

УДК 553.4'3/9:528.88:519.237

СТАНКЕВИЧ С.А.¹, БУНІНА А.Я.², ЧЕПУРНИЙ В.С.³

¹Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України, м. Київ

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка

³Казенне підприємство "Кіровгеологія", м. Київ

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ІНТЕГРАЦІЇ ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНИХ ТА ДИСТАНЦІЙНИХ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ДЛЯ КАРТУВАННЯ РУДОПЕРСПЕКТИВНОСТІ ТЕРИТОРІЙ

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

Вступ

Практичний досвід використання геоінформаційних технологій для вирішення завдань оцінки енергетичного та сировинного потенціалу окремих регіонів України показує, що існує стійкий попит на сервіси накопичення, обробки та аналізу геопросторових даних про геологічне середовище, перспективність та оцінку можливих запасів корисних копалин на тих чи інших територіях з метою удосконалення системи управління гірничодобувної галузі. Для побудови фізико-геологічних моделей території дослідження, як правило, залучаються різноманітні гетерогенні геологічні, геофізичні та інші геопросторові дані [1].

Потребують комплексного геоінформаційного аналізу наявні в Україні площі, перспективні на родовища розсипних і корінних поліметалічних руд. Зокрема, для перевірки можливості оцінювання перспективності на поліметалічні поклади у Південно-Донбаській прирозломній вулкано-тектонічній западині з використанням наявних геолого-геофізичних та дистанційних даних, була досліджена Новотроїцька площа шляхом багатовимірного геопросторового моделювання та візуалізації параметрів схожості геологічного середовища дослідженої ділянки земної поверхні з відомим Миколаївським родовищем урану, та отримано прогнозу класифікаційну карту перспективності поліметалічних рудопроявів зони зчленування Донецького басейну з Приазовським кристалічним масивом за дистанційними даними та геолого-геофізичними матеріалами.

Постановка задачі

Для оцінювання перспективності території дослідження на поліметалічні корисні копалини потрібна розробка моделі автоматизованої інтеграції та комплексної інтерпретації різноманітних дистанційних та геолого-геофізичних даних. Для цього мають бути вирішені такі завдання:

1. Перевірка можливості оцінювання перспективних ділянок на поліметалічні поклади Південно-Донбаської прирозломної вулкано-тектонічної западини на основі комплексної схожості геологічного середовища з відомими родовищами Новотроїцької площі.

2. Складання прогнозної карти перспективності поліметалічних рудопроявів зони зчленування Донецького басейну з Приазовським кристалічним масивом за дистанційними даними та геолого-геофізичними матеріалами.

3. Надання обґрунтованих рекомендацій з проведення детальних геологорозвідувальних робіт на перспективних ділянках Новотроїцької площі для проведення пошукових бурових робіт на поліметалічні корисні копалини.

Дані

Як вхідні геолого-геофізичні дані використовувалися: карта локальних гравітаційних аномалій Буге, обчислених з щільністю проміжкового шару $2,67 \text{ г/см}^3$ і реальною (рис.1), карта локальних аномалій магнітного поля (рис.2) та геолого-структурна карта Миколаївської ділянки масштабу 1:20 000 (рис.3).

