

**МЕТОДИКА ОЦИФРУВАННЯ ІНЖЕНЕРНО-КАРТОГРАФІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ  
ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ КОМУНІКАЦІЙ**

**METHODOLOGY OF DIGITALIZATION OF ENGINEERING AND CARTOGRAPHIC  
INFORMATION AT THE RECONSTRUCTION OF TRANSPORT COMMUNICATIONS**



*Кузьмінець Микола Петрович, доктор технічних наук, доцент, Національний транспортний університет завідувач кафедри комп'ютерної, інженерної графіки та дизайну, e-mail: [kuzminetsmp@ukr.net](mailto:kuzminetsmp@ukr.net), +380983600812,*

*<https://orcid.org/0000-0002-9636-919X>*



*Дубовенко Юрій Іванович, кандидат фізико-математ. наук, доцент Національний транспортний університет, викладач кафедри комп'ютерної, інженерної графіки та дизайну, e-mail: [nemishayeve@ukr.net](mailto:nemishayeve@ukr.net), тел. +380665979384,*

*<https://orcid.org/0000-0002-8128-5989>.*

**Анотація.** В роботі описано процес введення в комп'ютер технічної растрової інформації із паперових інженерно-геологічних карт, якими супроводжується реконструкція транспортних комунікацій. Пропонується формалізувати процес автоматичного введення та оцифрування технічної інформації із використанням картографічної географічної інформаційної системи (ГІС) загального призначення MapInfo Professional. Показано, що технологія роботи по растровій підкладці дозволяє комбінувати як растрові, так і векторні шари. Така операція значно збільшує точність і швидкість оцифрування вхідних даних. Виявлено, що такий спосіб оцифрування не вимагає залучення зовнішніх спеціальних пристроїв для перенесення інформації із паперової основи у цифрову форму. Запропоновано використовувати для оцифрування нанесені на карту точкові об'єкти (станції, пункти вимірювань, спостережень і значення показників технічного моніторингу, тощо) а не самі ізолінії. Суттєвою перевагою є і використання правої прямокутної системи координат та суцільної координатної прив'язки точок.

**Ключові слова:** Оцифрування, картографія, геодезична основа, комп'ютеризація.

### **Вступ**

Основа практично всіх інженерних реконструкцій та побудов, теорій і гіпотез у різних областях транспортної галузі традиційно складають різноманітні картосхеми, графіки, діаграми та інженерні нариси. До них відносять карти архітектурні, схеми інженерних комунікацій, транспортних розв'язок, тощо. Окремим класом проходять карти та плани інженерно-геологічно основи: геологічні, тектонічні, різноманітні геофізичні, геохімічні, екологічні тощо.

Крім того, при обробці даних ряду інженерних вишукувань при будівництві та реконструкцій транспортних комунікацій та шляхів сполучень різного рівня, як у міській інфраструктурі, так і зовні маґаполісів, а також у супроводі геолого-геофізичних методів широко використовуються топографічні карти.

Зокрема, найчастіше основою для підготовки кондиційних інженерно-картографічних основ

для подальшого оформлення містобудівної та кадастрової документації щодо трансформації транспортних мереж нерідко використовують як високоточні топографічні дані, так і первинні матеріали геодезичного знімання. А для особливо важливих комунікацій, які відносять до комунікацій найвищого рангу, а також ті, що застосовуються для підтримання державної мережі спеціального зв'язку та для потреб військової галузі, використовують і дані, відзняті або отримані із карт сили тяжіння або інших навігаційних елементів подібного рівня.

Зупинимось окремо в своєму аналізі на інтерпретації карт, отриманих за даними гравіметрії. Так, раніше ці карти отримували шляхом проведення детальних гравіметричних знімів та аналізу й узагальнення масивів зведених журналів спостережень. На їх основі формували великорозмірні матриці спостережень у вигляді структурованих таблиць. Для елімінації похибок вимірювань та методу в ці матриці вводяться поправки за рельєф місцевості, а результати зйомки представляють у вигляді серії графіків зміни аномалій сили тяжіння за профілями спостережень і карт ізоаномал.

На карту наносять пункти спостережень і значення аномалій на опорних і рядових пунктах. В даній роботі описується технологія введення в комп'ютер інформації, представленій у вигляді реальної карти фактичного матеріалу за допомогою сучасного програмного забезпечення. Для аналізу ми обрали пропрієтарну програму MapInfo Professional від фірми Pitney Bowes (США).

