

УДК 549.731.22:552.323.6 (47)

**КРИСТАЛОМОРФОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ХРОМШПІНЕЛІДІВ
ІЗ КІМБЕРЛІТІВ СХІДНОЄВРОПЕЙСЬКОЇ ПЛАТФОРМИ**

З. Бартошинський¹, С. Бекеша², І. Чумак¹

¹Львівський національний університет імені Івана Франка
79005 м. Львів, вул. Грушевського, 4
E-mail: mineral@franko.lviv.ua

²Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України
79060 м. Львів, вул. Наукова, 3а
E-mail: igggk@ah.ipm.lviv.ua

Досліджено кристаломорфологію хромшпінелідів із кімберлітів Архангельської алмазонасної провінції та Приазов'я. Виявлено поширення комплікаційних і другорядних граней на кристалах та їхню приуроченість як до структурно важливих форм, так і до структурно важливих зон. Простежено чітку закономірність у зміні внутрішньої досконалості (дефектності) кристалів у випадку ускладнення огранування індивідів.

Ключові слова: хромшпінелід, кристал, проста форма, грань, ретикулярна щільність, лауеграма.

Хромшпінелід є одним із найважливіших мінералів-супутників алмазу, оскільки частина його кристалів кристалізується в полі термодинамічної стабільності алмазу. Хромшпінеліди трапляються практично в усіх відомих кімберлітових трубках світу, хоча їхня концентрація досить низька – від поодиноких знаків до сотих часток відсотка від маси кімберліту, лише в окремих випадках підвищується до 0,3–0,5 % [2, 3, 6–10].

Виділяють чотири генетичні групи хромшпінелідів у кімберлітах, які розрізняють за морфологією зерен, фізичними властивостями, хімічним складом і генезисом [8].

Перша група – це акцесорний хромшпінелід, мінерал ксенолітів глибинних порід, кристали якого мають різноманітну морфологію: октаедри (ізометричні й деформовані), багатогранники з великою кількістю віцинальних граней, а також овальні зерна без кристалографічного огранування.

Друга група хромшпінелідів представлена розсіяними в кімберлітовому цементі зернами, форма виділення яких подібна до кристалів першої групи, відмінність тільки у більшій кількості зерен неправильної форми. Дослідники схиляються до думки, що ці хромшпінеліди є продуктами дезинтеграції хромшпінельвмісних порід верхньої мантії.

Третя група хромшпінелідів об'єднує мікрозерна основної маси кімберлітів (розмір їх не перевищує перших десятих часток міліметра). Вважають, що вони

сформувалися на завершальному етапі кристалізації кімберлітового розплаву в умовах земної кори. Четверта група хромшпінелідів – це реакційні зерна, які заміщують інші мінерали глибинного походження (розмір зерен октаедричного габітусу і неправильної форми становить соті й тисячні частки міліметра).

Хромшпінеліди із кімберлітів вирізняються високим ступенем ідіоморфізму, що робить їх привабливими для морфологічних досліджень і отримання інформації про умови глибинного кристалогенезису та ідентифікації шліхових ореолів під час розшуків корінних джерел алмазів.

Мета наших досліджень – кристаломорфологічна оцінка хромшпінелідів другої генетичної групи із кімберлітових діатрем родовища ім. Ломоносова в Архангельській алмазонасній провінції та із трубки Південна в Приазов'ї. У кімберлітах півночі Східноєвропейської платформи хромшпінелід разом із піропом є панівними мінералами-супутниками алмазу [1], тоді як у кімберлітах трубки Південна він за вмістом посідає третє місце після пікроільменіту й піропу [11].

У досліджених родовищах переважна кількість хромшпінелідів представлена овальними сильно кородованими зернами розміром до 1,5 мм, частина яких має октаедричний обрис з елементами первинного огранювання. Серед них трапляються індивіди октаедричного габітусу, у яких ребра притуплені дрібними гранями (кількість їх часто досягає кількох десятків), складно огранені (міріоедричні) кристали і, як виняток, гострореберні октаедри. Ізометричних кристалів практично нема, а в усіх наявних чітка зовнішня симетрія типу $3m$ і $2/m$. Частина таких багатогранників також укрита тонкою корозією, яка найменше торкається граней (111). Окрема група – овальні зерна, на поверхні яких елементів огранювання нема.

