

УДК 679.8:622.02:504 (043.3)

**ЧИННИКИ ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ РУЙНУВАННЯ ПОРОДОУТВОРЮЮЧИХ МІНЕРАЛІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД ПІД ДІЄЮ ТЕХНОГЕННИХ ЧИННИКІВ ДОВКІЛЛЯ****Т. Ф. Козловська**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, Україна. E-mail: tfk58@kdu.edu.ua**О. В. Камських, С. П. Давидчук**

Житомирський державний технологічний університет

вул. Черняхівського, 103, 10005, м. Житомир, Україна. E-mail: kamskihaleksandr@rambler.ru

Досліджено механізм руйнування лабрадориту під час дії хімічних чинників техногенного середовища. Показано, що на руйнування мінералу впливає взаємодія чинників кислотного та лужного середовища не тільки на іонному й молекулярному, але й на мінеральному рівні. Фізико-хімічні та фізико-механічні процеси свідчать про одночасне заповнення макро- та мікротріщин вологою та продуктами руйнування в кислому середовищі. В лужному середовищі спостерігається вилушування продуктів руйнування з поверхні лабрадориту та макротріщин, що вивільняє доступ агресивному компоненту до глибинних прошарків мінералу з проникненням у мікротріщини. Запропоновано підхід щодо визначення рівня екологічного ризику руйнування мінералів під дією агресивних компонентів техногенного середовища в часі.

**Ключові слова:** лабрадорит, корозія, фізико-хімічні процеси, фізико-механічні властивості, екологічний ризик.

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК РАЗРУШЕНИЯ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ ГОРНЫХ ПОРОД ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ****Т. Ф. Козловская**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, Украина. E-mail: tfk58@kdu.edu.ua**А. В. Камских, С. П. Давидчук**

Житомирский государственный технологический университет

ул. Черняховского, 103, 10005, г. Житомир, Украина. E-mail: kamskihaleksandr@rambler.ru

Исследован механизм разрушения лабрадорита под действием химических факторов техногенной среды. Показано, что на разрушение минерала влияет взаимодействие факторов кислотной и щелочной среды не только на ионном и молекулярном, но и на минеральном уровне. Физико-химические и физико-механические процессы свидетельствуют об одновременном заполнении макро- и микротрещин влагой и продуктами разрушения в кислой среде. В щелочной среде наблюдается вылушивание продуктов разрушения с поверхности лабрадорита и макротрещин, что освобождает доступ агрессивному компоненту к глубинным слоям минерала с проникновением в микротрещины. Предложены пути определения уровней экологического риска разрушения минералов под действием агрессивных компонентов техногенной среды во времени.

**Ключевые слова:** лабрадорит, разрушение, физико-химические процессы, физико-механические свойства, экологический риск.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** На території України сконцентровані значні запаси природного, які становлять понад 500 млн. м<sup>3</sup>. На даний час в Україні розвідано та вивчено близько 300 родовищ і проявів природного каменю, з яких приблизно 164 експлуатуються постійно чи тимчасово та на яких переважно видобувають блоки з високоміцних гірських порід, таких як граніти, лабрадорити, габро та інші [1–5].

Одними із цінних високоміцних порід каменю є габро, лабрадорит та їх перехідні різновиди [6]. На них впливають температурні фактори, рух води й повітря, чинники механічного й хімічного впливу.

З урахуванням того, що атмосферне повітря та атмосферні води з кожним роком стають усе агресивнішими за рахунок надходження до них оксидів сірки, азоту, вуглецю та інших інгредієнтів, то й природний камінь піддається руйнуванню, в окремих випадках значній. У зв'язку з цим і виробі з високоміцних габроїдних порід в агресивному середовищі належать до найбільш уразливих. Значною мірою потерпають від руйнування споруди, на

кам'яне облицювання яких чи на власне виробі потрапляє багато атмосферної води та солей, які використовуються в зимовий період дорожньо-комунальними службами. В останньому випадку мова йде про солестійкість порід. На камені утворюється руйнівна кірка товщиною 2–6 мм, що легко руйнується.

У зв'язку з вищевикладеним метою роботи є встановлення механізмів руйнування породоутворюючих мінералів гірських порід під дією техногенних чинників довкілля та визначення рівнів екологічного ризику перебігу зазначених процесів.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Вихідними показниками при розрахунку довговічності є мінералогічний склад природного каменю, наявність у камені мікротріщин і пор, характер зчеплення зерен у породі.