Цей пакет програмного забезпечення достатньо поширений у державних виробничих організаціях, які займаються організацією гравіметричних знімів та моніторингу, у тому числі для забезпечення потреб з реконструкції транспортної інфраструктури. Це програмне забезпечення має всі необхідні інструменти для створення планово-картографічних матеріалів і було спеціально спроектоване для обробки і аналізу інформації, що має просторову чи адресну прив'язку.

На сьогодні рельєф земної поверхні, на якій розташовані ті чи інші інженерні та/чи транспортні комунікації, доволі успішно апроксимується через розклад зовнішнього гравіполя, отриманого за даними супутникових вимірювань, в ряд за сферичними функціями і наступного перерахунку у відповідний лінійний функціонал. Такий сервіс за даними супутникових місій GRACE і CHAMP навіть доступний он лайн.

Очевидно, така картографічна інформація має меншу роздільну здатність, аніж паперова, яка має найпопулярніший масштаб 1:200000. На це є свої причини об'єктивного характеру. Щодо аналітичної апроксимації великого ареалу (йдеться про площу ділянки земної поверхні принаймні у 100 км<sup>2</sup>), то вона наштовхнулася на труднощі як чисельного плану, оскільки для такої території вже обов'язково слід врахувати сферичність Землі. Проте аналітичні вирази в сферичних координатах стають складні і нестійкі при чисельній реалізації. Тут доводиться вдаватись до процедур регуляризації розбіжних інтегралів, якими описуються відповідні математичні моделі. Проте аналіз таких моделей виходить за рамки нашого дослідження.

Крім того, виникають і труднощі методологічного плану у розробці картграфічного супроводу інженерно-будівельної документації, що означає необхідність оцифрувати великий обсяг картографічної інформації та звести в одне різні планшети, ув'язавши похибки склейки та оцифрування. Деякі грубі попередні теоретичні оцінки щодо реалізації такого функціоналу для найбільш популярних у транспортній галузі картографічних матеріалів дозволяють сподіватись на практичну доцільність такого порівняння.

Відомі процедури, алгоритми і програмні комплекси вводу зображень карт за допомогою дигітайзера і сканера з подальшим перетворенням введених даних у цифровий вигляд являються досить складними і трудомісткими. Наприклад, сучасний програмний комплекс введення карт за допомогою сканера [1] виконує наступні дії: 1) введення та економне кодування зображення; 2) згладжування контурів; 3) усунення перешкод; 4) виділення скелету зображення; 5) кусково-лінійна апроксимація векторизованого зображення; 6) виявлення відрізків ізоліній; 7) виявлення рамки та очистка зображення

зовні рамки; 8) простеження фрагментів ізоліній; 9) введення цифрових значень, які відповідають ізолініям; 10) формування вихідних результатів.

Для обробки та інтерпретації геофізичної інформації, представлені у вигляді карт фактичного матеріалу, необхідна автоматизація їх введення в комп'ютер. З появою, розвитком і дедалі більш значним використанням геоінформаційних систем – з'явилась можливість вирішити проблему більш точно і ефективно.

Найбільш близьким до способу, що пропонується, є спосіб [2] оцифрування (дігіталізації) сканованих зображень рельєфу землекористування, що включає сканування карти (плану) з нанесеними ізолініями рельєфу, запис отриманого зображення в файл у будь-якому графічному форматі, завантаження малюнку в програму Surfer, дігіталізацію виділеної карти шляхом проведення перехрестям курсору миші по горизонталі і фіксування лівою клавішею миші відхилення від прямої лінії (більш детально на згинах горизонталей, менш детально на прямих лініях), відкриття файлу з координатами  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (координати  $x$  і  $y$  виставляються автоматично, висота  $z$  вводиться вручну), закриття і збереження файлу.

Недоліками відомого способу є наступне:

- оцифровуються горизонталі, що приводить до зменшення точності, що в свою чергу підвищує вірогідність отримання файлу з наближеними (а іноді й недостовірними) координатами точок і значеннями поля в цих точках;

- використовуються засоби програми Surfer, що приводить до подовження тривалості процесу оцифрування, неоднозначності кінцевого результату, оскільки два різні оператори, наприклад, прослідковуючи окрему ізолінію, отримують подібні, але все таки відмінні результати;

- трудомісткість та незручність процесу дігіталізації.