Головну увагу ми приділили кристалографічному вивченню розвинутих граней на поверхні хромшпінелідів. Для цього на гоніометрі ГД-1 досліджено серію індивідів (20 кристалів із трубок Поморська, Ломоносівська і Карпінського-1 і 10 кристалів із трубки Південна), на яких обов'язково були грані октаедра, за якими юстували кристали; з віссю гоніометра збігся напрям $\langle 100 \rangle$. Якість сигналів від граней (яскравість і чіткість) оцінювали за п'ятибальною шкалою. Відбиття від граней октаедра були чіткими і яскравими, однак зазначимо, що окремі кристали виявляли мікроблокову будову граней (111), тому точність їхнього юстування становила 15–20'. Поодинокі індивіди, які давали на гоніометрі гарні рефлекси від (111), точно від'юстувати було неможливо, що свідчить про порушення паралельності окремих пар граней октаедра. Сигнали від інших граней були слабкої яскравості, розмиті, неправильної форми; часто промені рефлексів мали інтерференційне забарвлення. Результати вимірювань опрацьовували за [4].

Лауєграми знімали за допомогою рентгенівського апарата УРС-55 в камері РКВ-86А на Мо- K_{α} -випромінюванні, відстань кристал–фотоплівка дорівнювала 40 мм.

З'ясовано, що головною формою росту кристалів є октаедр. Спотворення габітусу (сплошення, видовження) – це результат зміни умов кристалоутворення.

Поширення простих форм на кожному кристалі індивідуальне, кожна з них переважно не виявляється більше, ніж двома–трьома гранями. Різні за розміром і конфігурацією грані, скомбіновані з {111}, відокремлені одна від одної як гострими, так і заокругленими ребрами; їхня поверхня, зазвичай, плоска і гладка, але нерідкісними є випадки ускладнення тонкими сходинками та мозаїкою. Кількість простих форм на кристалах досягає кількох десятків.

Виявлено, що кристалографічну позицію граней у жодному випадку не можна описати простим символом, окремі індекси якого менше 10; з урахуванням точності вимірювань різниця між зафіксованими і теоретичними значеннями їхніх сферичних координат дуже суттєва і часто сягає понад 2°. Безпосереднього зв'язку між ступенем поширення граней, з одного боку, та їхньої відносною ретикулярною щільністю (ВРЩ) сіток для *F*-гратки, розміром та якістю сигналу, з іншого, нема.

Результати гоніометричних досліджень свідчать, що 0,7 % простих форм тяжіє до куба, 1,8 – до ромбододекаедра, 8,1 – до тетрагексаєдрів, 11,9 – до тетрагон-триоктаєдрів, 16,8 – до тригон-триоктаєдрів і 60,7 % – до гексоктаєдрів (грані (111) не враховано) (табл. 1).

Таблиця 1

Ступінь поширення простих форм, виявлених на кристалах хромшпінеліду із кімберлітів Архангельської провінції та Приазов'я, %

Найближчий символ	Архангельська провінція	Приазов'я	Найближчий символ	Архангельська провінція	Приазов'я
Гексаєдр			Тетрагон-триоктаєдри		
100	1,2	–	334	0,6	–
Ромбододекаєдри			337	0,6	–
110	1,6	1,7	557	0,6	–
Тригон-триоктаєдри			559	0,6	–
443	2	0,9	779	0,6	–
221	1,8	0,9	112	–	1,7
774	1,8	–	335	–	0,9
991	1,8	–	445	–	0,9
331	1,2	1,7	889	–	1,7
552	1,2	0,9	Тетрагексаєдри		
554	1,2	3,3	130	1,2	0,4
665	1,2	–	670	1,2	0,9
772	1,2	–	780	1,2	0,9
881	1,2	–	120	0,6	0,9
998	1,2	1,7	160	0,6	–
441	0,6	–	290	0,6	–
553	0,6	–	450	0,6	–
771	0,6	–	490	0,6	–
776	0,6	–	590	0,6	0,9
332	–	3,3	790	0,6	–
883	–	0,9	230	–	0,9
Тетрагон-триоктаєдри			560	–	1,7
223	1,8	1,7	570	–	0,9
778	1,8	0,9	890	–	1,7
113	1,2	–	Гексоктаєдри		
118	1,2	–	156	2	1,7
227	1,2	–	278	2	–
449	1,2	–	123	1,8	1,7
556	1,2	0,9	124	1,8	0,9
667	1,2	–	158	1,8	–
119	0,6	–	256	1,8	–