Лабрадорити належать до другого класу, тобто є довговічними. До їх складу входять плагіоклази, піроксени, рудні мінерали, іноді олівін, біотит, лужний польовий шпат і апатит, вторинні мінерали. Плагіоклази складають 90–95 % гірської маси анортозитів

(представлені лабрадорами й андезитами) та утворюють пластинчаті, ізометричні й неправильні, але більш ідіоморфні зерна, ніж темноколірні мінерали.

На основі всього вищевикладеного можна зробити висновки щодо основних руйнуючих факторів навколишнього природного середовища:

- низькотемпературне, хімічне, сольове й механічне вивітрювання;
- поперемінне зволоження та висушування;
- зміна дії температури за абсолютної вологості;
- зсування земної поверхні та осідання будівель, які призводять до збільшення тріщинуватості за рахунок збільшення існуючих у виробі тріщин.

Однак, слід зазначити, що не менш важливим чинником за сучасного стану атмосфери є солестійкість, оскільки кристалізація солей у порах і відкритих тріщинах каменю призводить до передчасного його руйнування.

Багато дослідників [1, 2, 5, 6] приділяють значну увагу хімічному вивітрюванню гірських порід в облицюванні споруд і відносять цей тип руйнування до одного з головних. При цьому дослідження проводились як методом порівняльних петрографічних описів, так і із застосуванням хімічного аналізу. З'ясувалось, що для всіх типів порід групи базальтоїдів характерним є винос  $\text{SiO}_2$  і привнесення іонів  $\text{H}^+$ , що свідчить про наявність процесу вилугування порід водою. Для більшості базальтоїдів характерним є й винос  $\text{Al}^{3+}$ .

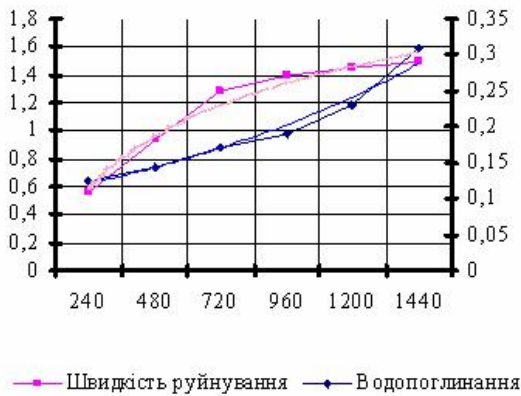
Вивчення хімічного вивітрювання можна здійснювати також шляхом вилугування досліджуваних порід у воді з поетапним визначенням рН водних витяжок і визначенням складу вилужених база-

лтів. На основі таких досліджень можна встановити залежності між ступенем вилугування та довговічністю каменю.

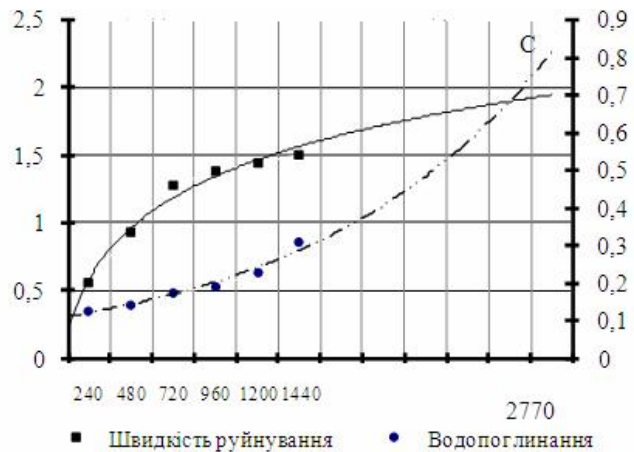
Таким чином, руйнування базальтоїдних кам'яних виробів у зовнішньому облицюванні споруд залежить від умісту в оточуючому середовищі техногенних агресивних речовин, від хімічних і петрографічних властивостей каменю, від часу експлуатації кам'яного виробу, від ступеня полірування, а також від погодно-кліматичних умов.