### Виклад основного матеріалу

Поставимо задачу створення способу оцифрування сканованих карт фактичного матеріалу засобами геоінформаційної системи "MapInfo", що забезпечить максимально можливу автоматизацію, достовірність, точність і мінімальний час введення графічної інформації в комп'ютер з використанням справжніх геодезичних чи умовних прямокутних координат.

Розв'язання поставленого завдання досягається шляхом використання в якості вихідних даних попередньо відсканованих карт фактичного матеріалу. В правій панелі вікна (рис. 1) приводиться фрагмент гравіметричної карти, де цифрами позначено: 1 – пункт (точка) спостереження; 2 – значення аномалії на пункті; 3 – ізолінія. На такі карти, крім номенклатури, масштабу, координатної сітки, внутрішньої і зовнішньої рамок та іншого, наносять також пункти спостережень і значення аномалій на цих пунктах. Ізолінії проводять шляхом інтерполяції по площині [3].

Для калібрування листа карти використовують точки кутів внутрішньої рамки. Для цього в будь-якій доступній програмі обчислення координат (наприклад, PHOTOMOD GeoCalculator 4.2) переводять геодезичні координати кутів рамки трапеції в прямокутну систему координат, що використовується на конкретному листі. Знання дійсних координат цих опорних точок в масштабі карти дозволить в подальшому автоматично визначити дійсні координати всіх інших оцифрованих точок.

Суть способу полягає в послідовному виконанні алгоритму [4, 5, 6], що складається з чотирьох етапів.

**1. Реєстрація растрового зображення.** Для того щоб геоінформаційна система показувала растрове зображення правильним чином, разом з векторними даними поверх нього, проводять реєстрацію зображення. Реєстрація здійснюють в діалоговому вікні "Реєстрація зображення", в якому визначають координати точок прив'язки, а також тип проекції растрового зображення.

Розглянемо процес реєстрації. Після запуску MapInfo виконують команду *Файл ► Відкрити таблицю*. В діалозі "Відкрити таблицю" з списку *Типи файлів* вибирають формат файлу *Растр* і назву файлу, який необхідно відкрити. Якщо натиснути кнопку *Відкрити*, то на моніторі з'явиться діалогове

вікно, в якому пропонується зробити вибір – чи реєструвати зображення, чи просто показати. При натисканні кнопки *Реєструвати* з'являється вікно "Реєстрація зображення", в нижній частині якого буде показано початкове зображення. Задають проекцію сканованої карти. Вказують на один з кутів внутрішньої рамки. У вікні "Додати контрольну точку" задають координати опорної точки в прямокутній системі координат. Аналогічно вводять координати ще трьох точок (контрольні точки на зображенні автоматично нумеруються). Для збереження виконаної роботи використовують команду *Файл ► Зберегти Робочий Набір*. Для чого у відповідному вікні вказують файл робочого набору і каталог, де він буде збережений. Після реєстрації карти у верхній частині вікна "Реєстрація зображення" повинні бути вказані координати чотирьох контрольних точок.

**2. Векторизація.** Комп'ютерна карта складається з шарів, які можна уявити собі як прозорі плівки, що лежать одна на одній. Кожний шар містить різні види інформації: області, точки, лінії, тексти, а всі вони разом складають карту. Для управління шарами використовують діалог "Управління шарами", що запускається з панелі "Операції", яка позначена цифрою 4 на рис. 1 і використовується для вибору інструментів, виклику діалогів і т.д. Будь-яке вікно карти містить косметичний шар – пустий шар, який лежить поверх всіх інших шарів. Для оцифровування точкових об'єктів їх наносять на косметичний шар карти, тобто виконують наступні дії.