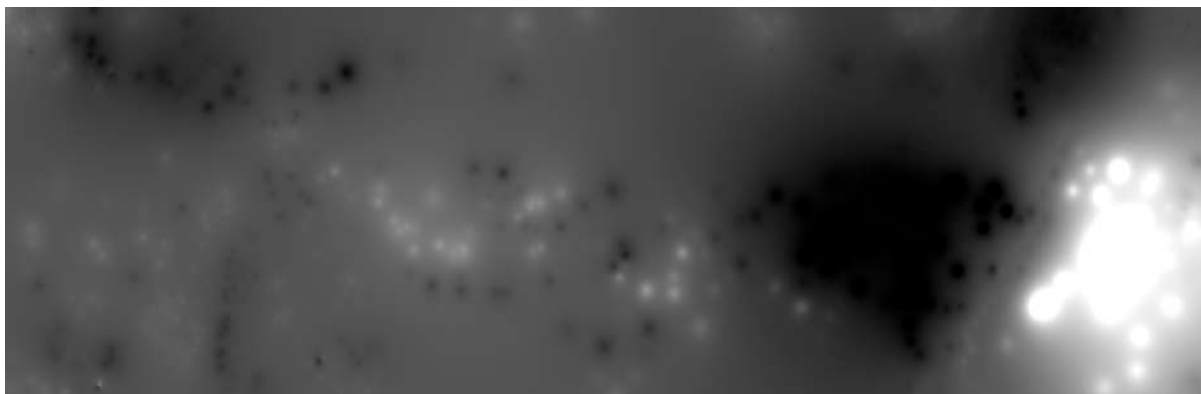


Рис.1. Карта локальних гравітаційних аномалій Буге (мГал)

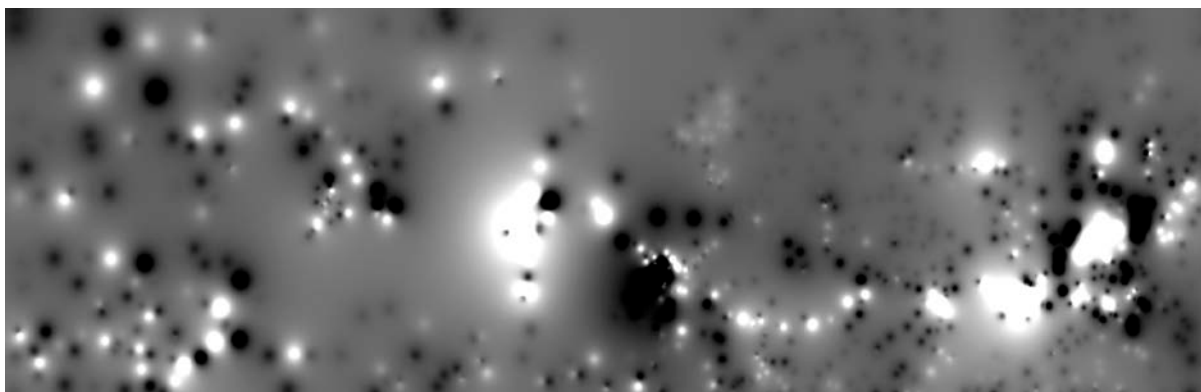


Рис.2. Карта локальних аномалій магнітного поля (нТл)

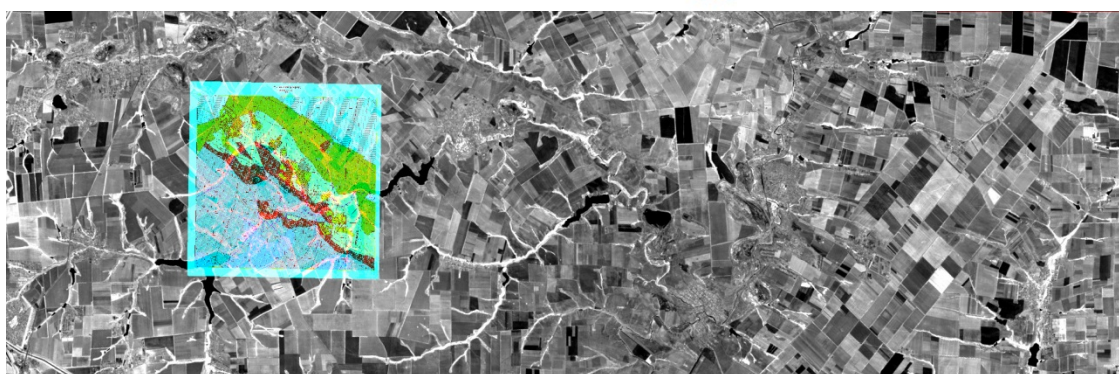


Рис.3. Геолого-структурна карта Миколаївської ділянки (В.Д. Мякшило, 2009)

Сучасні дистанційні дані представлено, як правило, каліброваними багатоспектральними аерокосмічними зображеннями (рис.4).



