

ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТЕНЦІЙНО РУДОНОСНИХ ВУЗЛІВ МЕТОДАМИ ІНТЕГРАЛЬНОГО ОБРОБЛЕННЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНИХ І ДИСТАНЦІЙНИХ ДАНИХ

А.Я. Буніна¹, О.Т. Азімов², С.А. Станкевич³, В.С. Чепурний⁴

(Рекомендовано чл.-кор. НАН України О.Ю. Митропольським)

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна,
E-mail: 2940954@gmail.com
Аспірантка.

² ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», Київ, Україна,
E-mail: azimov@casre.kiev.ua
Доктор геологічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник.

³ ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», Київ, Україна,
E-mail: st@casre.kiev.ua

Доктор технічних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник.

⁴ Казенне підприємство «Кіровгеологія», Київ, Україна, E-mail: kirovgeology@voliacable.com

Описано модель автоматизованої інтеграції та комплексної інтерпретації дистанційних та геолого-геофізичних даних для оцінювання рудоперспективності територій. Можливість інтеграції продемонстровано на прикладі Новотроїцької ділянки Південно-Донбаської прирозломної вулcano-тектонічної западини. Отримано просторовий розподіл прогнозного кількісного вмісту поліметалів у межах території дослідження.

Ключові слова: Південно-Донбаський грабен, рудоносні вузли, поліметали, автоматизована інтеграція даних, дистанційне зондування Землі.

PREDICTION OF POTENTIALLY ORE-BEARING CLUSTERS BY THE METHODS OF INTEGRATED PROCESSING OF GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL AND SATELLITE DATA

A.Ya. Bunina¹, O.T. Azimov², S.A. Stankevich³, V.S. Chepurnoy⁴

(Recommended by Corresponding Member of NAS of Ukraine O.Yu. Mitropolsky)

¹ Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine,
E-mail: 2940954@gmail.com
Post-graduate student.

² Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth, IGS, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine,
E-mail: azimov@casre.kiev.ua
Doctor of geological sciences, leading scientist.

³ Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth, IGS, NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine,
E-mail: st@casre.kiev.ua
Doctor of technical sciences, chief scientist.

⁴ Kirovgeologia Public Enterprises, Kiev, Ukraine,
E-mail: kirovgeology@voliacable.com

The model for automated integration and complex interpretation of remote sensed and geological-geophysical data to evaluate territories ore prospectivity is offered. The integration possibility is demonstrated over the Novotroitska area of the South-Donbas near-fault volcano-tectonic depression. The spatial distribution of polymetals prognostic content within the study area is obtained.

Key words: the South-Donbas graben, ore-bearing clusters, polymetals, automated integration of data, remote sensing.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНО РУДОНОСНЫХ УЗЛОВ МЕТОДАМИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ДИСТАНЦИОННЫХ ДАННЫХ

А.Я. Буніна¹, А.Т. Азімов², С.А. Станкевич³, В.С. Чепурной⁴

(Рекомендовано чл.-кор. НАН Украины А.Ю. Митропольским)

¹ Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина,
E-mail: 2940954@gmail.com
Аспирантка.

² ГУ «Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины», Киев, Украина,
E-mail: azimov@casre.kiev.ua
Доктор геологических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник.

³ ГУ «Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины», Киев, Украина,
E-mail: st@casre.kiev.ua
Доктор технических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник.

⁴ Казенное предприятие «Кировгеология», Киев, Украина, E-mail: kirovgeology@voliacable.com

Описана модель автоматизированной интеграции и комплексной интерпретации дистанционных и геолого-геофизических данных для оценивания рудоперспективности территорий. Возможность интеграции продемонстрирована на примере Новотроицкого участка Южно-Донбасской приразломной вулканогенно-тектонической впадины. Получено пространственное распределение прогнозного количественного содержания полиметаллов в пределах территории исследования.

Ключевые слова: Южно-Донбасский грабен, рудоносные узлы, полиметаллы, автоматизированная интеграция данных, дистанционное зондирование Земли.

Мета

Розвиток методів і алгоритмів обробки різномірних за своєю фізичною природою геопросторових дистанційних та геолого-геофізичних даних на основі інтеграції геоінформаційних технологій та методик перетворення матеріалів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) дозволив окреслити нові напрями геологічних досліджень для вирішення актуальних проблем [Азімов і др., 2012; Prost, 2014 та ін.]. З метою оцінки енергетичного та сировинного потенціалу окремих регіонів України наявні і перспективні родовища розсіпних і корінних поліметалевих руд площі в цьому аспекті потребують комплексного геоінформаційного аналізу.

Запропонований у праці [Азімов і др., 2012] підхід інтегральної обробки дистанційних аэрокосмічних і геолого-геофізичних даних є інструментом підвищення ефективності геологорозвідувальних робіт на поліметалеві руди з метою удосконалення системи управління гірничодобувної галузі. Він дозволяє побудувати просторову модель об'єкта, а саме: виявити площі утворення, що можуть відповідати потенційно пошуковим геологічним тілам, отримати більш комплексну інформацію про геологічне

середовище (ГС) в їх межах, надати перспективну оцінку можливих ресурсів корисних копалин на тих чи інших площах.

У цьому контексті для перевірки можливості оцінювання перспективності на поліметалеві руди нами [Буніна та ін., 2015] була досліджена Новотроїцька ділянка Південно-Донбаської приразломної вулканогенно-тектонічної западини (район зчленування Донецького кам'яновугільного басейну з Приазовським кристалічним масивом (ПКМ) Українського щита) шляхом багатомірного геопросторового моделювання та візуалізації параметрів схожості особливостей ГС цієї ділянки з особливостями відомого Миколаївського родовища урану, що розташоване в її межах. Було отримано прогнозну класифікаційну картосхему перспективності поліметалевих рудопроявів узваної території за комплексом дистанційних та геолого-геофізичних матеріалів.

Геолого-геофізична характеристика території дослідження

Більша частина Новотроїцької ділянки за адміністративним устроєм належить до двох районів Донецької області – Волноваського і Старобешівського. Площа її близько 1,2 тис. км².