Закінчення табл. 1

Найближчий символ	Архангельська провінція	Приазов'я	Найближчий символ	Архангельська провінція	Приазов'я
Гексоктаедри					
358	1,8	1,7	194	0,6	–
457	1,8	1,7	234	0,6	2,6
579	1,8	2,6	245	0,6	0,9
789	1,8	4,4	249	0,6	–
128	1,2	–	258	0,6	–
138	1,2	–	267	0,6	1,7
145	1,2	–	346	0,6	2,6
147	1,2	–	347	0,6	–
179	1,2	1,7	348	0,6	–
189	1,2	0,9	379	0,6	1,7
236	1,2	–	459	0,6	3,4
237	1,2	0,9	467	0,6	1,7
238	1,2	–	478	0,6	0,9
247	1,2	0,9	567	0,6	0,9
257	1,2	3,3	589	0,6	–
279	1,2	0,9	678	0,6	0,9
289	1,2	–	679	0,6	–
345	1,2	–	125	–	0,9
368	1,2	0,9	134	–	2,6
378	1,2	2,5	157	–	1,7
458	1,2	–	159	–	1,7
578	1,2	0,9	235	–	1,7
689	1,2	–	269	–	1,7
126	0,6	0,9	356	–	0,9
127	0,6	–	357	–	0,9
139	0,6	–	359	–	0,9
146	0,6	0,9	389	–	0,9
148	0,6	0,9	469	–	0,9
167	0,6	–	479	–	0,9
169	0,6	0,9	489	–	1,7

На підставі аналізу даних вимірювань видно, що 45,8 % виявлених форм згруповані біля структурно важливої зони [110]: {011}, {111}, {113}, {133}, {112}, {115}, {122}, {223}, {233}, {001}; 22,8 – біля [021]: {012}, {112}, {122}, {123}, {124}, {234}; 19,6 – біля [100]: {011}, {012}, {013}, {023}, {001}; 12,4 % – біля [111]: {112}, {123}, {134}.

У межах кожної з цих зон форми, що тяжіють до неї, утворюють своєрідні скупчення навколо структурно важливих за ВРЩ граней. Це такі форми (за зменшенням ВРЩ): {111}, {110}, {113}, {331}, {012}, {112}, {115}, {135}, {221}, {013}, {023}, {123}, {223}, {124}, {332}, {134}, {234}; навколо цих форм згруповано 78,2 % усіх граней (табл. 2, рис. 1).

Визначено, що переважна більшість тригон-триоктаєдрів {hkk} тяжіє до {331}, {221}, {332}, {111}, {110}, які є структурно важливими. Всі тетрагон-триоктаєдри {hkk} згруповані біля {111}, {113}, {112}, {115} і {223}, які також структурно важливі.

Таблиця 2

Розподіл граней на кристалах хромшпінелідів із кімберлітів навколо структурно важливих (за відносною ретикулярною щільністю) форм

Форма	Відносна ретикулярна щільність	Розподіл, %		
		Архангельська провінція	Приазов'я	середнє по Східноєвропейській платформі
111	1,16	9,6	7,9	8,9
100	1	1,8	–	1,1
110	0,71	11,6	9,5	11
113	0,6	2,4	–	1,4
331	0,46	5,4	3,5	5
12	0,45	1,8	1,8	1,8
112	0,41	2,4	1,7	2,1
115	0,38	1,8	–	1,1
135	0,34	1,8	4,3	2,5
221	0,33	3,6	1,8	2,9
13	0,31	1,8	–	1,1
23	0,28	4,7	4,5	4,6
123	0,26	3	5	3,9
223	0,24	6,6	5,2	6
124	0,22	2,4	2,7	2,5
332	0,21	5	7,5	6,3
134	0,19	6,4	6,4	6,4
234	0,18	7,2	13,1	9,6

Із загальної кількості тетрагексаєдрів $\{hk0\}$ близько половини є біля $\{110\}$, решта – навколо важливих $\{012\}$, $\{013\}$, $\{023\}$. Більше половини гексоктаєдрів $\{hkl\}$ сконцентровано біля $\{111\}$, $\{110\}$ і важливих $\{hkl\}$ – $\{135\}$, $\{123\}$, $\{124\}$, $\{134\}$ і $\{234\}$. Подібне простежується і на кристалах хромшпінеліду з кімберлітів Якутської алмазоносною провінції [5, 7, 10].