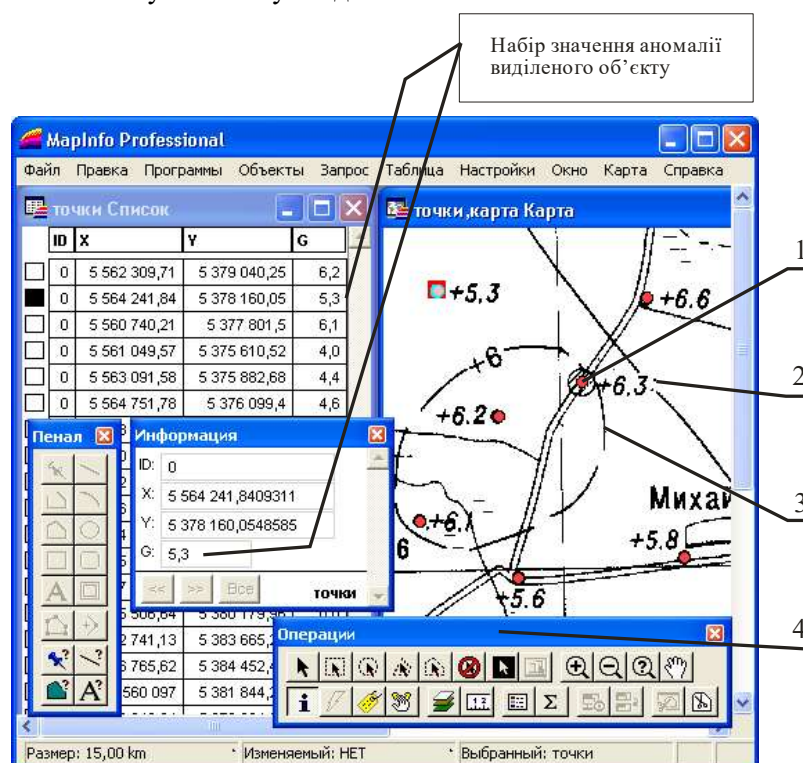


Рисунок 1 – Внесення поправок і трасування первісного топоплану в програмі MapInfo Professional  
 Figure 1 - Amendments and tracing of the original topoplane in the program MapInfo Professional

Відкривають робочий набір і вмикають режим *Вузли*. Виконують команду *Карта ► Управління шарами*, вибирають косметичний шар із списку і встановлюють галочку *Змінний*. Виконують команду *Настроювання ► Стиль Символів*. З'являється діалог, в якому змінюють символ, шрифт, колір, розмір. Цей стиль оформлення застосовують до всіх точкових об'єктів, які наносять на косметичний шар. Вибирають інструмент малювання *Символ*, наводять курсор на те місце карти, де потрібно помістити точковий об'єкт, і натискають ліву кнопку миші. При цьому нанесений об'єкт з'являється на фоні растрового зображення. Після нанесення всіх точок зберігають створені векторні об'єкти в існуючій або новій таблиці, тобто виконують команду *Карта ► Зберегти косметику*.



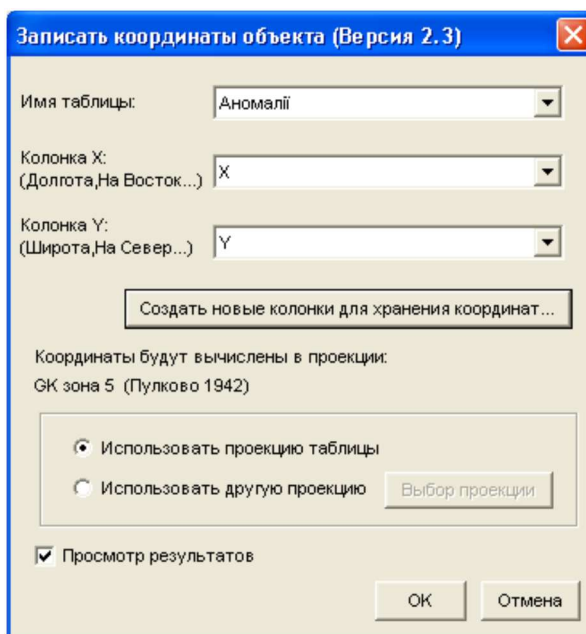


Рисунок 2 – Запис поточних координат оцифрованого об'єкта у файл оцифрування  
Figure 2 - Recording of the digitized object current coordinates to the digitization file

Далі використовують програму "Записати координати об'єкта" (рис. 2), яка є програмою MapBasic і постачається з MapInfo Professional; автоматично заповнюють дві колонки таблиці значеннями координат  $X$  і  $Y$  в заданій проекції та перебудовують структуру таблиці.

**3. Введення цифрових значень, які відповідають пунктам спостереження.** Кожній точці необхідно привласнити відповідні числові значення. Нижче коротко описані два можливі способи, як це можна здійснити.

Реалізацію першого способу здійснюють у такій послідовності:

1) Відкривають таблицю у вигляді карти і натискають кнопку *Інформація* на панелі 4. Курсор при попаданні у вікно *Карти* набуде форми хрестика.