У регіональному плані ділянка тектонічно приурочена до зони зчленування великих геоструктур – Донецького басейну та ПКМ. Гірські породи цієї зони зчленування поділяються на різні за віком та петрографічним складом групи, утворюючи триярусну будову території. Найбільш давні утворення архей-протерозойської групи складають перший – докембрійський структурний ярус, що представлений інтенсивно метаморфизованими, ультраметаморфизованими та інтрузивними різновидами (рис. 1). Другий ярус (відповідає герцинській епосі складчастості) формує палеозойська товща девонських та кам'яновугільних осадово-інтрузивних відкладів. Третій структурний ярус (альпійський) утворюють слабозцементовані мезозойські відклади (крейдового віку) та пухкі породи кайнозойської групи, що розповсюджуються по усій території у вигляді

покриву різної товщини. Маючи дуже складну блокову будову з широким проявом розривної тектоніки, структурні яруси поділені між собою стратиграфічною та структурною незгідністю.

Найбільш поширеними типами структур у межах Новотроїцької ділянки є диз'юнктивні порушення різної протяжності, глибини та віку закладення. Серед головних розломів виділені [Проект..., 2007 та ін.] такі системи за напрямками: північно-західні, субмеридіональні – розломи глибокого закладення, такі як Новотроїцький підкид (азимут простягання 80–85°), Олександрійський скид (азимут простягання 80–85°) та Войковський насув; північно-східні розломи глибокого походження – Великоанадольський (азимут простягання 40–90°), Петровський (азимут простягання 80°) та Комишуваський (азимут простягання 65°) скиди; субширотні – Васильків-

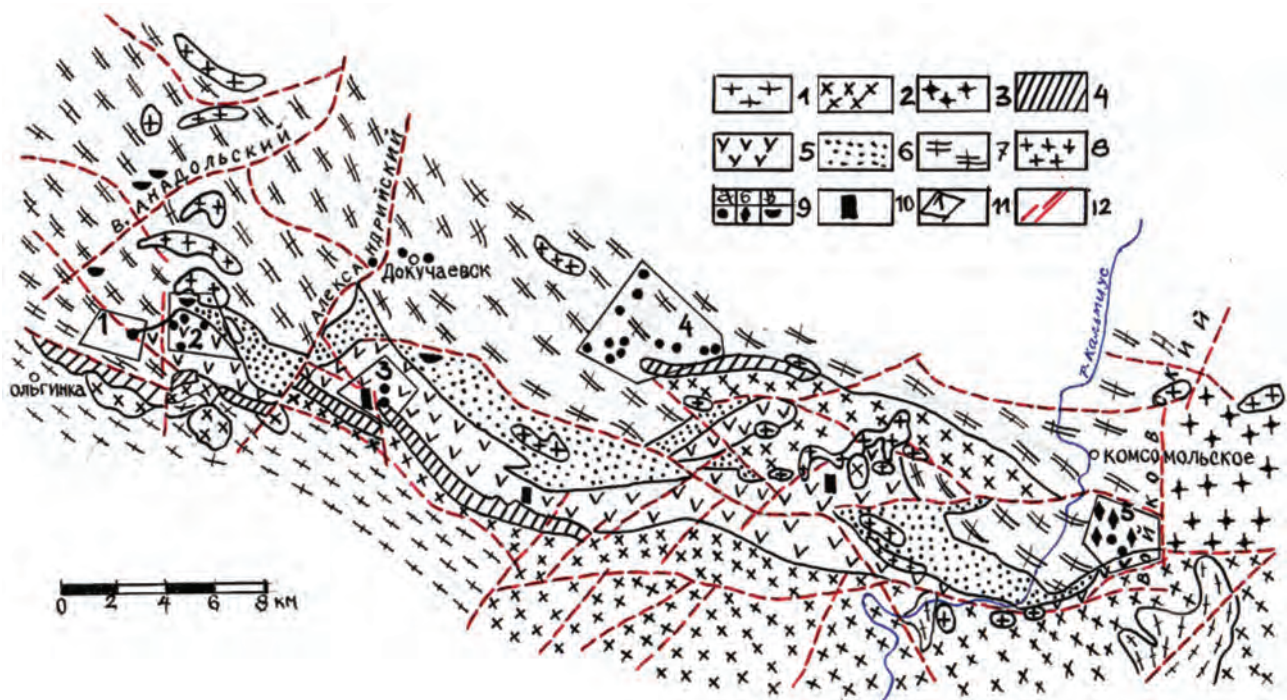


Рис. 1. Схема геологічної будови Південно-Донбаського грабена [Ярошук и др., 2010]

1–3 – породи докембрійського фундаменту: 1 – гнейси; 2 – граніти аляскітові, мікроклінові; 3 – граносієніти; 4–8 – фанерозойські осадові та магматичні породи: 4 – миколаївської світи девону (гравеліти, пісковики, сланці); 5 – антон-тарамської світи девону (діабазові порфірити, туфи); 6 – долгінської й роздольненської світи девону (пісковики, конгломерати, сланці); 7 – візейського і турнейського ярусів карбону (вапняки, доломіти, сланці); 8 – пермські андезитові порфірити, трахіандезити, сієніт-порфіри; 9–11 – уранове та торій-уранове зруденіння: 9 – у породах фанерозою: а) девону, б) карбону, в) кайнозою; 10 – у породах докембрійського фундаменту; 11 – площі прояву зруденіння: 1) балка Велика Борсукова, 2) балка Мокра Мандрикіна, 3) Миколаївське родовище, 4) Стыльська площа, 5) Войковська площа; 12 – розломи та їх назви

Fig. 1. The scheme of the geological structure of the South-Donbas graben [Ярошук и др., 2010]

1–3 – the Precambrian basement rocks: 1 – gneiss; 2 – alaskite microcline granites; 3 – granosyenites; 4–8 – the Phanerozoic sedimentary and igneous rocks: 4 – Mykolaivka suite of the Devonian (gritstone, sandstone, shale); 5 – Anton-Taramskian suite of the Devonian (diabase porphyries, tuffs); 6 – Dolhinskian and Razdolninskian suites of the Devonian (sandstones, conglomerates, shales); 7 – Visean and Tournasian stages of the Carboniferous (limestone, dolomite, shale); 8 – the Permian andesite porphyries, trachyandesites, syenite-porphyr; 9–11 – uranium and thorium-uranium ores: 9 – in the Phanerozoic rocks: a) Devonian, b) Carboniferous, c) Cenozoic; 10 – in the Precambrian basement rocks; 11 – ore manifestation: 1) Velyka Barsukova gully, 2) Mokra Mandrykina gully, 3) Mykolaiv deposit, 4) Stylska site, 5) Voykovska site; 12 – faults and their names

ський підкид глибинного генезису з крутими (70–80°) кутами падіння та розломи глибинного закладення – Південно-Волноваський (азимут простягання 45–60°), Північно-Волноваський (азимут простягання 45–60°), Миколаївський (азимут простягання 80°) скиди та ін. Розломи за рядом ознак та проявів різновікового магматизму зазнали декількох етапів активізації.