У табл. 3 наведено поширення виявлених граней на кристалах з погляду законів комплікації. Майже 2/3 форм на хромшпінелідах із кімберлітів Східноєвропейської платформи і майже 3/4 форм на кристалах із кімберлітів Якутії тяжіють до граней четвертого і вищих періодів. Дані розподілу граней другого і третього періодів у обох випадках близькі за значеннями.

Для обох провінцій досить чітко виражена загальна закономірність, яка полягає у різкому домінуванні граней четвертого і вищих періодів.

У межах окремих зон грані максимально згруповані навколо форм четвертого періоду, які є комплікаційними між можливими і щільнішими гранями нижчих періодів, а також навколо $\{111\}$ і $\{110\}$, %:

	Східноєвропейська платформа	Якутія
$\{234\}$ (122)–(112)	9,6	9,2

{245}	(122)–(123)	7,1	5,8
{235}	(112)–(123)	6,4	6,2
{134}	(011)–(123)	6,4	6,0
{233}	(111)–(122)	6,3	3,2
{223}	(111)–(112)	6,0	5,0
{331}	(011)–(122)	5,0	4,5
{023}	(011)–(012)	4,6	5,7
{136}	(012)–(124)	1,8	5,0

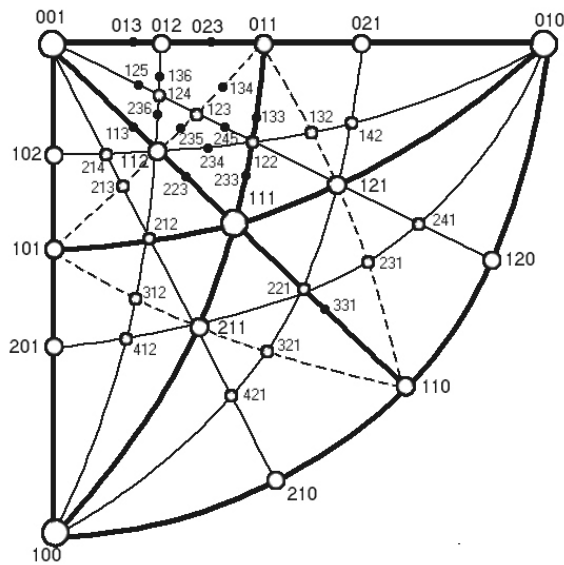


Рис. 1. Стереографічна проекція групи другорядних граней на кристалі хромшпінеліду.

На рис. 2 показані лауеграми, зняті з різних за морфологією кристалів хромшпінеліду: сплюснений по осі L_3 октаедр, ізометричний кристал октаедричного габітусу з дрібними гранями на місці $\{110\}$ і складно огранений (міріоедричний) кристал.

Простежується чітка закономірність у зміні внутрішньої досконалості (дефектності) кристалів у випадку ускладнення огранень індивідів. Якщо у хромшпінелідів з дрібними гранями на поверхнях $\{110\}$ явище астеризму (розщеплення дифракційних плям на лауеграмах) невиявляє (блоковість внутрішньої будови тільки назриває) (див. рис. 2,б), то у міріоедричних кристалах це явище дуже яскраве (див. рис. 2,в).