Рис.4. Супутниковий знімок Landsat/TM території дослідження

Вони містять значний обсяг інформації та потребують великих обчислювальних витрат на свою обробку. Поряд з тим, спектральні сигнали, обумовлені відбивальною здатністю земних покриттів, слабко пов'язані з глибинними геологічними утвореннями, у тому числі рудними тілами. Тому при інтеграції даних доцільно застосовувати не самі багатоспектральні зображення, а інформаційні продукти на їх основі, тобто результати просторового геофізичного моделювання, подані у вигляді растрових карт. Певні інформаційні продукти більш змістовно відповідають задачі пошуку цільових об'єктів. До таких інформаційних продуктів відносяться: рельєф місцевості (рис. 5), температура земної поверхні (рис. 6) тощо [2].

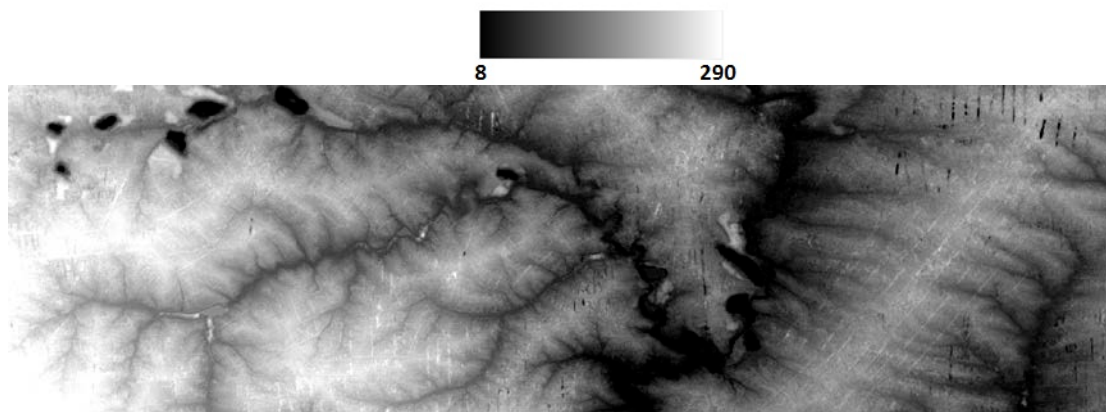


Рис.5. Цифровий рельєф території дослідження (м)

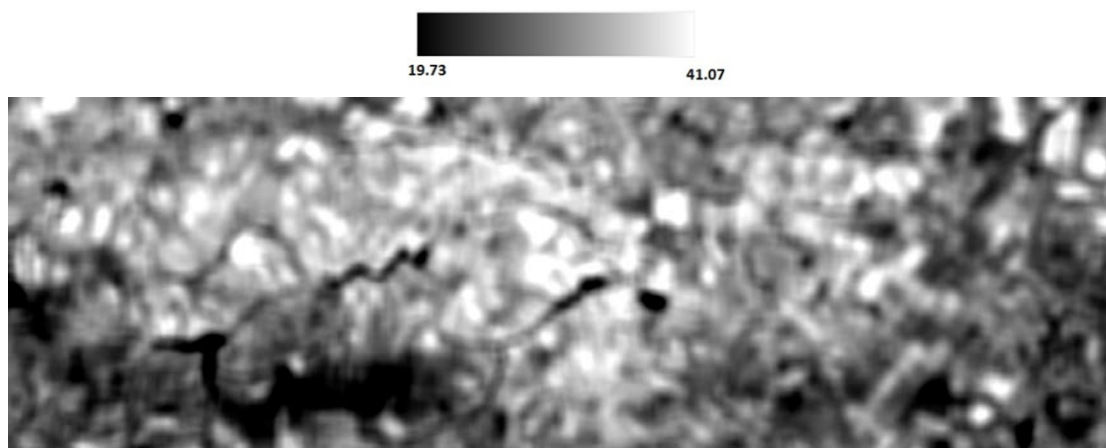


Рис. 6. Середня температура поверхні (°C) території дослідження

Як допоміжні, залучалися дані геологічної карти СРСР масштабу 1:200 000 (L-37-II,III, 1958), геологічної карти докембрію та палеозою масштабу 1:200 000 (L-37-II, 1958), карти корисних копалин СРСР масштабу 1:200 000 (L-37-II,III, 1958) та топографічна карти масштабу 1:200 000 (L-37-II,III, 1984).

Територія дослідження

Новотроїцька площа охоплює смугу протяжністю біля 60 км та шириною до 20 км, яка простягається вздовж зони зчленування Донбасу із Приазовським масивом, від с. Ольгінка на заході до с. Кумачево на сході.