Серед найбільш великих блокових структур виділяються такі позитивні структури – Північний виступ ПКМ, Стельський і Комишуваський горсти та Єланчицький виступ на північному сході ділянки. Від’ємною структурою є Південно-Донбаський грабен.

Стельський горст простягається від Войковського насуву на сході до с. Степове на заході. Це лінійна субширотна структура, яка обмежена розривними порушеннями і перекрита вапняками нижнього карбону, що залягають як на докембрії, так і на відкладах миколаївської та антон-тарамської світ девону.

Комишуваський горст – це поперечна до Стельського горсту структура північно-східного напрямку, яка оконтурена Петровським та Комишуваським розломами. Покрово-Киріївська структура (Єланчицький виступ), площею близько 60 км², розташована на крайньому сході ділянки на перетині зони зчленування Донецького басейну з ПКМ та Грузько-Єланчицькою тектонічною зоною.

Південно-Донбаський грабен простягнувся уздовж Волноваської розломної зони. Грабен обмежений з півдня ПКМ, з півночі – Стельським горстом, із заходу – Новоукраїнським, зі сходу – Комишуваським підняттями докембрійського фундаменту [Ярошук и др., 2010].

Формування поліметалевих родовищ при гідротермальному мінералоутворенні є довготривалим і відбувається за різних фізико-хімічних умов, які впливають на розвиток тектоніки. Генетичний процес рудоутворення характеризується великою перервою в часі [Fang et al., 2015 та ін.] та поділений великими тектонічними порушеннями. На стадії мінералізації відбувається накопичення як рудних мінералів, так і жильних. Територія Новотроїцької ділянки має декілька просторово розподілених проявів зруденіння: балка Велика Борсукова, балка Мокра Мандрікіна, Миколаївське родовище, Стельська і Войковська площі (див. рис. 1).

Аналіз граві- та магнітометричних карт показує, що геофізичні поля території Новотроїць-

кої ділянки мають диференційний характер. Більша частина розривних порушень чітко фіксується в геофізичних полях лінійними від’ємними магнітними та гравітаційними аномаліями, різкими градієнтами та зонами підвищеної електропровідності.

У регіональному плані амплітуда гравітаційного поля з півночі на південь становить $(0,2–0,3) \times 10^{-3}$ м/с², із заходу на схід – змінюється від $0,2 \times 10^{-3}$ до $0,7 \times 10^{-3}$ м/с². Ізолінії поля простягаються у різних напрямках. Так, у південній частині ділянки ізолінії поля сили тяжіння мають північно-західний напрямок. На півночі ізолінії гравітаційного поля простягаються в субмеридіональному напрямку, амплітуда поля коливається в межах $(0,24–0,3) \times 10^{-3}$ м/с². На сході ізолінії поля мають північно-східне простягання. Тут відмічається велика по площі гравітаційна аномалія інтенсивністю до $0,7 \times 10^{-3}$ м/с². Аномалія на заході обмежується чіткою зоною повного горизонтального градієнта з амплітудою близько $0,05 \times 10^{-3}$ м/с²·км.

Для території Новотроїцької ділянки у загальному плані притаманний складний характер магнітного поля з від’ємним фоном та амплітудою майже 100–400 нТл. На фоні від’ємного поля ΔZ_a у північно-західному напрямку за азимутом 315° простягається смуга шириною 3–4 км додатних магнітних аномалій амплітудою 100–800 нТл. Довжина смуги – до 30–40 км. На заході вона розбивається на дрібні аномалії різної величини, форми та напрямку простягання.

Аномалії магнітного поля території в плані майже збігаються з гравітаційними. Насамперед додатні аномалії магнітного поля збігаються з додатними аномаліями поля сили тяжіння. Як правило, лінійні витягнуті від’ємні аномалії ΔZ_a припадають на осі максимальних градієнтів або на лінії порушення кореляції аномалій гравітаційного поля. Різноспрямованість аномалій геофізичних полів та велика кількість зон градієнтів, ліній порушення кореляції аномалій полів свідчать про те, що досліджувана територія має дуже складну тектонічну будову. Крім зазначених вище диз’юнктивів, Новотроїцьку ділянку, загалом, перетинають: на заході – Широкинсько-Олександрівська зона глибинних розломів, через центральну частину проходить Кальміуська зона розривних порушень, на яку накладається Октябрьсько-Комишуваська зона глибинних розломів.

Підхід до оцінювання перспективності території на корисні копалини

Для забезпечення змістовності інтегральної інтерпретації комплексу геолого-геофізичних даних потрібна параметризація ГС – побудова модельного уявлення. Побудова модельного уявлення ГС передбачає попереднє формулювання переліку параметрів, які підлягають визначенню, та геологічне обґрунтування можливих діапазонів їх значень. Кожному конкретному набору значень параметрів відповідає геологічна модель, якою визначається набір і планова конфігурація різноманітних геофізичних полів [Петровский, 2004].

Як параметри для створення геологічної моделі території нами використані результати гравіметричних (карта локальних аномалій поля сил тяжіння, редукція Буге) та магнітометричних (карта локальних аномалій магнітного поля) досліджень, що були проведені на Новотроїцькій ділянці КП «Кіровгеологія» [Оцінка..., 2009]. Крім того, залучалися матеріали рельєфу місцевості у цифровому форматі за даними ASTER-GDEM супутника Terra та довготривалі осереднені температури земної поверхні за результатами обробки інфрачервоних зображень супутника LANDSAT. Усі ці дані було подано у вигляді растрових карт (рис. 2).