Таблиця 3

Поширення граней на кристалах хромшпінелідів із кімберлітів
з погляду закону комплікації, %

Розподіл граней за періодами	Архангельська алмазоносна провінція	Приазов'я	Середнє по Східноєвропейській платформі	Якутська алмазоносна провінція [5]
Основний період: (100), (111)	11,4	7,9	9,6	6,2
Перший період: (110)	11,6	9,5	10,5	8,9
Другий період: (112)	2,4	1,7	2,1	2,5
Третій період: (123), (221), (021), (142)	10,8	11,3	11,1	9,2
Четвертий період: (013), (023), (133), (233), (223), (113), (125), (136), (134), (245), (234), (236), (235), (247)	63,8	69,6	66,7	73,2

Аналіз лауеграм засвідчує, що розорієнтація окремих блоків у складно огранених індивідах не перевищує точності вимірювання кристалографічного положення простих форм на поверхні кристалів. Зазначимо, що явище астеризму, характерне для такого типу кристалів хромшпінеліду, є рідкісним для природних алмазів; воно трапляється тільки у кристалах п'ятого різновиду (за класифікаціями Ю.Л. Орлова та З.В. Бартошинського).

За кристаломорфологічними особливостями хромшпінеліди із кімберлітів Східноєвропейської платформи суттєво не відрізняються від хромшпінелідів із кімберлітів Якутії. Деякі розходження у ступені поширення другорядних форм на поверхні кристалів статистичні.

Велика кількість комплікаційних і другорядних граней, виявлених на кристалах хромшпінелідів, які згруповані навколо найважливіших форм, є свідченням вияву процесів розчинення та регенерації, що супроводжували ріст кристалів. Імовірно, багаті на грані хромшпінеліди формувалися за незначного пересичення, в умовах, коли розчинення і регенерація часто змінювали одне одного. Можливо, що ці процеси супроводжувалися пластичною деформацією індивідів, про що свідчить розщеплення дифракційних плям на їхніх лауеграмах. У подальшому більшість сформованих кристалів зазнала інтенсивної корозії, зумовленої, очевидно, дією газової фази.

Цікаво, що на поверхні кристалів хромшпінеліду досить широко розвинуті грані з низькою відносною ретикулярною щільністю сіток (всупереч правилу Браве), тоді як грані (100) та інші з високою ВРЩ розвинуті дуже обмежено. Подібне явище притаманне і кристалам природного алмазу: октаедри та індивіди перехідної до ромбододекаедра форми практично не мають граней куба і дрібних граней з ВРЩ сіток.

Пояснення цьому, найімовірніше, треба шукати, по-перше, в механізмах росту як хромшпінелідів, так і алмазів. Ті ж кубічні й тетрагексаедричні кристали алмазу мають волокнистий (фібрильний) механізм росту, який не притаманний октаедричним індивідам. По-друге, відхилення від правила можливі під впливом численних факторів, які визначають відносний розвиток граней кристала: особливості фізико-хімічного середовища, у якому ріс кристал, наявність у кристалізаційному середовищі елементів-домішок та ін.