Залежно від джерел просочування зверху атмосферних опадів відбувається псування покрівельних пристроїв; проникання дощової води має місце на підвітряних сторонах; бризки, що відскакують від тротуару чи виступів, всмоктуються цоколем і облицюванням. Можливе переміщення вологи з кладки, що не висохла, в облицювання у випадку ранньої установки останньої. Грунтова волога піднімається знизу за відсутності чи псуванні ізоляції.

Переміщення повітряних парів відбувається тим інтенсивніше, чим більший температурний перепад і більший відсоток вологості теплого повітря. Різниця між температурою повітря й температурою конструкцій зумовлена температурним гістерезисом. Це явище спостерігається в масивних частинах споруд, побудованих з матеріалів великої теплоємності. Проникнення води, що конденсується на поверхні каменю при відлигах, відбувається періодично, збільшуючи глибину проникнення. Періодичне замерзання води сприяє більш глибокому проникненню вологи в середину каменю, тому що, замерзаючи, вода щоразу збільшує тріщинки (рис. 1,а,б).



а)



б)

Рисунок 1 – Залежність водопоглинання від швидкості руйнування під дією шкідливих чинників навколишнього середовища в часі:

а) на момент проведення експерименту; б) моделювання на перспективу (водонасичення при  $t = 2880$  год)

Результати експерименту (рис. 1,а) показують, що приблизно через 120 годин після початку дослідження швидкість руйнування починає випереджати швидкість водопоглинання, причому залежності, які описують процеси відрізняються математично у часі:

– швидкість руйнування  $y = 0,5485 \ln(x) + 0,5837$ ,  $r = 0,9753$ ;

– швидкість водопоглинання  $y = 0,1014e^{0,1736x}$ ,  $r = 0,9756$ .

На нашу думку, такий характер процесу пов'язаний із мікро- та макротріщинуватістю мінерального каменю.

Ми вважаємо, що на початковій стадії водопоглинання відбувається одночасно заповнення мікротрі-

щин продуктами руйнування, а макротріщин – вологою з атмосферного повітря. Потім, у силу прискорення швидкості руйнування починається процес фізико-хімічного та механо-хімічного руйнування кристалічної решітки мінералу, що, в свою чергу, пов'язано зі змінами крайових умов – умов однозначності – існування кристалу в стані хіміко-термодинамічної та механо-хімічної рівноваги. При цьому геометричні умови характеризують властивості кристалічної решітки, довжину хімічних зв'язків між атомами, молекулами, іонами, що входять до складу мінералу; фізичні умови впливають на фізико-хімічні, фізико-механічні та механо-хімічні властивості кристалу, а граничні умови відповідають за умови перебігу руйнівних процесів на границі розділу фаз (твердої та рідкої), взаємодії з навколишнім середовищем (температура, агресивні хімічні компоненти, густина вітрового, теплового потоку тощо). Часові умови характеризують початковий та кінцевий стан системи при нестационарних процесах.

Оскільки з часом утворюється все більше продуктів руйнування, які заповнюють мікро- та макротріщини, то процес водопоглинання уповільнюється. Через певний проміжок часу швидкість хімічного руйнування знижується, тому водопоглинання досягає максимуму одночасно зі встановленням рівноваги, коли швидкість утворення продуктів руйнування дорівнює швидкості водопоглинання, тобто досягається повне водонасичення.

Це дало змогу змоделювати процес водопоглинання до точки водонасичення з часом (рис. 1,б) за допомогою програми Microsoft Excel. Було визначено, що для зразків, що досліджувались, водонасичення настає через 2770 годин ( $\approx 115$  діб, або 3,84 місяці) (рис. 1,б – точка „С”). Звідси можна стверджувати, що задля досягнення бажаних результатів експериментальних досліджень необхідно орієнтовно чотири місяці.