Дані про рельєф денної поверхні враховано з огляду на вірогідні феноменологічні моделі взаємовідношення глибокозалягаючих структурних форм (особливо тих, які контрастно проявляються за структурно-речовинними неоднорідностями і деформаціями на їхніх границях) та їх поверхневого відображення. Ці моделі передбачають [Азімов, 2007; Азімов и др., 2012 та ін.], що рухливість зазначених структур на неотектонічному етапі тектогенезу призводить до деформацій сучасної земної поверхні, які проявляються не тільки прямими (очевидними) формами, а й ореолом різноманітних вторинних форм та інших особливостей. Характер цих деформацій, їх просторове розміщення визначають зону, в межах якої відбуваються ті чи інші процеси перетворення, а форма зони у плані дозволяє розрізнити тип глибинних об'єктів.

Осереднені дані температури поверхні Землі, насамперед геотермальні аномалії тієї чи іншої її ділянки, містять досить різномірну інформацію, зокрема й ту, яку вони несуть як про безпосередньо власні джерела, так і про шари земної кори, що залягають вище, крізь які теплові потоки, змінюючись і перетворюючись в залежності від речовинного складу і ступеня проникності (структури) цих шарів, проходять на своєму шляху. У такий спосіб на основі застосу-

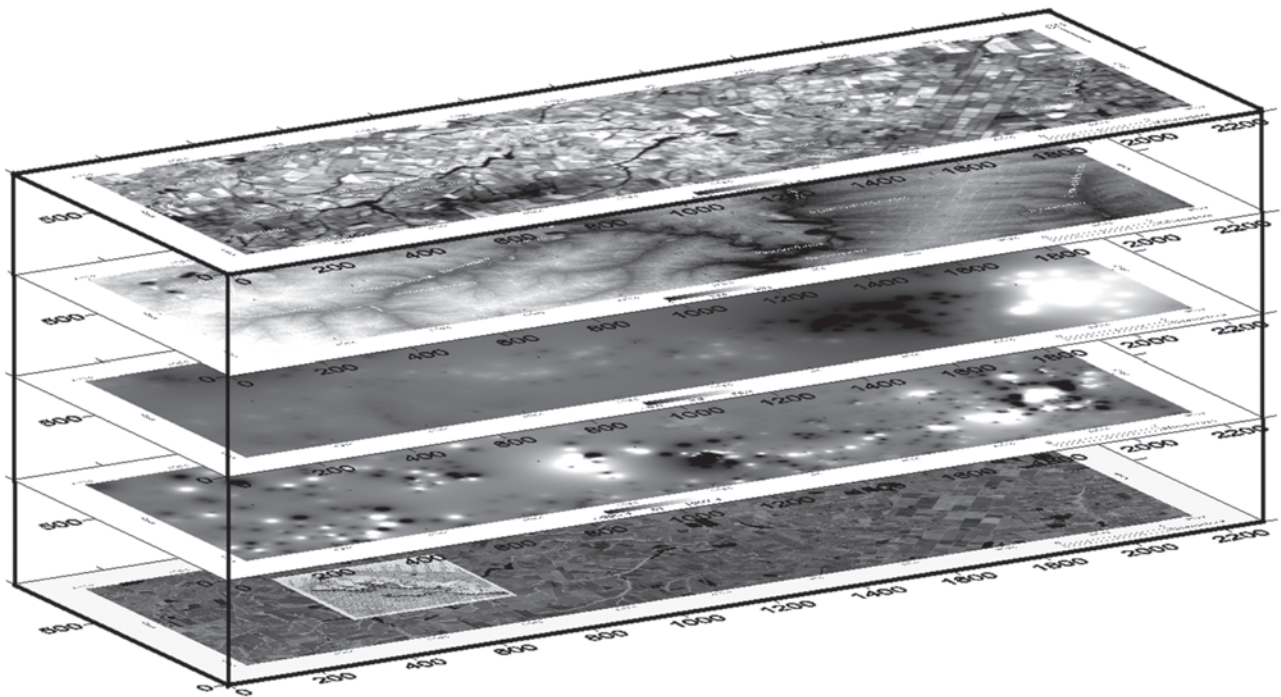


Рис. 2. Набір різномірних геопросторових дистанційних та геолого-геофізичних даних (координати умовні, пікселі)

Fig. 2. The set of various geospatial remotely sensed and geological-geophysical data (false coordinates, pixels)

вання дистанційної теплової зйомки виявляють місця локалізації неоднорідностей в геологічному розрізі, які порушують над собою природне (фонове) геотермічне поле внаслідок різноманітних процесів і реакцій, що з ними пов'язані. Це можуть бути розривні порушення та інші глибокозанурені структури, які містять різні геологічні тіла, що диференціюються за своїми теплофізичними характеристиками, різноманітні корисні копалини, для яких властиві та в яких відбуваються екзотермічні реакції (зокрема, поліметалеві та інші руди і мінеральні сполуки в зоні гіпергенезу), а також низка інших геологічних процесів і об'єктів геологічного генезису [Азімов, 2007; Азімов и др., 2012 та ін.].

Завданням нашого дослідження є виявлення геологічних об'єктів – площових структурних утворень з певними геолого-геофізичними та дистанційними характеристиками – за результатами інтеграції всіх підібраних (а в ідеалі – всіх наявних геологічно інформативних) геопросторових даних [Станкевич, Титаренко, 2009]. Для інтеграції цих різнорідних даних, виявлення в них значеннєвих аномалій, слабо виражених і прихованих закономірностей та відновлення параметрів моделей використано відомі методи інтелектуального аналізу даних: класифікація, кластеризація, аналіз послідовностей і прогнозування тощо [Щавелев, 1998]. До таких методів належать розпізнавання образів з навчанням, дерева рішень, кластерний аналіз, аналіз часових серій, теорія динамічних систем [Андриенко, Тропова, 2011].

Підхід до оцінювання перспективності території на корисні копалини полягає в комплексному описі ГС як багатокомпонентної взаємопов'язаної динамічної природної системи набором інформативних ознак, що непрямо підтверджують наявність покладів, вузлів, зон, родовищ. Цей підхід передбачає визначення комплексної схожості елементарних ділянок площ (комірок) території, що досліджується, з портретами еталонних об'єктів шляхом обчислення оцінок близькості в багатовимірному ознаковому просторі [Боднар та ін., 2006].

Таким чином, оцінювання та параметризація ГС виконано нами шляхом багатовимірного геопросторового моделювання та візуалізації параметрів схожості особливостей ГС Новотроїцької ділянки з особливостями відомого Миколаївського родовища урану, що розташоване в її межах. Миколаївське родовище у плані простя-

гається в субширотному напрямку, вздовж зони контакту порід докембрію та палеозою на відстані майже 10 км і містить п'ять урановорудних тіл (з заходу на схід: Водороздільне, Західне, Центральне, Східне та Богданівське) [Калашник, 2011].