В тектонічному відношенні територія дослідження має складну блокову структуру, обумовлену проявом розривної тектоніки, різної за віком і глибиною походження та має трьох'ярусну будову, складовими якої є докембрійський, герцинський та альпійський стратиграфічні етапи.

Аналіз гравітаційних та геомагнітних карт показує, що територія Новотроїцької площі має диференційний склад геофізичних полів. Переважна частина розломів чітко фіксується в геофізичних полях, лінійними негативними магнітними та гравітаційними аномаліями, різкими градієнтами та зонами підвищеної провідності.

У регіональному плані амплітуда гравітаційного поля з півночі на південь змінюється з 20 до 30 мГал, із заходу на схід з 20 до 70 мГал. Градієнти поля простягаються у різних напрямках. Територія площі характеризується складним характером магнітного поля, з від'ємним фоном та амплітудою порядку 100-400 нТл.

Серед головних розломів виділені наступні системи за напрямками: північно-західні, субмеридіальні – розломи глибокого закладання, такі як Новотроїцький підкид, Олександрійський скид та Войковський надвиг, з північно-східних розломів глибинного походження слід виділити Велико-Анадольський, Петровський та Комишуваський скиди та субширотних – Васильківський підкид глибинного походження та розломи глибинного закладання – Південно-Волновахський, Північно-Волновахський, Миколаївський скиди та багато інших. Розломи, за рядом ознак та проявів різновікового магматизму, зазнали декілька етапів активізації.

З найбільш крупних блокових структур виділяються такі позитивні структури – Північний виступ Приазовського масиву, Стельський та Камишевахський горсти та Єланчикський виступ на північному сході площі, а від'ємною структурою є Південно-Донецький грабен [3].

Підхід

Для забезпечення змістовності інтегральної інтерпретації геолого-геофізичних даних потрібна параметризація геологічного середовища – побудова модельного уявлення. Побудова модельного уявлення геологічного середовища 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 конфігурація різноманітних геофізичних полів [4].

Для інтеграції різнорідних геопросторових даних, виявлення в них аномалій, прихованих закономірностей та відновлення параметрів моделей використовуються відомі методи інтелектуального аналізу даних – класифікація, кластеризація, аналіз послідовностей і прогнозування [5]. До таких методів відносяться: розпізнавання образів з навчанням, дерева рішень, кластерний аналіз, аналіз часових серій, теорія динамічних систем [6].

Підхід до оцінювання перспективності території полягає в комплексному описанні геологічного середовища як багатокомпонентної динамічної природної системи набором інформативних ознак, що непрямо підтверджують наявність покладів. Цей підхід передбачає

визначення комплексної схожості елементарних ділянок території, що досліджується, з портретами еталонних об'єктів шляхом обчислення оцінок близькості в багатовимірному ознаковому просторі [7].

Модель

Задачею є виявлення геологічних об'єктів – площинних структурних утворень з певними геолого-геофізичними та дистанційними характеристиками за результатами інтеграції всіх наявних геопросторових даних [8].

Для формування карти схожості ділянок території з еталонами застосовується статистична класифікація гіперкубу даних з навчанням за відстанню Махалонобіса $d_i(x)$:

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

де Δy_i – вектор відхилення поточного гіперпіксела від вектора середніх i -го класу, V_i – коваріаційна матриця i -го класу. Для всіх класів створюються імовірнісні карти розподілу $f_i(x)$:

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

Злиття імовірнісних карт позитивних та негативних прикладів здійснюється за допомогою байєсівського висновку [9]:

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

де a_i – апіорні імовірності класів. Результатом байєсівського злиття є комплексна карта перспективності території дослідження, на якій відображено просторовий розподіл апостеріорної імовірності схожості поточної ділянки з еталонними зразками.

Результати

Для оцінювання перспективності території на поліметалічні корисні копалини по Новотроїцькій площі проведено аналіз і комплексну інтерпретацію геолого-геофізичних та дистанційних даних. Результати геопросторового моделювання отримано у вигляді растрових карт. Миколаївська ділянка території дослідження була взята за основу для класифікації еталонних об'єктів.

