено інформаційну блок–схему формування ГІС-проєкту, де вказано, як необхідно проводити геометричну корекцію вхідних даних.

Рис. 2. Інформаційна блок-схема формування ГІС-проєкту

Результат формування ГІС-проєкту наведений на рис. 3.

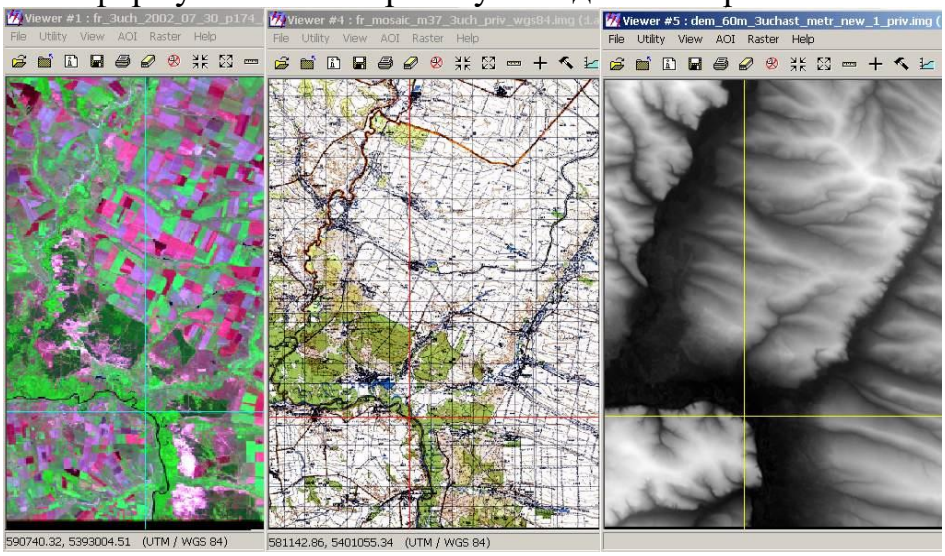
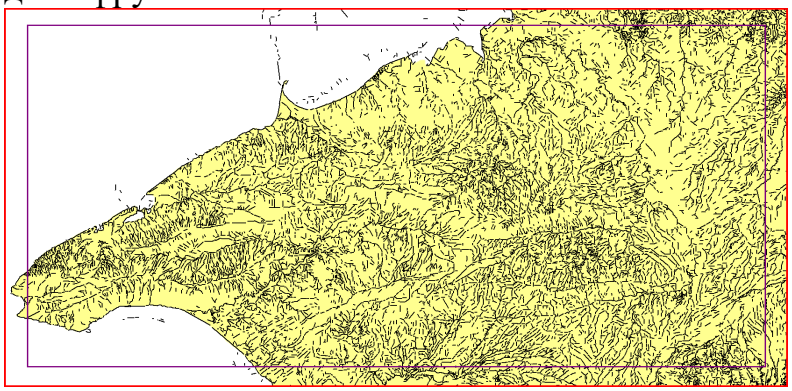


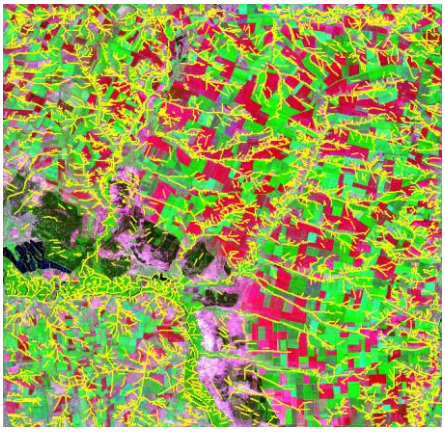
Рис. 3. Зіставлення зображень в програмі ERDAS Imagine на територію дослідження: *а* – фрагмент космічного знімка з супутника Landsat, зроблений 30 липня 2002 року, *б* – фрагмент топографічної карти масштабу 1:100000, *в* – фрагмент цифрової 2-D моделі рельєфу (ЦМР)

Отже результатом першого етапу є можливість використовувати різнорідну інформацію в одному ГІС-проєкті, що дозволяє проводити її сумісний аналіз.

Другий етап методики – «*Структурне дешифрування даних дистанційного зондування Землі*». Під лінеаментами розуміються всі лінійні елементи ландшафту, рельєфу, рослинного покриву та ін., які не пов’язані з антропогенною діяльністю людини. За результатами структурного дешифрування виділяються всі лінеаменти незалежно від їх орієнтування, типів геоіндикаторів, за якими проводилось дешифрування. Лінеаменти дешифруються так, як вони показані на зображенні, без об’єднання сусідніх лінеаментів. На рис. 4 наведено приклади результатів структурного дешифрування.



а



б

Рис. 4. Карта лінеаментів створена за результатами дешифрування космічних знімків: а) Тарханкутського півострову Криму, кількість лінеаментів – 17189, б) південно-східної частини Дніпровсько-Донецької западини, кількість лінеаментів – 7356

Отже результатом другого етапу запропонованої вдосконаленої методики лінеаментного аналізу є виділення лінеаментів та подання їх у векторному вигляді.

Третій етап методики – «*Кількісний опис поля лінеаментів*». Реалізація етапу методики базується на послідовному виконанні складових блоків наведених на рис. 5:

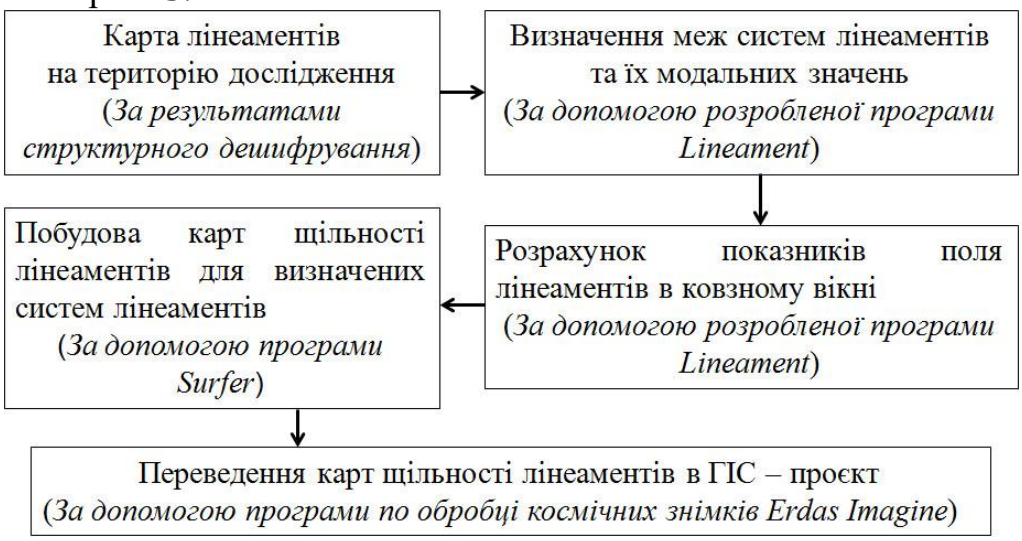


Рис. 5. Графічна модель блок-схеми кількісного опису поля лінеаментів

Вдосконалено метод аналізу орієнтування лінеаментів з метою виділення кількості систем лінеаментів, їх меж та модальних значень (рис. 6).

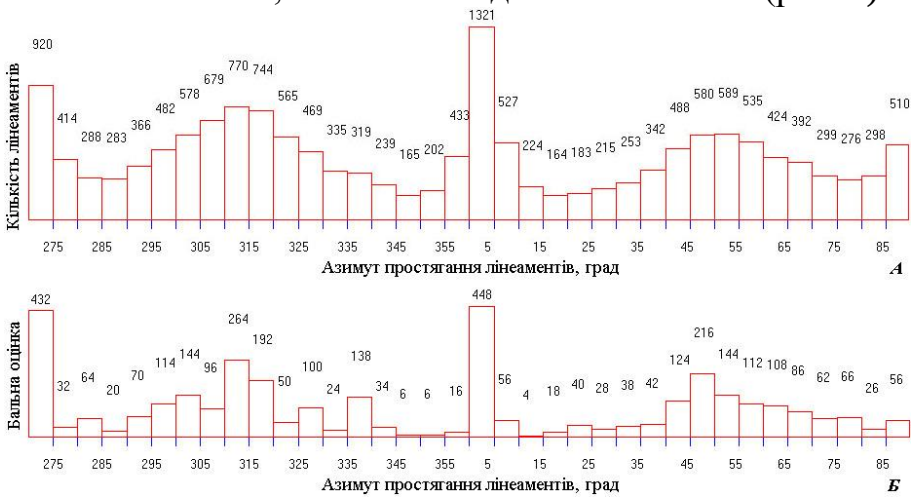


Рис. 6. Гістограми розподілу азимутів простягання лінеаментів території зони відчуження Чорнобильської АЕС: *А* – без спеціальної математичної обробки; *Б* – з використанням запропонованого методу обробки вимірювань

Пропонується виконати 4 кроки: проводиться розбивка території дослідження на окремі ділянки, що не перетинаються між собою, для замірів орієнтування лінеаментів. Ділянки розташовуються відносно рівномірно на досліджуваній площі та характеризуються досить однорідною геологічною будовою і близькими ландшафтними умовами; встановлюється значення інтервалу групування лінеаментів; для кожної виділеної ділянки території встановлюється факт наявності неоднорідності в розподілах вимірів азимутів простягання лінеаментів, за допомогою статистичного критерію Пірсона. Відмінності аналізованих розподілів від рівномірного розподілу при рівні

значущості 0,05 вказують на неоднорідний характер розподілів азимутів простягання лінеаментів і на наявність систем лінеаментів. Далі встановлюється достовірність виділення окремих максимумів і мінімумів розподілів, побудованих за даними замірів орієнтування лінеаментів на всіх виділених ділянках території. Таким чином кожен мінімум та максимум розподілів отримає своє значення χ^2, яке потім перетворюємо в бальну оцінку; модальні значення максимумів і мінімумів з урахуванням достовірності їх виділення використовуються для побудови графіка їх розподілу для всієї території дослідження. На графіку цього підсумкового розподілу чітко виділяються межі, модальні значення та кількість систем лінеаментів, загальні для всієї площі робіт.

Проаналізовано залежність між значеннями інтервалу групування лінеаментів та кількістю систем, що виділяються (рис. 7).