Миколаївська площа має складну геологічну блокову будову. Її структура обмежена Максимівським, Бакламишівським, Гірницьким розломами глибинного закладення і Богданівською зоною тектонічних порушень субмеридіонального напрямку, які перетинаються з субширотно розташованими Миколаївським, Хайначохрським та Антон-Тарамським диз'юктивними. Рудні тіла розміщуються головним чином поблизу межі незгідності палеозою з докембрієм та зосереджені в базальних шарах “білого” девону. Середній відділ девонської системи виражений ейфельським та живетським ярусами, які формують миколаївську світу. Він представлений пісковиками, гравелітами, вапняками доломітизованими, доломітами, глинистими сланцями. Рудовмісні аркозові пісковики супроводжуються епігенетичними змінами типу аргілітизації, хлоритизації, окварцювання, карбонатизації, озалізнання та піритизації. З ефузивами антон-тарамської світу пов'язані прояви Cu, Co, Mn, Pb [Ярошук и др., 2010].

Верхній відділ девону в межах Миколаївської площі представлений франкським та фаменським ярусами. В їх межах залягають: у роздольненській та довгинській світах (нерозчленованих) товщиною від 40 до 450 м – пісковики, конгломерати вулканоміткові, гравеліти, алевроліти, сланці, прошарки туфітів та туфітового алевроліту; в антон-тарамській світі товщиною 150–200 м – базальти, лавобрекчії, туфобрекчії, туфи основного складу, вапнякова брекчія.

Статистичний аналіз різнорідних геопросторових даних

Для складання карти схожості елементарних площ (комірок) території дослідження (x) з еталонами використано статистичну класифікацію гіперкуба даних з навчанням за відстанню Махалобіса:

$$d_i(x) = \sqrt{\Delta y_i^T V_i^{-1} \Delta y_i}, \quad (1)$$

де Δy_i – вектор відхилення поточних значень елементів растра (гіперпікселів) від вектора середніх i -го класу; T – знак транспонування вектора; V_i – коваріаційна матриця i -го класу.

Для всіх класів побудовано імовірнісні карти розподілу:

$$f_i(x) \cong \exp\left(-\frac{d_i^2(x)}{2}\right). \quad (2)$$

Тут $f_i(x)$ – щільність імовірності належності поточного елемента растра (гіперпікселя) до класу i .

Злиття імовірнісних карт класів позитивних та негативних прикладів здійснено за допомогою байєсівського висновку [Hybrid et al., 2011]:

$$p_i(x) = \frac{a_i f_i(x)}{\sum_j a_j f_j(x)}, \quad (3)$$

де $p_i(x)$ – апостеріорна імовірність i -го класу, за Байєсом; a_i, a_j – апіорні імовірності класів i та j ; i – зовнішній, поточний клас; j – внутрішній клас (за ним виконується підсумовування всередині кожного з класів i).

Результатом байєсівського злиття є інтегральна картосхема території дослідження, на якій відображено просторовий розподіл апостеріорної імовірності схожості поточної комірки ділянки з еталонними зразками.

Виклад матеріалу дослідження

У результаті обробки різномірних гетерогенних даних отримано растрову картосхему розподілу апостеріорної імовірності схожості поточної елементарної площі (комірки) Новотроїцької ділянки з еталонними. З певними обмеженнями її можна трактувати як вихідну прогнозу класифікаційну картосхему поліметалевих рудопроявів

зони зчленування південно-західної окраїнної частини Донецького кам'яновугільного басейну з північним схилом ПКМ Українського щита. Картосхему проранжовано на 18 класів прогнозного кількісного вмісту поліметалів (рис. 3).

Отримана класифікаційна картосхема дозволяє виявити локальні площі утворення (або вузли), що можуть відповідати геологічним об'єктам, які перспективні на поліметалеві руди та непрямо підтверджують наявність рудовмісних тіл. Зокрема, як найбільш перспективні виділяються понад 20 локальних площ з розмірами від 0,1×0,1 до 7,0×7,0 км, які можуть належати до потенційно рудоносних вузлів. Вони розташовані в балках річок Мокра Волноваха, Суха Волноваха, Комишуваха, Грузький Єланчик та Кальміус, у районі сіл Стила та Кумачове, біля гори Гуляєва і курганів Могила-Довга та Могила-Чорна.

Із заходу на схід місцеположення цих площ таке: р. Мокра Волноваха біля с. Максимівка (розмір 1,2×1,0 км); балка р. Мокра Волноваха (1,5×1,0 км); р. Мокра Волноваха (1,0×0,12 км); ліва притока р. Мокра Волноваха (2,0×1,0 км); курган Могила-Довга (0,5×0,5 км); лівий берег р. Мокра Волноваха – балка Антон-Тарама (1,0×0,5 км); р. Мокра Волноваха (лівий та правий береги) біля основи балки Антон-Тарама (1,5×1,5 км); балка Хайначохлах р. Мокра Волноваха (1,0×0,5 км); три площі між р. Суха Волноваха та с. Стила (1,0×0,5 км; 1,0×0,4 км; 0,6×0,2 км); Петровська площа (7,0×7,0 км) між