Миколаївська ділянка обмежена субмеридіальними: Максимівським, Бакламишівським, Гарняцьким розломами глибинного залягання, Богданівською зоною розломів, які перетинаються з субширотно розташованими Миколаївським, Хайначохлахським та Антон-Тарамським розломами. Рудні тіла розміщуються, головним чином, поблизу границі незгідності палеозою із докембрієм та зосереджені в базальних шарах «білого» девону. Миколаївське родовище поліметалічних руд в плані витягується в субширотному напрямку, вздовж зони контакту порід докембрію та палеозою на протязі майже 10 км і включає 5 покладів поліметалічних та уранових руд [10].

Для оцінювання перспективності на поліметалічні поклади у Південно-Донбаській прирозломній вулкано-тектонічній западині визначено еталонні ділянки розміром приблизно 30×30 м, на яких відомо величини відсоткового вмісту поліметалів. В якості пошукових ознак задіяні значення нормалізованих характеристик гіперпікселів кубу даних. За результатами обробки отримано растрові карти просторового розподілу апостеріорної імовірності схожості поточної ділянки Новотроїцької площі з еталонними. Вихідна класифікація території дослідження складається з 18 класів прогнозного кількісного вмісту поліметалів (рис.7).

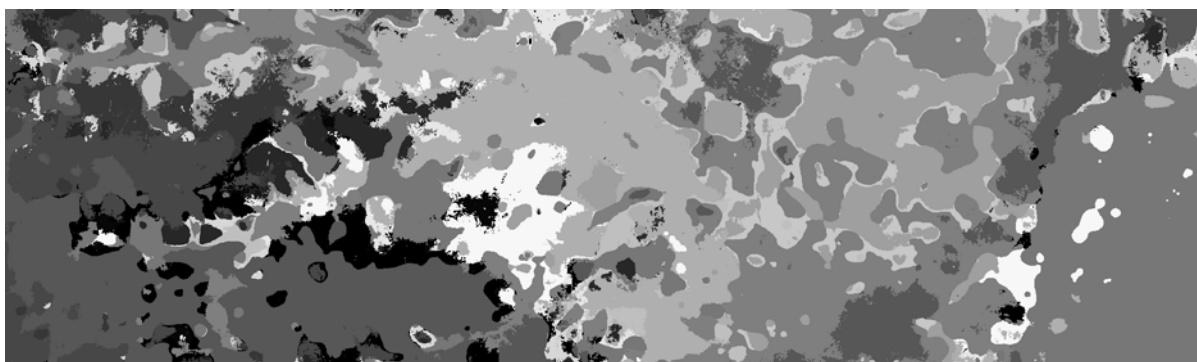
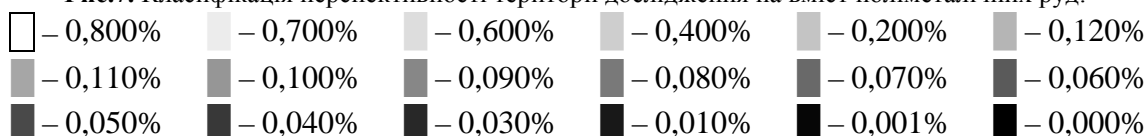


Рис.7. Класифікація перспективності території дослідження на вміст поліметалічних руд:



Інтерпретація

Одержана на основі комплексної схожості геологічного середовища з відомими поліметалічними родовищами Новотроїцької площі класифікація дозволяє виявити площинні утворення, що можуть відповідати геологічним об'єктам, перспективним на поліметалічні рудопрояви зони зчленування Донецького басейну з Приазовським кристалічним масивом, та непрямо підтверджують наявність покладів.

Як найбільш перспективні може бути виділено 20 ділянок з розмірами від 0,1×0,1 км до 7×7 км, що розташовані в балках річок Мокра Волноваха, Суха Волноваха, Комишуваха, Грузький Єланчик та Кальміус, в районі сіл Стила та Кумачово, біля гори Гуляєва і курганів Могила-Довгая та Могила-Чорна.

На ділянках балок Велика Барсукова та Мокра Мандрикіна вміст поліметалів оцінено в 0,110-0,040%, але в балці Мокра Мандрикіна, де докембрійські породи та породи миколаївської світи девону січуться дайками трахіандезитів, дацитів, трахіліпаритів потужністю від 15 до 25 м, в контакті 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 середньому 0,91% (максимальне – 1,34%), кобальту – 0,3% [3].