2) Вказують на пункт і натискають ліву кнопку миші. Якщо вибрано єдиний об'єкт, то з'явиться вікно "Інформація" (див. рис. 1).

3) Переводять курсор в поле  $G$  і набирають відповідне значення аномалії. Для збереження змін виконують команду *Файл ► Зберегти таблицю*.

Розглянемо другий спосіб, в якому виконують наступні дії:

1) Відкривають таблицю у вигляді карти і списку та розташовують вікна так, як це зображено на рис. 1.

2) Виділяють в правому вікні об'єкт, а в лівому набирають значення аномалії.

3) Повторюють попередній пункт для решти точок і зберігають таблицю.

Суттєво, що в цьому випадку введення значень точковий об'єкт виділяється одночасно як зліва, так і праворуч, завдяки чому не буде пропущена жодна точка.

**4. Експорт у формат ASCII.** MapInfo дозволяє експортувати табличні дані в ASCII-файли з роздільниками. При записі файлу у форматі ASCII геоінформаційна система показує діалогове вікно "ASCII-текст", в якому вибирають символ-роздільник. Отриманий файл переглядають в текстовому редакторі і завантажують в програмні комплекси, призначені для інтерпретації геофізичних полів.

### Висновок

Таким чином запропонований спосіб дозволяє: значно збільшити точність і ефективність оцифрування геофізичних карт; забезпечує максимально можливу автоматизацію, достовірність, простоту і зручність введення картографічної інформації в комп'ютер за допомогою сучасних, зрозумілих у використанні інструментів; істотно полегшує та прискорює розв'язання різних задач, які виникають в науках про Землю.

В результаті розв'язку формується текстовий файл з характеристиками вхідних і вихідних даних, які ілюструє таблиця на наступному слайді, і, власне, самими коефіцієнтами аналітичної апроксимації у форматі, придатному для подальших операцій в будь-якому пакеті наукової графіки. Порівняння початкового поля та його аналітичної апроксимації вказує на дуже гарну відповідність: ми не стали наводити різницевого поля, оскільки воно менше за систематичну похибку вимірювань.

Це дає змогу зробити висновок про абсолютну працездатність процедури аналітичної апроксимації поля, принаймні, в локальному варіанті та для умов горизонтально-шаруватих середовищ

### Перелік посилань

1. Старостенко В. И., Мацелло В. В., Аксак И. Н., Кулеш В. А., Легостаева О. В., Егорова Т. П. Автоматизация ввода в компьютер изображений геофизических карт и построение их цифровых моделей // Геофиз. журн. — 1997. — **19**, № 1. — С. 3—13.
2. Третьак А. М., Другак В. М., Романський М. М., Музика А. О. Землевпорядне проектування землеволодіння та землекористувань засобами програм MapInfo та Surfer. — Київ: ТОВ ЦЗРУ, 2003. — 94 с.
3. Гравиразведка: Справочник геофизика / Под ред. Е. А. Мудрецовою, К. Е. Веселова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1990. — 607 с.
4. Якимчик А. И. Технология оцифровки карт фактического материала на основе программного обеспечения MapInfo Professional и CorelDRAW // Геофиз. журн. — 2010. — **32**, № 3. — С. 112—124.
5. Патент на корисну модель № 46461, МПК G01V 7/00, G01V 3/00. Україна, ІФ НАНУ. Спосіб оцифрування сканованих карт фактичного матеріалу засобами геоінформаційної системи "MapInfo" / А. І. Якимчик. Опубл. 25.12.2009, Бюл. № 24.
6. Якимчик А. И. Автоматизированный ввод картографической информации средствами ГИС "MapInfo" // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 37-й сессии Международного семинара им. Д. Г. Успенского, Москва, 25 – 29 января 2010 г. — М.: ИФЗ РАН, 2010. — С. 410—413.
7. Трубопровідний транспорт газу/Ковалко М.П., Грудз В.Я., Михалків В.Б. та ін. За ред. М.П. Ковалка. — К.: Агентство з раціонального використання енергії та екології, 2002. -600 с.
8. Діак І.В., Осінчук З.П. Газова промисловість України на зламі століть /Л.М, Карп (відп. ред.). — Івано-Франківськ: Лілея НВ, 2000. — 231 с.