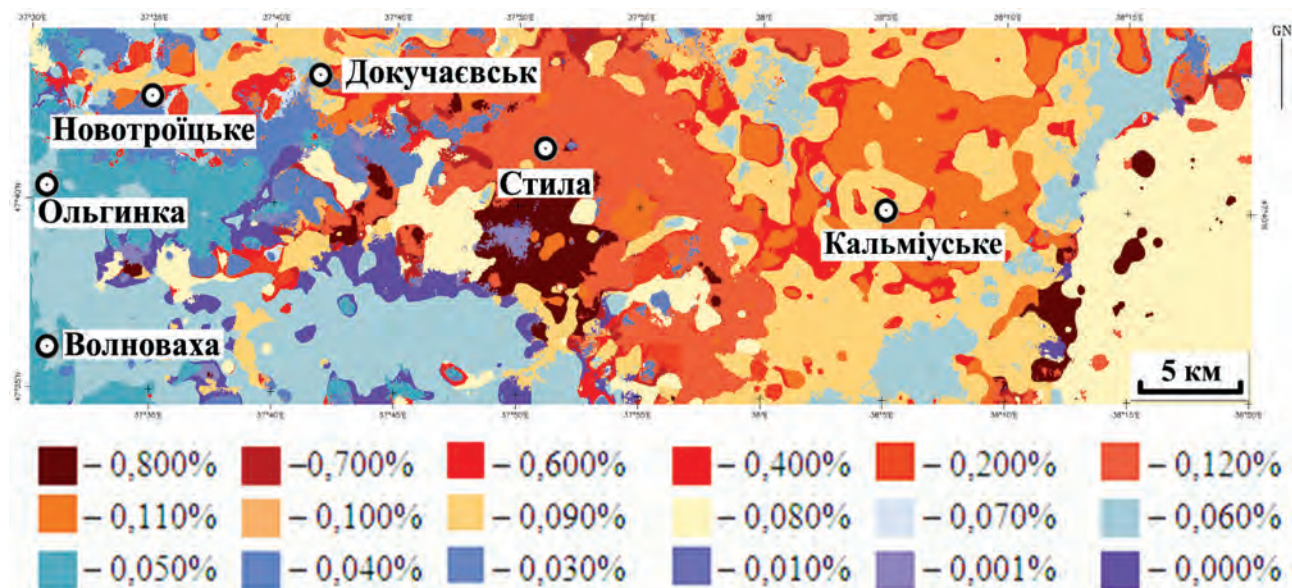


Рис. 3. Класифікаційна картосхема перспективності Новотроїцької ділянки на вміст поліметалевих руд

Fig. 3. The schematic classification map of the Novotroitska area prospectivity for polymetallic ores

р. Мокра Волноваха та балками р. Комишуваха; ліва балка р. Комишуваха (1,0×0,5 км); дві площі між р. Мокра Волноваха та правою балкою р. Кальміус (1,0×0,5 км; 0,5×0,5 км); поряд з курганом Могила-Чорна (2,0×1,0 км); Воровська площа – правий берег р. Грузький Єланчик (1,0×0,5 км); район верхів'я балки Першої та балки Другої р. Грузький Єланчик (5,0×3,5 км); балка Миронова р. Грузький Єланчик (1,0×1,0 км); дві площі біля с. Кумачове (0,8×0,4 км; 0,5×0,2 км); дві площі поблизу гори Гуляєва (4,0×1,5 км; 0,5×0,5 км); верхів'я р. Грузький Єланчик – три площі (0,1×0,1 км; 0,5×0,5 км; 2,0×1,0 км).

На площах балок Велика Борсукова та Мокра Мандрикіна за результатами інтегральної обробки/інтерпретації даних нами оцінено вміст поліметалів в 0,04–0,11%. Разом з тим у балці Мокра Мандрикіна, де докембрійські породи та утворення миколаївської світи девону січуться дайками трахіандезитів, дацитів, трахіліпаритів товщиною від 15 до 25 м, у контакті цих дайок з вапняками девону виявлені епідот-хлоритові скарни із сульфідною мінералізацією (пірит, халькопірит, піротин, халькозин, борніт), магнетитом, гематитом. Вміст міді на 3 м складає у цьому районі у середньому 0,91% (максимальне значення – 1,34%), а кобальту – 0,3% [Ярошук і др., 2010].

Висновки та перспективи подальших досліджень

Отримані результати дозволяють стверджувати, що інтегральна обробка різномірних гетерогенних даних (геологічних, геофізичних, аерокосмічних) може принципово підвищити ефективність геологорозвідувальних робіт на поліметалеві руди: оперативно і з відносно невеликими фінансовими і трудомісткими затратами оцінювати перспективність територій на поліметалеві рудопрояви, картувати відповідні локальні площі, надавати практичні рекомендації щодо планування конкретних детальних пошуково-розвідувальних досліджень.

Подальше вдосконалення інтегрального перетворення/інтерпретації комплексу різномірних даних з метою оптимізації рудопошукових робіт передбачає залучення до обробки результатів структурно-геодинамічного дешифрування матеріалів ДЗЗ, а також морфометричних побудов як на підставі даних топографічних карт, так і

аерокосмічного знімання, результатів фізико-механічних і фізико-хімічних параметрів ГС, що отримані на підставі вимірів відповідними геолого-геофізичними методами.

Одержані нами просторові розподіли локальних площ (або потенційно рудоносних вузлів), що перспективні на поліметали (див. рис. 3), добре корелюються з відомими уявленнями про геологічну будову та геофізичні особливості території Новотроїцької ділянки, а також з даними польових відборів і лабораторних визначень концентрацій рудної сировини в її межах. На наш погляд, особливої уваги під час подальших досліджень заслуговують локальні площі більших розмірів. Насамперед це Петровська площа розміром 7,0×7,0 км, що розташована між р. Мокра Волноваха та балками р. Комишуваха. Вона приурочена до Комишуваського горсту, що являє собою поперечну до Стельського горсту структуру північно-східного простягання, яка оконтурена Петровським та Комишуваським розривними порушеннями.

Великий пошуковий інтерес становить також площа в районі верхів'я балок Першої та Другої р. Грузький Єланчик (розмір 5,0×3,5 км) та площа біля гори Гуляєва (4,0×1,5 км).

Вже давно встановлено безпосередній і прямий зв'язок ділянок ендегенної рудної мінералізації з розривними порушеннями земної кори [Павлинов, 1977; Чебаненко, 1977; Калашник, 2011; Nouri et al., 2013; Shafaroudi, Karimpour, 2013; Helmy, Zoheir, 2015 та ін.]. Зовнішньо цей тісний зв'язок проявляється у зосередженні рудних родовищ поблизу зон розломів, здебільшого глибинних, що, як вважають [Павлинов, 1977], є рудоконтролюючими. Зони родовищ у плані накладаються на зони тектонічних порушень таким чином, що вони розташовуються або вздовж їх простягань, або накопичуються у вузлах їх перетинів.

У наступних дослідженнях Новотроїцької ділянки і прилеглих районів необхідно проаналізувати наявність просторово-генетичних зв'язків проявів зруденіння і прогнозованих нами потенційно рудоносних вузлів зі структурно-геологічною будовою території, з її розломно-блоковим каркасом, з особливостями її диз'юнктивної тектоніки. При цьому матеріали структурного дешифрування даних ДЗЗ підвищать геологічну інформативність кінцевих результатів.