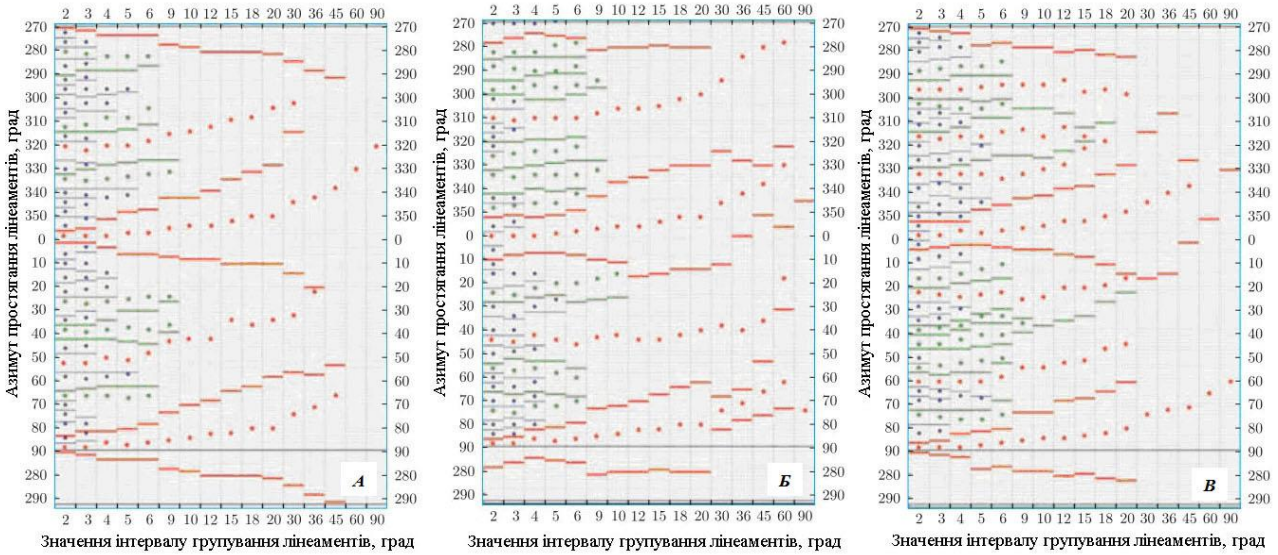


Рис. 7. Графіки виділення систем лінеаментів при різних значеннях інтервалу групування: а) Тарханкутський півострів, Крим; б) район Чорнобильської АЕС; в) південно-східна частина Дніпровсько-Донецької западини. *Червоні лінії* – системи лінеаментів максимальної протяжності (значення інтервалу групування 2º-90º); *зелені лінії* – системи лінеаментів середньої протяжності (значення інтервалу групування 2º-20º); *сині лінії* – системи лінеаментів мінімальної протяжності (значення інтервалу групування 2º-5º). *Зірочки* – модальні значення системи лінеаментів.

Встановлено обернену пропорційну залежність між значеннями інтервалу групування лінеаментів та кількістю систем, що виділяються. Тобто при збільшенні значення інтервалу групування лінеаментів кількість виділених систем лінеаментів зменшується і навпаки. Субширотні та субмеридіональні системи лінеаментів, при зміні значення інтервалу групування не поділяються на більш дрібні, в той час як діагональні навпаки розпадаються на більш дрібні.

Отже результатом блоку «*Аналіз орієнтування лінеаментів*» є визначення кількості систем, їх меж та положення максимумів системи.

Наступним блоком є «*Аналіз розмірів вікна осереднення*». Результатом цього блоку є визначення розмірів ковзного вікна осереднення для оцінки перспективності території на пошуки покладів вуглеводнів.

Для встановлення оптимальних розмірів ковзного вікна було визначено, що кількість ковзних вікон осереднення, де значення розрахункової ознаки дорівнює 0, не має перевищувати 10 % від загальної кількості ковзних вікон. Ковзне вікно осереднення має бути прямокутної форми та довга сторона має бути орієнтована згідно модального значення кожної системи. Довга сторона ковзного вікна осереднення має приблизно в 2 рази бути більшою за глибину залягання покладів вуглеводнів.

У межах південно-східної частини ДДЗ було проведено аналіз зв'язку розмірів ковзного вікна лінеаментів та глибиною залягання відомих покладів вуглеводнів (рис. 8).

а

Ефективність (> 1.5)			Ефективність (1 – 1.5)		
Розмір більшого вікна осереднення, м	Глибина м	Відношення	Розмір більшого вікна осереднення, м	Глибина м	Відношення
3000	1750	1.7	4000	1825	2.3
5000	2150	2.2	5500	2125	2.6

б

Рис. 8. Залежність ефективності (E>1,5) виявлення покладів вуглеводнів від розмірів ковзного вікна, що були застосовані для побудови карт щільності лінеаментів. *Синій колір* – фактичні дані, *червоний* – апроксимовані дані (*а*) та зіставлення значень ефективності з глибинами залягання вуглеводнів (*б*)

Таким чином, в середньому коефіцієнт залежності між більшою стороною вікна осереднення лінеаментів та глибиною залягання покладів вуглеводнів дорівнює 2,2 і збільшується зі збільшенням глибини залягання покладів.

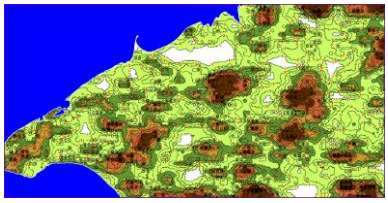
Отримані результати свідчать про необхідність при побудові карт щільності лінеаментів враховувати глибини залягання покладів вуглеводнів та відповідно обирати розмір ковзного вікна обробки поля лінеаментів.

Наступним блоком є «*Побудова карт щільності лінеаментів*». Результатом є побудовані карти щільності лінеаментів за визначеною кількістю систем, їх меж та модальних значень. Розрахунок ознак (кількість, довжина лінеаментів, вузли перетину лінеаментів та ін.) в ковзному вікні виконаний в розробленій автором програмі на мові програмування Delphi.

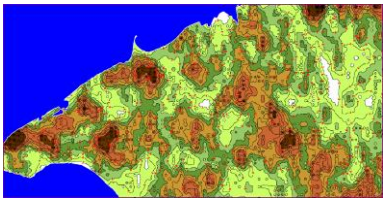
Програма працює з полем лінеаментів на території дослідження. Реалізовано автоматичну оцінку мінімумів і максимумів розподілу азимутів простягання лінеаментів за непараметричним критерієм Пірсона.

Побудовано новий розподіл бальної оцінки для значень інтервалу групування лінеаментів. Реалізовано розрахунок ознак поля лінеаментів в ковзному вікні прямокутної форми. Розміри, орієнтування ковзного вікна, межі та кількість систем задається користувачем.

Результати розрахунків представлені у вигляді файлу, де вказані координати центру ковзного вікна осереднення та значення розрахункової ознаки, безпосередньо побудова карт щільності лінеаментів виконувалась в програмі Surfer (рис. 9).



а



б

Рис. 9. Карти щільності лінеаментів: *а*) система 8: 75º-281º, *б*) система 4: 344º-10º

Виконано перевірку побудованих карт щільності лінеаментів на достовірність за геологічними (зіставлення з розломами району) (рис. 10) та дистанційними даними (зіставлення з нічною та денною температурою підстильної поверхні для класу «відкритий ґрунт», розрахованою за супутниковими даними) (рис. 11), що дає можливість використовувати їх при прогнозних дослідженнях.

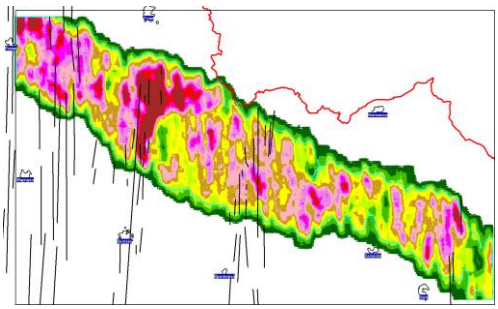


Рис. 10. Карта щільності лінеаментів системи 4: (341º-10º) на територію Північного борту ДДЗ, побудована ковзним вікном розміром 14 на 4 км

На карті (рис. 10) виявлено, що розломи виділені за геолого-геофізичними даними добре співпадають з полями підвищених значень лінеаментів відповідних систем. Розподіли щільності лінеаментів даних систем, що відповідають розломам виділеним за геолого-геофізичними даними значно відрізняються від розподілу за їх межами за критерієм Колмогорова-Смирнова.