На основі проведених досліджень можна стверджувати, що у силу складної хімічної і кристалічної структури лабрадориту важливо знати, який компонент кородує швидше, а відповідно, швидше втрачає свої складові, які є основою міцності матеріалу. Якщо позначити кожну складову лабрадориту як  $a, b, c, d, \dots, n$ , то втрата ваги кожної складової при корозії буде дорівнювати:

$$\frac{a \Delta m}{100} ; \frac{(100 - a) \cdot \Delta m}{100} ; \frac{(100 - a - b) \cdot \Delta m}{100} ; \dots ; \frac{(100 - a - b - \dots - n) \cdot \Delta m}{100} \quad (1)$$

Якщо поділити ці величини на молекулярні маси хімічних складових лабрадориту, то можна отримати масову втрату лабрадориту в процесі руйнування під дією будь-якого агресивного компонента навколишнього середовища:

$$\frac{a \Delta m}{100 M_1} + \frac{(100 - a) \Delta m}{100 M_2} + \frac{(100 - a - b) \Delta m}{100 M_3} + \dots \quad (2)$$

$$\dots + \frac{(100 - a - b - \dots - n) \Delta m}{100 M_n}$$

де  $M_1, M_2, \dots, M_n$  – молекулярні ваги хімічних складових лабрадориту;  $\Delta m$  – зміна маси зразка під дією корозії.

Із застосуванням сталої Авогадро ( $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>) отримуємо число молекул або атомів, які піддаються шкідливому впливу хімічних агресивних компонентів навколишнього середовища за час  $t$ , що призводить у подальшому до руйнування.

Аналіз результатів проведених експериментів дозволяє зробити низку висновків:

1) швидкість руйнування лабрадориту значно вище в кислотному середовищі (приблизно в 21,4 рази) (рис. 2,а);

2) збільшення швидкості руйнування як в лужному, так і в кислому середовищах непрямо свідчить про те, що руйнування лабрадориту пов'язано з хімічною реакцією, яка перебігає з хімічними елементами, що знаходяться в складі породи;

3) інтенсивність руйнування в лужному середовищі менша, ніж у кислотному (в середньому на 12 %) (рис. 2,б).

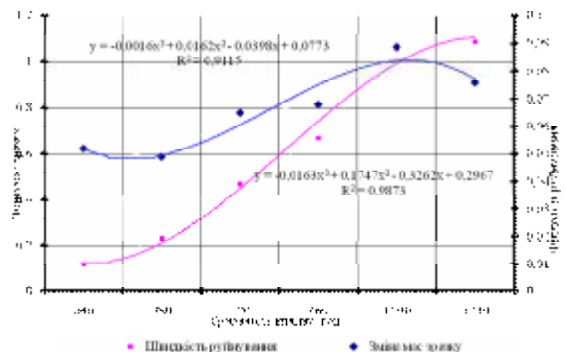
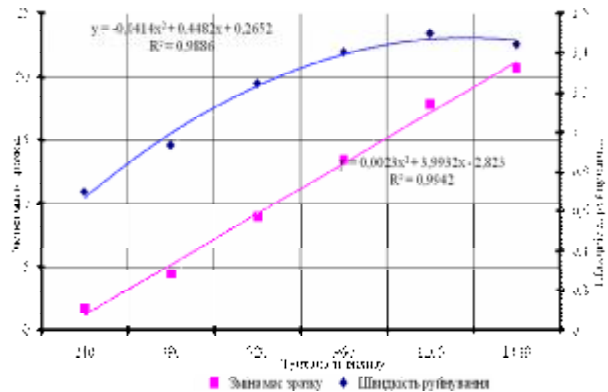


Рисунок 2 – Характер руйнування залежно від реакції середовища техногенного впливу

Далі можна визначити глибину руйнування з урахуванням коефіцієнту рельєфності ( $f$ ) і ступеня тріщинуватості мінералу ( $\theta$ ):

$$V_r = \frac{m_\theta - m_n}{r_{labr}} \cdot f \cdot q \cdot \quad (3)$$

Але руйнування виробів із лабрадориту не є рівномірним, тому товщина зруйнованого шару не дає уяви про довговічність мінералу.

Межі інтервалу руйнування можуть бути визначені через середнє значення швидкості руйнування  $v_0$  та її відхиленням  $\delta v$ . Таким чином, параметр  $v_0$  слід розглядати не як точкову величину, а як величину, що розподіляється в деякому інтервалі:

$$v_0 \in [n^-, n^+] = [v_0 - \delta v; v_0 + \delta v]$$

Слід зазначити, що під дією агресивних техногенних чинників навколишнього природного середовища змінюється і величина напружень у лабрадориті, які є функцією перерозподілу тріщин у мінералі під дією кінцевих продуктів хімічної взаємодії:

$$n_0 = f(S)$$

Слабкі місця в мінералі можна визначити за величиною швидкості корозії та змінами мас зразків у часі, або змінами величини площі руйнування в часі:

$$n_t = \frac{m_1 - m_0}{k} = \frac{(m_1 - m_0) \cdot F \cdot t}{(m_1 - m_0)} = F \cdot t \cdot \quad (4)$$