Список літератури / References

1. **Азімов О.Т.** Аналітичний огляд аерокосмічних методів вивчення геологічних структур і процесів. Ст. 2. Теоретичні основи виявлення особливостей будови земної кори за матеріалами дистанційних досліджень. *Зб. наук. пр. УкрДГРІ*. 2007. № 2. С. 250–260.
Azimov O.T., 2007. Analytical review of aerospace methods for investigation of geological structures and processes. Art. 2. Theoretical foundations of revelation of the Earth crust's peculiarities of structure on the base of remote sensing data. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDGRI*, no. 2, p. 250–260 (in Ukrainian).
2. **Азімов А.Т., Апостолов А.А., Архипов А.И., Воробьев А.И., Даргейко Л.Ф., Есипович С.М., Ефименко Т.А., Кичка А.А., Ковальчук С.П., Кудряшов А.И., Лищенко Л.П., Лялько В.И., Мычак А.Г., Пазинич Н.В., Подорван В.Н., Попов М.А., Сахацкий А.И., Седлерова О.В., Семенова С.Г., Станкевич С.А., Терemenko А.Н., Титаренко О.В., Товстюк З.М., Федоровский А.Д., Филиппович В.Е., Ходоровский А.Я., Шкляр С.В., Шульга В.И., Якимчук В.Г.** Спутниковые методы поиска полезных ископаемых: акад. НАН Украины В.И. Лялько и д-р техн. наук М.А. Попов (ред.). Киев: Карбон-Лтд, 2012. 436 с.
Azimov O.T., Apostolov O.A., Arkhipov O.I., Vorob'ev A.I., Dargeyko L.F., Esipovich S.M., Efimenko T.A., Kichka O.A., Koval'chuk S.P., Kudryashov O.I., Lishchenko L.P., Lyalko V.I., Mychak A.G., Pazynich N.V., Podorvan V.M., Popov M.O., Sakhatskiy O.I., Sedlerova O.V., Stankevich S.A., Teryemenko O.M., Titarenko O.V., Tovstyuk Z.M., Fedorovskiy O.D., Filipovich V.E., Khodorovskiy A.Ya., Shklyar S.V., Shul'ga V.I., Yakimchuk V.G., 2012. Satellite methods for prospecting the minerals (Eds. academician of NAS of Ukraine V.I. Lyalko and doctor technical sciences M.O. Popov). Kiev: Karbon-Ltd, 436 p. (in Russian).
3. **Андриенко А.Я., Тропова Е.И.** Прогнозирование состояния динамических систем на основе анализа их спектральных характеристик. *Управление большими системами*. Москва: ИПУ РАН, 2011. Вып. 32. С. 31–39.
Andriyenko A.Ya., Tropova E.I., 2011. Forecasting state of dynamical systems on the basis of their spectral characteristics. *Managing large systems*. Moscow: IPU RAN, iss. 32, p. 31–39 (in Russian).
4. **Боднар О.М., Козлов З.В., Якимчук В.Г., Федоровський О.Д.** Системний підхід до оцінки нафтогазоперспективності територій для подальшої геофізичної розвідки. *Доп. НАН України*. 2006. № 8. С. 127–132.
Bodnar O.M., Kozlov Z.V., Yakymchuk V.G., Fedorovsky O.D., 2006. A system approach to the estimation of the oil-gas prospects of territories for a further geophysical survey. *Dopovidi NAN Ukrainy*, no. 8, p. 127–132 (in Ukrainian).
5. **Буніна А.Я., Станкевич С.А., Азімов О.Т.** Інтегральна обробка дистанційних і геолого-геофізичних даних як інструмент підвищення геологорозвідувальних робіт на поліметалеві руди. *Сучасні напрями геологічних досліджень в Україні*: Зб. матеріалів молодіж. наук. конф. (Київ, 25–26 листоп. 2015 р.). Київ: ІГН НАН України, 2015. С. 13–14.
Bunina A.Ya., Stankevich S.A., Azimov O.T., 2015. Integrated processing of satellite, geological and geophysical data as a tool of geological exploration for polymetallic ores. *Current tendencies of geological investigation in Ukraine*: Proc. Youth Sci. Conf. (Kyiv, November 25–26, 2015). Kyiv: IGS of NAS of Ukraine, p. 13–14 (in Ukrainian).
6. **Калашник А.А.** Геолого-структурные особенности проявления эндогенного уранового оруденения в Западном Приазовье и Орехово-Павлоградской минералогической зоне Украинского щита. Ст. 1. Геолого-структурная связь урановорудных объектов с разломными структурами, массивами щелочных пород и карбонатитов в районе исследований. *Зб. наук. пр. УкрДГРІ*. 2011. № 2. С. 56–72.
Kalashnyk G.A., 2011. Geological-structural features of the spatial placing of endogenetic uranium ore objects in the West Azov and Orekhovo-Pavlograd mineralogical zone of the Ukrainian shield. Art. 1. Geological-structural connection of uranium ore objects with fault structures, massifs of alkaline rocks and carbonatites in the district of researches. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDGRI*, no. 2, p. 56–72 (in Russian).
7. **Оцінка** можливості виявлення уранових родовищ у Південно-Донбаській прирозломній вулканотектонічній западині на основі складання прогнозної карти масштабу 1:50 000 (геологічне завдання 54 (ЦДМ, ЦІІ)-57): Звіт: Мякшило В.Д (відп. викон.). Київ: КП «Кіровогеологія», 2009.
Assessment of capability for the detection of uranium deposits in the Southern Donbas near-fault volcano-tectonic depression on a basis of the forecast map compilation at the scale of 1:50 000 (Geological Task 54 (TsM, TsLI)-57): Report, 2009: Myakshylo V.D. (Principal executor). Kyiv: KP «Kirovgeologia» (in Ukrainian).
8. **Павлинов В.Н.** Глубинные сдвиги и парагенетически сопряженные с ними дизъюнктивные структуры. Ст. 1. *Изв. вузов. Геология и разведка*. 1977. № 8. С. 3–14.
Pavlinov V.N., 1977. Deep landslides and disjunctive structures paragenetically connected with them. Art. 1. *Izvestia vuzov. Geologiya i razvedka*, no. 8, p. 3–14 (in Russian).
9. **Петровский А.П.** Информационное обеспечение и модельные представления интегральной интерпретации геолого-геофизических данных при изучении нефтегазоносных структур. *Геофиз. журн.* 2004. Т. 26, № 3. С. 77–86.
Petrovsky A.P., 2004. Informational maintenance and model concepts for integral interpretation of geological-geophysical data while oil-gas structures are being studied. *Geofizicheskiy zhurnal*, vol. 26, no. 3, p. 77–86 (in Russian).