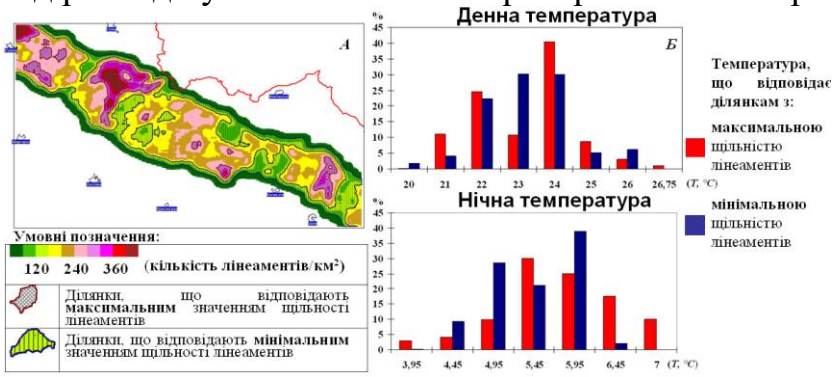


Рис. 11. Зони мінімальної та максимальної щільності лінеаментів за картою щільності всіх лінеаментів (а) та розподіл значень нічної і денної температури для класу «відкритий ґрунт» за даними продукту MOD11C3 за квітень 2000 року для ділянок мінімальної та максимальної щільності лінеаментів (б)

Аналіз рис. 11 показав, що розподіли значень *нічної температури* в межах мінімальних та максимальних значень щільності лінеаментів значно відрізняються за критерієм Колмогорова-Смирнова (1,81>1,63). Розподіли *денної температури* в межах мінімальних та максимальних значень щільності лінеаментів не мають значних відмінностей (0,8<1,63).

Отриманими результатами підтверджено достовірність побудови карт щільності лінеаментів за вдосконаленою методикою з використанням даних ДЗЗ.

Четвертий етап методики – «*Формування комплексу ознак для вирішення задач прогноз*у».

У процесі прогнозування виникає необхідність у встановленні зв'язку між різними геологічними об’єктами. Під взаємозв’язком розуміється будь-яке закономірне просторове розташування об'єктів або значень досліджуваних ознак. Оцінка взаємозв’язку базується на порівнянні розподілу значень використовуваної ознаки в точках розташування досліджуваних об'єктів (вибірка I) з розподілом значень ознаки в точках, розміщених випадково по площі навчання (вибірка II, фон).

Для встановлення характеру і кількісної оцінки взаємозв’язку ознак з досліджуваними об'єктами використовувались отримані залежності для здійснення прогнозування (рис. 12). З цією метою були побудовані функції відношення правдоподібності для всього діапазону значень досліджуваних ознак. Тоді значення функції відношення правдоподібності, що перевищують 1, відповідають тим значенням ознак, які більш притаманні площам розміщення об'єктів пошуків.

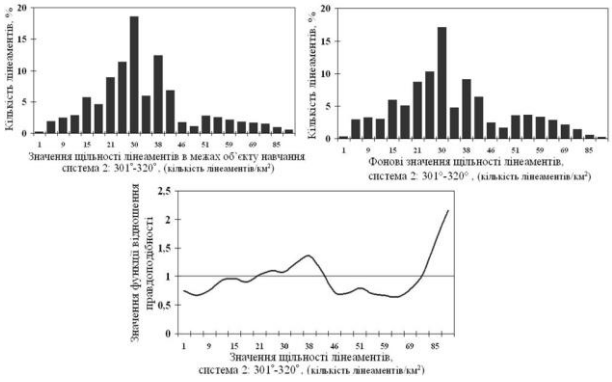


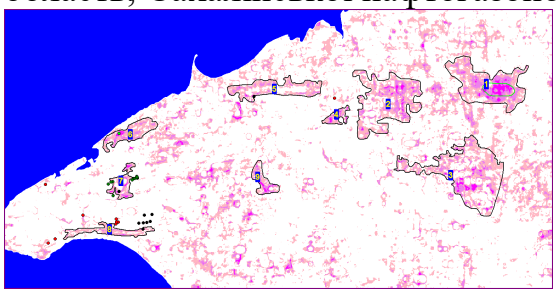
Рис. 12. Одновимірна функція відношення правдоподібності: *а* – гістограма розподілу значень щільності лінеаментів для об’єктів навчання, *б* – гістограма розподілу значень щільності лінеаментів для фонових значень, *в* – графік функції відношення правдоподібності

Отже результати четвертого етапу вдосконаленої методики лінеаментного аналізу дозволили сформувати комплекс пошукових ознак (карти кількості та довжини лінеаментів кожної системи; карти кількості і довжини всіх лінеаментів; карта щільності вузлів перетину лінеаментів; цифрова модель рельєфу за даними з супутника Shuttle) для проведення прогнозних робіт.

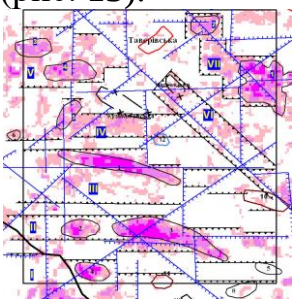
Третій розділ – “*Практичне застосування вдосконаленої методики для оцінки перспективності території на поклади вуглеводнів*” присвячений експериментальній перевірці основних положень методики і її практичного використання при пошукових роботах з оцінки перспективності території на поклади вуглеводнів. Це п’ятий етап методики – «*Прогнозна оцінка території на виявлення покладів вуглеводнів*» (рис. 1).

Апробація результатів вдосконаленої методики була проведена на територіях двох країн: України (Тарханкутського півострова Криму; ДДЗ) та

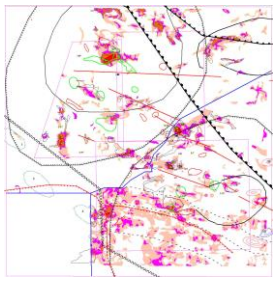
РФ (південно-східної частини Дніпровсько-Донецької провінції, Ростовська область; Сахалінської нафтогазоносної провінції) (рис. 13).