Утворення на поверхні мінералу та в мікро- та макротріщинах продуктів руйнування (хімічних сполук) сприяє зміні міцності мінералу:

$$\sigma - \sigma_0 = \rho \cdot C \cdot V, \quad (5)$$

де  $\sigma - \sigma_0$  – зміна міцності мінералу під дією продуктів руйнування;  $C$  – деформація тріщини в одиницю часу;  $V$  – глибина руйнування (утворення хімічних сполук у макро- і мікротріщинах);  $\rho$  – стискаємість породи.

Зі зростанням швидкості руйнування спостерігається зменшення модуля пружності та міцності. Зі збільшенням кількості хімічних сполук у мікро- та макротріщинах зростає швидкість їх розкриття:

$$v = v_0 + \eta \cdot (k_{до} + k_{нісля}),$$

де  $v_0$  – мінімальна швидкість розвитку тріщини в природних умовах;  $\eta$  – коефіцієнт міцності породи;  $k_{до}$  – швидкість розвитку руйнування;  $k_{нісля}$  – швидкість розвитку тріщини під дією продуктів хімічної взаємодії в кислому або лужному середовищі.

На основі всього вищевказаного можна вести мову про визначення величина екологічного ризику – імовірності руйнування мінералу під дією чинників навколишнього середовища. Його значення залежить від поведінки кристалічної решітки в мимовільний момент часу під дією навколишнього природного середовища та може бути описана за допомогою системи диференціальних рівнянь наступного вигляду:

$$Risk = \frac{dA}{dt} = \tilde{k}_0 [1 + h \cdot S(A)] \cdot \quad (6)$$

$\tilde{k}_0 = [k_1, k_2, \dots, k_{11}]$  – сукупність швидкостей руйнування в різних напрямках кристалу;  $A$  – матриця геометричних характеристик кристалічної решітки  $m \times n$ ;  $m$  – кількість активних центрів у системі;  $n$  – кількість параметрів, що визначають розміри кристалічної решітки.

Тоді можна запропонувати модель руйнівного зносу у вигляді:

$$\frac{dV_t}{dt} = v_0 (1 + kS), \quad (7)$$

де  $V_t$  – глибина руйнування в часі;  $v_0$  – швидкість руйнування за відсутності напружень;  $\sigma$  – напруження;  $k$  – коефіцієнт впливу напружень;  $t$  – час впливу шкідливих агресивних чинників навколишнього природного середовища хімічної природи.

**ВИСНОВКИ.** При дослідженні руйнівної стійкості лабрадориту найбільш важливими показниками є швидкість руйнування, тобто показник, який показує, наскільки на одиниці площі зразка та в одиниці об'єму зміниться його властивість за час дії шкідливого чинника. Зі збільшенням тривалості впливу кислого середовища на лабрадорит збільшується швидкість руйнування, що становило 200 % від початкового значення. Швидкість руйнування лабрадориту значно вища в кислому середовищі (приблизно в 21,4 рази), а інтенсивність руйнування в лужному середовищі менша, ніж у кислотному (в середньому на 12 %).

Швидкість руйнування лабрадориту впродовж дослідження як у лужному, так і в кислому середовищі збільшувалась, що непрямо свідчить про те, що руйнування лабрадориту пов'язано з хімічною реакцією, яка перебігає з хімічними елементами, що входять в складі породи.

Встановлений достовірний кореляційний зв'язок між змінами мас зразків і швидкістю руйнування в кислому та лужному середовищі, але з фізико-хімічної та фізико-механічної точки зору перебіг процесів суттєво відрізняється: в кислому середовищі відбувається одночасне заповнення макро- та мікротріщин вологою та продуктами руйнування, в той час як у лужному середовищі спостерігається вилушування продуктів руйнування з поверхні лабрадориту та макротріщин, що вивільняє доступ агресивному компоненту до глибинних прошарків мінералу з проникненням у мікротріщини.