10. **Проект** на проведення робіт по темі: Оцінка можливості виявлення гідротермальних жильно-штоковеркових уранових родовищ у Південно-Донбаській прирозломній вулкано-тектонічній западині на основі складання прогностичної карти масштабу 1:50 000 на площу 1200 кв. км (шифр об'єкта 54 (ЦМ, ЦЛ)-57): Мякшило В.Д., Чепурний В.С., Анісімов В.А., Колесник О.А., Денисьєв В.Є. № ДР РГВН У-07-181/1. Київ: КП «Кіровгеологія», 2007. 264 с.

Project for the conduct of survey on the theme of "Assessment of capability for the detection of hydrothermal vein-stockwork uranium deposits in the Southern Donbas near-fault volcano-tectonic depression on a basis of the forecast map compilation at the scale of 1:50 000 for the area in 1200 sq. km" (Call number 54 (TsM, TsL)-57), 2007: Myakshylo V.D., Chepurnyi V.S., Anisimov V.A., Kolesnyk O.A., Denysiev V.Ye. № SR RGVN U-07-181/1. Kyiv: KP «Kirovgeologia», 264 p. (in Ukrainian).

11. **Станкевич С.А., Тутаренко О.В.** Методика інтеграції дистанційних та геолого-геофізичних даних при пошуку нафти та газу. *Учен. зап. Тавр. нац. ун-та ім. В.И. Вернадського. Сер. Географія.* 2009. Т. 22 (61), № 1. С. 105–113.

Stankevich S.A., Titarenko O.V., 2009. Remote sensing and geophysical data fusion technique for oil and gas prospecting. *Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Seriya Geografiya*, vol. 22 (61), no. 1, p. 105–113 (in Ukrainian).

12. **Чебаненко И.И.** Теоретические аспекты тектонической делимости земной коры (на примере Украины). Киев: Наук. думка, 1977. 84 с.

Chebanenko I.I., 1977. Theoretic aspects of the tectonic divisibility of the Earth's crust (Ukraine as an example). Kyiv: Naukova Dumka, 84 p. (in Russian).

13. **Щавелев Л.В.** Способы аналитической обработки данных для поддержки принятия решений. *СУБД.* 1998. № 4-5. С. 25–34.

Shchavelev L.V., 1998. Methods of analytical data processing to support decision making. *SUBD*, no. 4-5, p. 25–34 (in Russian).

14. **Ярошук М.А., Мякшило В.Д., Вайло А.В.** Ураноносность Приазовского блока и Южно-Донбасской приразломной впадины. *Зб. наук. пр. ІГНС НАН та МНС України.* Київ, 2010. Вип. 18. С. 50–56.

Yaroshchuk M.O., Miakshylo V.D., Vailo O.V., 2010. Uranium manifestations in the Pryazovia block and the South Donbas fault trough. *Zbirnyk naukovykh prats IGNS NAN ta MNS Ukrainy.* Kyiv, iss. 18, p. 50–56 (in Russian).

15. **Fang J., Chen H., Zhang L., Zheng Y., Li D., Wang C., Shen D.** Ore genesis of the Weibao lead–zinc district, Eastern Kunlun Orogen, China: constrains from ore geology, fluid inclusion and isotope geochemistry. *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.)*. 2015. Vol. 104, no. 5. P. 1209–1233.

Fang J., Chen H., Zhang L., Zheng Y., Li D., Wang C., Shen D., 2015. Ore genesis of the Weibao lead–zinc district, Eastern Kunlun Orogen, China: constrains from ore geology, fluid inclusion and isotope geochemistry. *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.)*, vol. 104, no. 5, p. 1209–1233 (in English).

16. **Helmy H., Zoheir B.** Metal and fluid sources in a potential world-class gold deposit: El-Sid mine, Egypt. *Ibid.* 2015. Vol. 104, no. 3. P. 645–661.

Helmy H., Zoheir B., 2015. Metal and fluid sources in a potential world-class gold deposit: El-Sid mine, Egypt. *Ibid.*, vol. 104, no. 3, p. 645–661 (in English).

17. **Stankevich S.A., Kozlova A.A., Vasko A.V., Gerda M.I.** Hybrid model for data fusion in remote sensing research of the Earth. *Abstr. 11th Ukr. Conf. on Space Research* (Yevpatoria, Crimea, Ukraine, August 29–September 2, 2011). Kyiv: Space Research Institute, 2011. P. 74.

Stankevich S.A., Kozlova A.A., Vasko A.V., Gerda M.I., 2011. Hybrid model for data fusion in remote sensing research of the Earth. *Abstr. 11th Ukr. Conf. on Space Research* (Yevpatoria, Crimea, Ukraine, August 29–September 2, 2011). Kyiv: Space Research Institute, p. 74 (in English).

18. **Nouri R., Jafari M.R., Arian M., Feizi F., Afzal P.** Correlation between Cu mineralization and major faults using multifractal modelling in the Tarom area (NW Iran). *Geol. Carpathica*. 2013. Vol. 64, no. 5. P. 409–416.

Nouri R., Jafari M.R., Arian M., Feizi F., Afzal P., 2013. Correlation between Cu mineralization and major faults using multifractal modelling in the Tarom area (NW Iran). *Geol. Carpathica*, vol. 64, no. 5, p. 409–416 (in English).

19. **Prost G.L.** Remote sensing for geoscientists: Image analysis and integration. Boca Raton: CRC, 2014. 674 p.

Prost G.L., 2014. Remote sensing for geoscientists: Image analysis and integration. Boca Raton: CRC, 674 p. (in English).

20. **Shafaroudi A.M., Karimpour M.H.** Hydrothermal alteration mapping in northern Khur, Iran, using ASTER image processing: a new insight to the type of copper mineralization. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*. 2013. Vol. 87, no. 3. P. 830–842.

Shafaroudi A.M., Karimpour M.H., 2013. Hydrothermal alteration mapping in northern Khur, Iran, using ASTER image processing: a new insight to the type of copper mineralization. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, vol. 87, no. 3, p. 830–842 (in English).

Стаття надійшла
29.05.2017