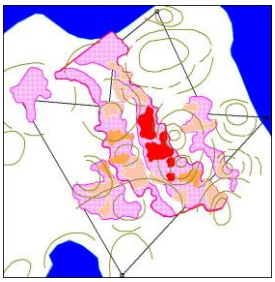
а



б



в



г

Рис. 13. Результати прогнозної оцінки перспективності територій на пошуки покладів вуглеводнів: ***А)*** **Тарханкутський півострів**. *Умовні позначення:* перспективність: -максимальна (>3), -висока (2..3), -середня (1.5..2), -низька (1..1.5), -безперспективна площа (<1), -водна поверхня, - локальні перспективні площі; ***Б)*** **Скворцівсько-Юліївський полігон**. *Умовні позначення:* прогнозні зони, III- номера прогнозних зон, 2-номера локальних перспективних площ, значення оцінок перспективності території див. А; ***В)*** **південно-східна частина Дніпровсько-Донецької западини.** *Умовні позначення:* перспективність: -максимальна (>3), -висока (2..3), -середня (1.5..2), - низька (1..1.5), -безперспективна площа (<1), -межі підняттів, виділених за даними сейсморозвідки; ***Г)*** **ділянка Північно-Сахалінського басейну.** *Умовні позначення*: -контур ліцензійної ділянки, -межі перспективних областей, -межі перспективних районів, -межі високо перспективних ділянок, -межі перспективних ділянок, -межі слабо перспективних ділянок, -складки, що були визначені за даними візуального дешифрування, -водна поверхня, -поверхня суходолу.

На рис. 13 наведено карти прогнозної оцінки перспективності території на пошук покладів ВВ, де виділені найбільші за розмірами та значеннями перспективності локальні ділянки досліджуваних площ.

Встановлено, що усі ознаки, відібрані для прогнозної оцінки перспективності всіх наведених територій: поля щільності лінеаментів усіх систем, поля щільності вузлів перетину лінеаментів і поля гіпсометрії сучасного рельєфу, виявилися інформативними для прогнозу покладів усіх типів, тобто усі вони є пошуковими ознаками.

Більшість об’єктів прогнозу пов’язано з проміжними значеннями пошукових ознак, а поля з максимальними та мінімальними значеннями ознак

не сприятливі для розміщення родовищ, в них виявлена незначна кількість об'єктів прогнозу. Інтервали проміжних значень щільності лінеаментів, до яких приурочені родовища, для кожної системи різні.

Карти прогнозної оцінки перспективності територій на пошуки покладів вуглеводнів різного типу в ізолініях складені на підставі оцінки вірогідності їх зв'язку з усіма пошуковими ознаками за допомогою побудованих комплексних функцій відношення правдоподібності.

Понад 90 % відомих родовищ вуглеводнів на картах прогнозу всіх досліджуваних територій розташовано в полях з підвищеними значеннями перспективності – значення функції відношення правдоподібності є більшими 1,0. Родовища, які розташовані в полях з низькими значеннями перспективності, це переважно дрібні, у ряді випадків виключені з балансу. Найбільш високими значеннями перспективності охарактеризовані родовища, які мають найбільші запаси вуглеводнів.

На картах прогнозу поля підвищених значень перспективності займають від 10 до 30 % площі кожного з нафтогазоносних районів.

Розподіл значень перспективності у межах контурів відомих родовищ вуглеводнів неоднорідний. Найбільш високі значення перспективності, у більшості випадків, розташовуються над склепінням складок. Ці дані доцільно використовувати для попередньої оцінки перспективності площ, рекомендованих для подальших досліджень та черговості їх проведення.

На складених картах прогнозу знайшли своє відображення особливості умов локалізації родовищ нафти, газу та газоконденсату в різних нафтогазоносних районах.

За результатами проведених прогнозних досліджень виявлені ділянки для проведення пошукових робіт. Отримані результати не суперечать наявній інформації. Для підвищення достовірності отриманих результатів бажано провести їх сумісний аналіз з геолого-геофізичною інформацією, наявною на рекомендованих площах.

Аналіз отриманих результатів свідчить про коректність пропонованої вдосконаленої методики лінеаментного аналізу для оцінки перспективності території на пошуки покладів вуглеводнів. Матеріали лінеаментного аналізу згідно з запропонованою методикою можливо використати у комплексі з даними геофізичних робіт в процесі кількісних прогнозних досліджень за комплексом ознак. Для обробки результатів лінеаментного аналізу можливо використати увесь комплекс методів, який застосовується в геофізиці.

На основі результатів апробації вдосконаленої методики лінеаментного аналізу розроблено рекомендації, які визначають перелік задач, що розв'язуються при її використанні. Показано, що вдосконалена методика дозволяє використовувати матеріали ДЗЗ для кількісної прогнозної оцінки перспективності території на виявлення покладів вуглеводнів в районах, які розрізняються за природно-кліматичними умовами, геологічною будовою. Комплексування матеріалів ДЗЗ з даними геолого-геофізичних досліджень підвищує достовірність і ефективність результатів прогнозу. Показано, що з використанням даної методики, можливо виконувати аналогічні прогнозні

дослідження території більш оперативно в будь-яких природно-кліматичних умовах і в необхідному масштабі.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень дисертантом вдосконалено методику лінеаментного аналізу для цілей оцінки перспективності території на пошуки покладів вуглеводнів та показано її успішне застосування в різних регіонах. В роботі:

1. Наведено огляд основних положень методик лінеаментного аналізу, що застосовується різними авторами та показано їх недоліки, які потребують методичного вдосконалення, їх області застосування та обмеження.

Проаналізовано існуючі програми автоматичного виділення лінеаментів та показано, що на територіях з значним антропогенним навантаженням, до яких належить і Україна, доцільно використовувати результати інтерактивного структурного дешифрування космічних знімків з метою виділення лінеаментів.