Запропоновано шляхи визначення втрат мас лабрадориту під дією агресивних компонентів техногенного середовища в часі та підхід до встановлення глибини ураження мінералу в часі з урахуванням рельєфності поверхні мінералу.

Вивчення закономірностей хімічного вивітрювання дає змогу вибирати камінь для зовнішнього облицювання в умовах певних кліматичних зон, забезпечувати певний рівень відповідного виду полі-

рування каменю, узгоджувати терміни експлуатації споруд і руйнування лабрадориту.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Бакка Н.Т. Основные направления развития камнедобычи и камнеобработки Украины // Горный журнал. – 2004. – № 1. – С. 35–37.
2. Мінеральні ресурси кольорового каменю України / Д.С. Гурський, А.А. Дзідзінський // Бюлетень першої міжнародної конференції “Коштовне та декоративне каміння”. – 1999. – С. 50–51.
3. Державний баланс запасів: в 3 т. – К.: “Укр-геоінформ”, 1997. – Т. 3: Запаси будівельних матеріалів. – 890 с.
4. Гелета О. Л. Статистичні дані експорту та ім-

порту декоративного каміння в Україні у 2003 році // Коштовне та декоративне каміння. – 2004. – № 2 (36). – С. 17–19.

5. Распутна Т.А. Аналіз мінерально-сировинних ресурсів Житомирщини і обсягів їх видобування та переробки // Вісник ЖІТІ. – 2002. – № 4. – С. 300–302.

6. Структурні особливості масивів габроїдних порід Коростенського Плутону / М.Т. Бакка, А.О. Криворучко // Геоінформатика, геодезія, маркшейдерія: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. – Донецьк: ДонНТУ, 2003. – С. 122–123.

### ECOLOGICAL RISK OF DESTRUCTION OF FORMATION OF BREEDS MINERALS BY MOUNTAIN BREEDS UNDER THE ACTION OF TECHNOGENIC FACTORS OF ENVIRONMENT

**T. Kozlovs'ka**

Kremenchuk Mikhalo Ostrogradskiy National University  
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, Ukraine. E-mail: tfk58@kdu.edu.ua

**O. Kamskih, S. Davidchuk**

Zitimir State Technological University  
vul. Chernjahovs'kogo, 103, 10005, Zitimir, Ukraine. E-mail: kamskihaleksandr@rambler.ru

The mechanism of destruction of labradorit is investigational at the action of chemical factors of technogenic environment. It is rotined that destruction of other minerals influences on the process of destruction of one mineral, I.e. cooperation shows up not only on ion and molecular but also at mineral level. Physical and chemical and physic-mechanical processes testify to the simultaneous filling of macro- and microrack by moisture and products of destruction in a sour environment, while in an alkaline environment there is to delete layers of products of destruction from the surface of labradorit and macrorack, that frees access to the aggressive component to the deep layers of mineral with penetration in microrack. The ways of determination of ecological risk of destruction of minerals are offered under the action of aggressive components of technogenic environment in time.

**Key words:** labradorit, destruction, physical and chemical processes, physic-mechanical properties ecological risk.

#### REFERENCES

1. Bakka N.T. The main development trends of stone production in Ukraine // *Mining Journal*. – 2004. – № 1. – PP. 35–37.
2. Genstones mineral resources in Ukraine / D.S. Gurskyi, A.A. Dzidzinskyi // *Bulletin of The 1 International conference “Jewell and decorative stones”*. – 1999. – PP. 50–51.
3. *State resources balance: in 3 vol.* – К.: “Ukr-geoinform”, 1997. – Vol. 3: Construction materials stocks. – 890 p.
4. Geleta O.L. Statistics of decorative stones export and import in Ukraine in 2003 // *Jewell and decorative stones*. – 2004. – № 2 (36). – PP. 17–19.

5. Rasputna T.A. Analysis of mineral resources and their production volume in Zhytomyr region // *Visnyk ZhITI*. – 2002. – № 4. – PP. 300–302.

6. Structural features of gabbroid rocks of Korosten Pluton / M.T. Bakka, A.O. Kryvoruchko // *Geoinformatics, geodesy, mining survey: theses of International scientific conference*. – Donetsk: DonNTU, 2003. – PP. 122–123.

Стаття надійшла 27.12.2011.

Рекомендовано до друку  
д.т.н., проф. Чебенком В.М.