Отже, одержані результати свідчать про принципову можливість інтеграції геолого-геофізичних та дистанційних геопросторових даних для картування перспективності територій на поліметалічні рудопрояви. Просторові розподіли виявлених перспективних ділянок добре корелюються з відомими уявленнями щодо геологічної будови та геофізичних особливостей території досліджень. Запропонована модель інтеграції може бути використана для попереднього картування великих територій при плануванні детальних геофізичних досліджень та геологорозвідувальних робіт з пошуку поліметалічних родовищ.

Подальші дослідження слід спрямувати на кількісно-просторову верифікацію результатів оцінювання перспективності за даними польових геологічних досліджень та розвідувального буріння.

1. Вишва С.А. Проблеми інформаційного забезпечення інтерпретаційних технологій геофізичної томографії / С.А. Вишва, Г.Т. Продайвода, І.В. Віршило, О.О. Козіонова // Геодинаміка.– 2011.– № 2(11).– С.44–45.
2. Спутниковые методы поиска полезных ископаемых / Под ред. В.И. Лялько и М.А. Попова.– Киев: Карбон, 2012.– 436 с.

3. Ярошук М.А. Ураноносность Приазовского блока и Южно-Донбасской приразломной впадины / М.А. Ярошук, В.Д. Мякшило, А.В. Вайло // Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища.– Київ: ІГНС, 2010.– Вип.18.– С.50–56.
4. Петровский А.П. Информационное обеспечение и модельные представления интегральной интерпретации геолого-геофизических данных при изучении нефтегазоносных структур / А.П. Петровский // Геофизический журнал.– 2004.– № 3.– Т.26.– С.77–86.
5. Щавелев Л.В. Способы аналитической обработки данных для поддержки принятия решений / Л.В. Щавелев // СУБД.– 1998.– № 4–5.– С.25–34.
6. Андриенко А.Я. Прогнозирование состояния динамических систем на основе анализа их спектральных характеристик / А.Я. Андриенко, Е.И. Тропова // Управление большими системами.– Вып.32.– М.: ИПУ РАН, 2011.– С.31–39.
7. Боднар О.М. Системний підхід до оцінки нафтогазоперспективності територій для наземної геофізичної розвідки / О.М. Боднар, З.В. Козлов, В.Г. Якимчук, О.Д. Федоровський // Доповіді Національної академії наук України.– 2006.– № 8.– С. 127-132.
8. Станкевич С.А. Методика інтеграції дистанційних та геолого-геофізичних даних при пошуку нафти та газу / С.А. Станкевич, О.В. Титаренко // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского.– 2009.– Т.22(61).– № 1.– С.105–113.
9. Stankevich S.A. Hybrid model for data fusion in remote sensing research of the Earth / S.A. Stankevich, A.A. Kozlova, A.V. Vasko, M.I. Gerda // Abstracts of 11th Ukrainian Conference on Space Research.– Yevpatoria: Space Research Institute, 2011.– P.74.
10. Калашник А.А. Геолого-структурные особенности проявления эндогенного уранового оруденения в Западном Приазовье и Орехово-Павлоградской минерогенической зоне Украинского щита / А.А. Калашник // Збірник наукових праць УкрДГРІ.– 2011.– № 2.– С.56–72.

СТАНКЕВИЧ С.А., БУНИНА А.Я., ЧЕПУРНОЙ В.С.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕГРАЦИИ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ДИСТАНЦИОННЫХ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ КАРТИРОВАНИЯ РУДОПЕРСПЕКТИВНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ

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

STANKEVICH S., BUNINA A., CHEPURNOY V.

OPERABILITY EVALUATION OF THE GEOLOGICAL/GEOPHYSICAL AND REMOTE SENSING DATA INTEGRATION FOR LAND ORE PROSPECTIVITY MAPPING

The model for automated integration and complex interpretation of remote and geophysical data to evaluate land ore prospectivity is offered. The integration possibility is demonstrated over the Novotroitsky area of South Donbass volcanogenic fault depression. Spatial distribution of the polymetals prognostic content within study area is obtained.