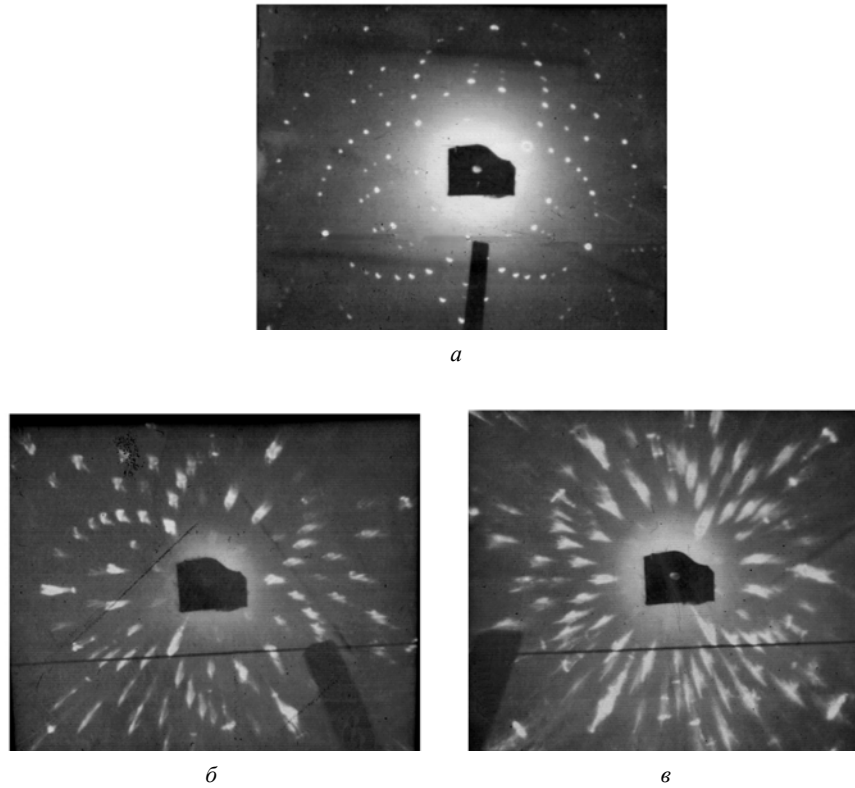


Рис. 2. Лауеграми кристалів хромшпінеліду:
a – сплющений по осі L_3 гострореберний октаедр (трубка Південна); *б* – ізометричний кристал октаедричного габітусу з дрібними гранями на місці $\{110\}$ (трубка Ломоносівська); *в* – міріоедричний кристал (трубка Південна).

Важливим є використання морфології хромшпінелідів як типоморфної ознаки під час розшуків корінних і розсипних джерел алмазів; до кінця воно так і не досліджене. У межах Архангельської алмазоносної провінції складно огранені багатогранники і зерна без кристалографічного огранювання практично не трапляються в інших вивержених породах регіону, а також у неалмазоносних кімберлітах. На думку В.К. Соболева і С.М. Саблукова [9], ці морфологічні особливості хромшпінелідів можна використати як критерій зачислення породи до кімберліту або іншого магматиту і навіть для визначення їхньої алмазоносності.

1. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия) / Под ред. О.А. Богатикова. М., 1999.
2. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П. Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов. Новосибирск, 2001.

3. *Благулькіна В.А., Губанов В.А.* Хромшпинеліди из связующей массы кимберлітов Якутіи // *Мінерали и парагенезиси мінералов горных пород.* Л., 1976. С. 61–66.
4. *Булах А.Г.* Графіка кристаллов. М., 1971.
5. *Квасніца В.Н., Крочук В.М., Афанасьев В.П., Цымбал Ю.С.* Кристалломорфология хромшпинелідов из кимберлітов // *Мінерал. журн.* 1988. Т. 10. № 3. С. 45–51.
6. *Лазько Е.Е.* Мінерали-спутники алмазов и генезис кимберлітовых пород. М., 1979.
7. *Ровша В.С., Илупин И.П.* Хромшпинеліди в кимберлітах Якутіи // *Геология и геофизика.* 1970. № 2. С. 47–56.
8. *Харьків А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И.* Геолого-генетические основы шлихо-мінералогического метода поисков алмазных месторождений. М., 1995.
9. *Харьків А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И.* Коренные месторождения алмазов мира. М., 1998.
10. *Харьків А.Д., Квасніца В.Н., Сафронов А.Ф., Зинчук Н.Н.* Типоморфизм алмаза и его мінералов-спутников из кимберлітов. К., 1989.
11. *Цымбал С.Н., Татаринцев В.И., Князьков А.П.* Мінерали глубинных парагенезисов из кимберлітовой трубки Южная (Восточное Приазовье) // *Мінерал. журн.* 1996. Т. 18. № 5. С. 18–45.

**CRYSTALLO-MORPHOLOGICAL FEATURES
OF CHROME-SPINELLIDS FROM KIMBERLITES
OF THE EAST-EUROPEAN PLATFORM**

Z. Bartoshyns'kyi¹, S. Bekesha², I. Chumak¹

¹*Ivan Franko National University of Lviv
Hrushevskogo st. 4, UA – 79005 Lviv, Ukraine;
E-mail: mineral@franko.lviv.ua*

²*Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NASU
Naukova st. 3a, UA – 79060 Lviv, Ukraine
E-mail: igggk@ah.ipm.lviv.ua*

Crystal morphology of the chrome-spinellids from kimberlites of Arkhangel'sk diamondiferous province and Pryazovian region has been investigated. Distribution of the complicated and the minor faces on crystals and their inclination both to structurally important forms, and to structurally important zones was established. Precise law in change of internal perfection (deficiency) of crystals is looked through at complication of a facet of individuals.

Key words: chrome-spinellid, crystal, simple form, face, reticular density, lauegram.

Стаття надійшла до редколегії 29.09.2004
Прийнята до друку 15.11.2004