2. Вдосконалено метод аналізу орієнтування лінеаментів з метою більш об’єктивного виділення систем лінеаментів. Запропоновано, при виділенні систем лінеаментів, проводити оцінку достовірності виділення не тільки максимумів розподілів азимутів простягання лінеаментів, а й мінімумів, що більш важливо при встановлені меж систем лінеаментів, за допомогою непараметричного критерію Пірсона (Хі – квадрат). Встановлено, що необхідно враховувати розміщення початкової точки відліку розподілу азимутів простягання лінеаментів.

3. Показана залежність кількості виділених систем лінеаментів від значення інтервалу групування лінеаментів. В залежності від цього значення кількість систем лінеаментів змінюється від 1 до 34 та має вигляд: $Y = 62{,}157 * X - 0{,}933177$; $R2 = 0{,}948$, де X – значення інтервалу групування лінеаментів, Y – кількість систем, що можливо виділити.

4. Встановлено залежність між глибиною залягання покладів вуглеводнів та розмірами вікна осереднення поля лінеаментів та розроблено методику визначення цієї залежності. Коефіцієнт залежності між глибиною залягання покладів та розмірами вікна осереднення змінюється від 1.8 до 2.2, в середньому 2.

5. Підтверджено достовірність побудованих за вдосконаленою методикою карт щільності лінеаментів на основі аналізу температури підстильної поверхні «відкритий ґрунт» в межах мінімальних та максимальних ділянок поля щільності лінеаментів. Показано, що розподіл значень для денної і нічної температури має різницю. Для нічної температури за даними з супутника MODIS, продукт MOD11C3 розподіл температури в межах мінімальних та максимальних значень щільності лінеаментів значно відрізняється за критерієм Колмогорова-Смирнова (1,81>1,63), в той час як розподіли денної температури в межах мінімальних і максимальних значень щільності лінеаментів не мають значних відмінностей (0,8<1,63).

6. Встановлено кількісну оцінку зв'язку значень щільності лінеаментів різних систем, значень щільності вузлів перетину лінеаментів та значень

відміток рельєфу, за цифровою моделлю з покладами вуглеводнів. На цій підставі сформовано комплекс пошукових параметрів, які були використані для оцінки перспективності нафтогазоносності різних територій з використанням методу просторово-ймовірнісного прогнозування.

7. Вдосконалену методику лінеаментного аналізу було успішно застосовано в процесі прогнозної оцінки нафтогазоносності території за матеріалами дистанційних досліджень на Тарханкутському півострові Криму та північному борту ДДЗ України, у межах південно-східної частини ДДЗ в Ростовській області та на острові Сахалін РФ. Площа виділених перспективних ділянок становить не більш 10 % від загальної площі ліцензійної ділянки. Новизна вдосконаленої методики підтверджена патентом України на винаходи.

8. Пропонована методика може використовуватися геологічними і геофізичними організаціями України та інших країн для більш раціонального ведення прогнозно-пошукових робіт на поклади вуглеводнів на суходолі, а отримані наукові результати можуть бути взяті за основу при подальших дослідженнях.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Монографії:

1. *Сучасні методи дистанційного пошуку корисних копалин***.** За ред. В. І. Лялька і М. О. Попова – 80 Min, 700 MB. Київ, 2017. С. 59-64. 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); ISBN 978-966-02-8295-7 (електронне видання).

2. *Спутниковые методы поиска полезных ископаемых*. Под ред. акад. НАН Украины В.И. Лялько и докт. техн. наук М.А. Попова. Киев: Карбон-Лтд. 2012. – 436 с.

Статті у наукових фахових виданнях:

3. Lyalko V.I., Hodorovsky A.J., **Apostolov A.A.**, Vostokov A.B. Quantitative prognosis of oil and natural gas fields. *ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS.* Vienna. Austria. July 5–7, 2010, IAPRS, Vol. XXXVIII, Part 7B, p.622 – 627. Режим доступу: http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/part7/b/pdf/622_XXXVIII-part7B.pdf

4. Ходоровский А.Я., **Апостолов А.А.** Метод количественного выделения систем линеаментов. *Доповіді НАН України*. 2013. № 1. С. 111-117.

5. Ходоровский А.Я., **Апостолов А.А.** Анализ зависимости количества выделяемых систем линеаментов от ширины интервала группирования. *Доповіді НАН України*. 2014. № 9. С. 79-85. https://doi.org/10.15407/dopovidi2014.09.079.

6. Лялько В.І, **Апостолов О.А.,** Єлістратова Л.О. Вплив природних та антропогенних факторів на формування небезпечних ситуацій: зсувів, паводків (на прикладі ділянки верхньої течії річки Дністер) // *Укр. журн. дистанційного зондування Землі.* 2017. № 15. С. 31-39. https://doi.org/10.36023/ujrs.2017.15.112

7. Лялько В.І., Єлістратова Л.О., **Апостолов О.А.,** Ходоровський А.Я., Чехній В.М. Експрес-оцінка ерозійно-небезпечних ділянок ґрунтового покриву на території України з використання м даних дистанційного зондування Землі з врахування кліматичних факторів та рослинності. *Доповіді НАН України.* 2018. № 3. С. 87 –94. https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.03.087

Патент:

8. Пат. 32050 Україна, МПК (2006) G01V 9/00, G01V 11/00. Спосіб прогнозування родовищ корисних копалин / Лялько В.І., Нагорський В.О., Ходоровський А.Я., **Апостолов О.А.**, Востоков А.Б.; № 200803560; заявка 20.03.2008; публ. 25.04.2008, Бюл. № 8.