### METHODOLOGY OF DIGITALIZATION OF ENGINEERING AND CARTOGRAPHIC INFORMATION AT THE RECONSTRUCTION OF TRANSPORT COMMUNICATIONS

**Kuzminets Nikolai P.**, Doctor of Engineering Sciences, associate professor, National Transport University, chairman at Dept. of computer, engineering drawing and design, e-mail: [kuzminecmp@ukr.net](mailto:kuzminecmp@ukr.net), phone +380442849713, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk street 42, office 705. <http://orcid.org/0000-0002-9636-919X>

**Dubovenko Yurii I.**, Doctor of Philosophy in Physics and Maths, associate professor, National Transport University, senior teacher at Dept. of computer, engineering drawing and design, e-mail: [nemishayeve@ukr.net](mailto:nemishayeve@ukr.net), phone +380665979384, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk street 42, office 709. <http://orcid.org/0000-0002-8128-5989>

**Abstract.** The paper describes the process of entering into the computer of the technical raster information from paper engineering and geological maps, which accompanies the reconstruction of transport communications. It is proposed to formalize the process of the automatic input and the digitization of the technical information using the proprietary software MapInfo Professional, which is a general-purpose mapping geographic information system (GIS). It is shown that the technology of working at a raster substrate allows us to combine both raster and vector layers of initial engineering map. This operation significantly increases the accuracy and speed of digitization of the input data. It has been found that such a method of the digitization does not require the involvement of the external special devices in order to transfer the needed information from the paper base to digital form one. It is proposed to use the point-based objects on maps (as the stations, the measurement points, the observations and the values of technical monitoring indicators, etc.) for digitization procedure, rather than the isolines themselves. A significant advantage of the proposed procedure there is the use of the right rectangular coordinate system and the solid coordinate point binding before the vectorization of mapping objects.

**Keywords:** digitization, cartography, geodetic basis, computerization.

### References

1. Starostenko V. I., Matsello V. V., Aksak I. N., Kulesh V. A., Legostayeva O. V., Yegorova T. P. Avtomatizatsiya vvoda v komp'yuter izobrazheniy geofizicheskikh kart i postroyeniye ikh tsifrovyykh modeley // Geofiz. zhurn. — 1997. — 19, № 1. — S. 3—13.
2. Tretyak A. M., Drugak V. M., Romans'kiy M. M., Muzika A. O. Zemlevporyadne proye-ktuvannya zemlevolodín' ta zemlekoristuvan' zasobami program MapInfo ta Surfer. — Kíiv: TOV TSZRU, 2003. — 94 s.
3. Gravirazvedka: Spravochnik geofizika / Pod red. Ye. A. Mudretsovoy, K. Ye. Veselova. — 2-ye izd., pererab. i dop. — M.: Nedra, 1990. — 607 s.
4. Yakimchik A. I. Tekhnologiya otsifrovki kart fakticheskogo materiala na osnove programmnoho obespecheniya MapInfo Professional i CorelDRAW // Geofiz. zhurn. — 2010. — 32, № 3. — S. 112—124.
5. Patent na korisnu model' № 46461, MPK G01V 7/00, G01V 3/00. Ukraína, ÍGF NANU. Sposíb otsifrovuvannya skanovanikh kart faktichnogo materialu zasobami geoínformatsíy-noí sistemi "MapInfo" / A. Í. Yakimchik. Opubl. 25.12.2009, Byul. № 24.
6. Yakimchik A. I. Avtomatizirovanny vvod kartograficheskoy informatsii sredst-vami GIS "MapInfo" // Voprosy teorii i praktiki geologicheskoy interpretatsii gravita-tсионnykh, magnitnykh i elektricheskikh poley: Materialy 37-y sessii Mezhdunarodnogo seminará im. D. G. Uspenskogo, Moskva, 25 – 29 yanvarya 2010 g. — M.: IFZ RAN, 2010. — S. 410—413.
7. Truboprovídníy transport gazu/Kovalko M.P., Grudz V.YA., Mikhalkív V.B. ta ín. Za red. M.P. Kovalka. – K.: Agentstvo z ratsíonal'nogo vikoristannya yenergíi ta yekologíi, 2002. -600 s.
8. Díyak Í.V., Osínchuk Z.P. Gazova promislóvíst' Ukraíni na zlamí stolít' /Í.M, Karp (vídp. red.). – Ívano-Frankívs'k: Líleya NV, 2000. – 231 s.