Праці, що додатково відображають зміст дисертації:

9. Лялько В.І., Єлістратова Л.О., **Апостолов О.А.** Використання даних наземного та космічного моніторингу для аналізу сучасних змін клімату в Україні / *Доповіді НАН України*.. 2014. № 7. С. 109 – 115. https://doi.org/10.15407/dopovidi2014.07.109

10. Oleksii I. Sakhatskyi, Sergey A. Stankevich, Galina M. Zholobak, **Alexander A. Apostolov**, Akira Iwasaki, Shinichi Nakasuka, Seiji Yoshimoto, Yoshihide Aoyanagi Vegetation cover state evaluation within the Fukushima-1 area by multispectral and radar satellite data analysis. Proc. ISPRS WG IV/2 Workshop ”Global Geospatial Information and High Resolution Global Land Cover/Land Use Mapping”, Ap. 2015 y. Novosibirsk, Russian Federation. SSUGT, 2015. – P. 48-55. Режим доступу: https://www.isprs.org/proceedings/2015/2015-WG-IV-2/48_2015-WG-IV-2.pdf

11. Лялько В.І, Єлістратова Л.О., **Апостолов О.А.**, Чехній В.М. Аналіз ґрунтово-ерозійних процесів в Україні на основі застосування даних дистанційного зондування Землі // Вісн. НАН України, 2017. № 10. С. 34-41

12. Lyalko V., Yelistratova L., Khodorovsky A., **Apostolov O**. Erosion hazard estimation for the territory of Ukraine using remote sensing data , climatic factors and vegetation. Scien. Ed. O. Fedorov. Kyiv. Akademperiodyka. 2018. P. 89-91.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

13. Азімов О.Т., Бублясь В.М., Ліщенко Л.П., Ходоровський А.Я., Шульга В.І., **Апостолов О.А.** Досвід застосування матеріалів аерозйомки і ГІС-технологій при комплексному дослідженні аномальних зон вертикального масопереносу в Зоні відчуження ЧАЕС. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції “ГІС Форум-2001”*. 18-20 грудня 2001 р. Київ. ГІС-Асоціація України, 2001. С.174-180.

14. **Апостолов А.А** Разработка алгоритмов и программы линеаментного анализа. *Наукові космічні дослідження. Матеріали виступів школи-семінару для молодих науковців*. Київ. Політехніка. 2003. С.15-16.

15. Лялько В.И., Ходоровский А.Я., **Апостолов А.А.,** Востоков А.Б и другие: Возможности современных технологий ДЗЗ и ГИС при прогнозировании месторождений нефти и газа. *Материалы Девятой Международной Конференции пользователей ESRI и Leica Geosystems в Украине “Геоинформационные технологии в управлении территориальным развитием”*. м. Ялта. 22-26 травня 2006 р.

16. Востоков А.Б., Ходоровский А.Я., **Апостолов А.А.**, Бернштейн М.В. Использование ГИС-технологий при количественном прогнозировании залежей углеводородов по дистанционным материалам. *Материалы 8-ой Всероссийской научно-практическая конференция "Геоинформатика в нефтегазовой и горной отраслях"*. 27 лютого – 1 березня 2007 р. Москва. Режим доступу: http://www.gisa.ru/oil2007.html

17. Ходоровский А.Я., **Апостолов А.А**. Использование данных линеаментного анализа при прогнозировании месторождений полезных ископаемых. *Матеріали першої наукової конференції "Науки про Землю та Космос – суспільству"*. Київ. 25 – 27 червня 2007 р. (электрон. версія).

18. Lyalko V.I., Sakhatsky A.I., Hodorovsky A.J., **Apostolov A.A.**, Vostokov A.B. Forecasting of underground water resources using satellite data. *International Conference on the Use of Space Technology for Water Management*. 12-16 April 2008 Riyadh. Saudi Arabia. (електрона версія).

19. Ходоровский А.Я., **Апостолов А.А.**, Востоков А.Б. Прогноз перспективности территории на обнаружение залежей полезных ископаемых по материалам ДЗЗ. *Восьмая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса"*. Москва, ИКИ РАН, з 15 по 19 листопада 2010 р. С. 286. Режим доступу: http://d902.iki.rssi.ru/theses-cgi/thesis.pl?id=2442

20. Ходоровский А.Я., **Апостолов А.А.** Сравнение ориентировки линеаментов, выделенных на космических снимках, с разным пространственным разрешением. *Збірник тез. 14-та Українська конференція з космічних досліджень*. Ужгород, ІЕФ НАНУ, 8-12 вересня 2014р. К.: ІКД НАНУ – НКАУ. 2014. С.162.

21. Ходоровский А.Я., **Апостолов А.А.** Сравнение результатов прогноза скопления углеводородов полученных с использованием разного количества систем линеаментов. *Двенадцатая Всероссийская Открытая конференция* «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса *(Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)»,* 10 - 14 жовтня 2014 р. Москва. С. 336. Режим доступу: http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=91&thesis=4404

АНОТАЦІЯ

Апостолов О. А. Вдосконалена методики лінеаментного аналізу для оцінки перспективності території на пошуки покладів вуглеводнів – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 05.07.12 – Дистанційні аерокосмічні дослідження – Державна установа «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», Київ, 2021.

Дисертаційне дослідження присвячене вдосконаленню методики лінеаментного аналізу для оцінки перспективності території на пошуки покладів вуглеводнів.

Для досягнення поставленої мети вирішені наступні задачі: вдосконалено метод визначення кількості систем лінеаментів, їх меж та модальних значень з використанням непараметричного критерію Пірсона для оцінки мінімумів і максимумів розподілів азимутів простягання лінеаментів; встановлено залежність між значеннями інтервалу групування лінеаментів та кількістю систем, що виділяються; визначено зв'язок між розмірами ковзного вікна осереднення лінеаментів та глибиною залягання покладів вуглеводнів; побудовано карти щільності лінеаментів за пропонованим підходом та виконано їх перевірку на достовірність за геологічними і дистанційними даними; наведено підхід до формування пошукових ознак; проведено експериментальну перевірку пропонованої методики на території Тарханкутського півострова Криму, на ділянках нафтогазоносних площ Дніпровсько-Донецької западини та на території Сахалінської нафтогазоносної провінції РФ; розроблено рекомендації щодо застосування пропонованої методики.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, дешифрування матеріалів космічної зйомки, геологічне середовище, тріщинуватість, лінеаменти, поклади вуглеводнів.

АНОТАЦИЯ

Апостолов А. А. Усовершенствованная методика линеаментного анализа для оценки перспективности территории на поиски залежей углеводородов – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геологических наук по специальности 05.07.12 – Дистанционные аэрокосмические исследования – Государственное учреждение «Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины», Киев, 2021.

Диссертационное исследование посвящено совершенствованию методики линеаментного анализа для оценки перспективности территории на поиски залежей углеводородов.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: усовершенствован метод определения количества систем линеаментов, их границ и модальных значений с использованием непараметрического критерия Пирсона для оценки минимумов и максимумов распределения азимутов простирания линеаментов; установлена зависимость между значениями интервала группировки линеаментов и количеством выделяемых систем; определена связь между размерами скользящего окна осреднения линеаментов и глубиной залегания залежей углеводородов; построены карты плотности линеаментов по предложенному подходу и выполнена их проверка на достоверность по геологическим и дистанционным данным; показан подход к формированию поисковых признаков; проведена экспериментальная проверка предложенной методики на территории Тарханкутского полуострова Крыма, на участках нефтегазоносных площадей Днепровско-Донецкой впадины и на территории Сахалинской нефтегазоносной провинции РФ; разработаны рекомендации по применению предложенной методики.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, дешифрирование материалов космической съемки, геологическая среда, трещиноватость, линеаменты, залежи углеводородов.

ANNOTATION

Apostolov A.A. Improved method of lineament analysis for assessing the prospects of the territory for hydrocarbon deposits explorations. – The manuscript copyright.

Thesis for a Candidate Degree in Geology: Speciality 05.07.12 – Remote Sensing. - State Institution «Scientific Center of Aerospace Researches of the Earth IGN NAS of Ukraine», Kyiv, 2021.

The thesis is devoted to the improvement of the method of lineament analysis for the estimation and forecasting of the territory for hydrocarbon deposits.

An important factor of hydrocarbon deposits location and localization is the breaking structures of the lithosphere. One of the rapid and economical methods of studying breaking structures in areas of oil and gas deposits is lineament analysis, which is based on remote sensing (RS) data. Often the results of RS data interpretation are presented in graphical form, that provides limitation for its use in combination with data from geophysical, geochemical and other quantitative research methods, provided in numerical form. Lineament analysis allows to present the results of structural interpretation of remote sensing data in quantitative form (density maps of lineaments), to establish the relationship between hydrocarbon deposits and lineament density values and to forecast the prospects of area for hydrocarbon deposits.

The origin of the term "lineament" has been analyzed, its main interpretations have been given and the main features have been determined. The connection of lineaments with the geological structure has been shown and the physical mechanisms of lineament appearance on satellite images have been considered. The relationship of lineaments with fractures determines their importance in forecasting and mineral prospecting.

A review of the main provisions of the methods of lineament analysis used by various authors, their scope and limitations have been done. The existing software for the automatic selection of lineaments has been analyzed and the principled feasibility of using the results of visual structural lineaments interpretation has been shown.

The analysis of lineaments orientation for the purpose of allocation of lineament systems has been improved. The analysis of the regularity of the spatial orientation of lineaments in order to establish the number of selected systems, their boundaries and modal values plays an important role for assessing the fracture permeability of rocks using remote sensing data. 4 stages have been offered: value definition for an interval of measurements grouping of lineaments orientation; division of the study area into separate areas that did not overlap; estimation of local minima and maxima of distribution of azimuths of lineaments extension using statistical non-parametric Pearson's criterion on the basis of which, all extremums receive a point estimation; the frequency curve of point estimations within the whole

region of interest and its analysis allowed to allocate systems of lineaments, their modal values and borders with relatively high accuracy.

The change in the number of selected lineament systems, the position of its boundaries and modal values depending on the value of the lineament grouping interval has been analyzed. The relationship between the number of selected lineament systems and the value of the lineament grouping interval has been established. It has also been shown that the structure of lineament systems of sublatitudinal and sublongitudial extension are close to each other and differ sharply from the lineament systems of northwestern and northeastern extension. The orthogonal direction lineaments are formed within the same system, that is not divided into smaller ones, while diagonal direction lineaments are represented by several narrower systems. Lineament systems of northwestern and northeastern extension differ in the number of narrower systems that form them. Most selected lineament systems have associated systems, i.e. the angle between its modal values is close to 90º.

The relationship between the depth of hydrocarbon deposits and the size of the window for lineaments field averaging has been established as well as methodological approaches to determine this relationship have been developed.

The quantitative estimation of the relationship between density of lineaments of different systems, density of nodes of lineaments intersections as well as relief marks based on a digital model with mapped deposits of hydrocarbons has been done.

The forecast of the territory's prospects for hydrocarbon deposits has been made. A set of search (informative) features has been formed using the probability of the relationship between used features and target objects using the spatial-probabilistic forecasting program. The informativeness of the features has been estimated by comparing the features values distributions within the known objects with the distribution of their values, taken on a uniform grid within the most studied areas. In case of significant differences between these distributions, which have been estimated using the non-parametric Pearson test, the feature refers to the search features. Otherwise, the features have been excluded for further use. For the search features based on the likelihood ratio function, the intervals of the features values with which the forecast objects are connected have been determined and the probability of the relationship between the forecast objects and each features values has been estimated. Deviation of the likelihood function values from 1 indicates prospect and non-prospect areas.

All informative search features have been integrated with each other using two-dimensional likelihood ratio functions. It allowed obtaining a predictive assessment of the prospects of the territory using the set of features. The forecast maps have been made on the basis of the received values of the prospects of the territory using the set of features.

As a final stage, the generated forecast maps have been analyzed, its reliability has been assessed using all available information about geology and deposits of the study area. The most reliable assessment of the results accuracy can be obtained only through drilling in the proposed areas. However, in practice, this happens very rarely. In cases where there are many known hydrocarbon deposits within the study area,

some of them are not taken into account for making forecasts. These objects are then used as control points to assess the reliability of the forecast results. For this purpose, it is necessary to use also the known deposits of hydrocarbons which are located in areas outside the study area but in close proximity to their boundaries. In such case, it is necessary to extend the boundaries of a research area.

Final decision about prospects of the area and recommendations for followed research using a set of geophysical methods and drilling are prepared based on the analysis of the forecast map, taking into account all the features that have not been used in the forecasting process for various reasons.

To increase the reliability of the results, the map of the prospects of the area should be compiled using remote sensing data in combination with the data of geological and geophysical research.

For ease of use in the future, all information obtained in the process of lineament analysis and forecast assessment of the prospects of the territory is stored in a GIS project format.

This improved technique is recommended to apply at the enterprises and organizations which carry out forecasting and hydrocarbon deposits exploration on land.

Key words: remote sensing of the Earth; satellite imaging data interpretation, geological surroundings, fracturing, lineaments, hydrocarbon deposits.