

УДК 548.549.0

В. Квасниця, д-р геол.-мін. наук,
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ
І. Квасниця, канд. геол. наук
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

ДЕЯКІ АСПЕКТИ МІНЕРАЛОГІЧНОЇ КРИСТАЛОГРАФІЇ У ПРАЦЯХ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО

Розглянуті деякі аспекти мінералогічної кристалографії в мінералогічних і кристалографічних працях В.І. Вернадського. У порівнянні з матеріалом цих праць висвітлені нові погляди на кристаломорфологію і кристалогенезис самородних елементів, зокрема алмазу, самородних золота і міді. Показані особливості кристаломорфології самородних золота і міді із родовищ і рудопроявів України. Надані нові дані про кристаломорфологію мантійного та імпактного алмазу.

В одному з листів Б.Л. Личкову в 1940-х роках [11, л.290] В.І. Вернадський пише: *"Очень хорошо работаю последнее время. Впервые разобрался в учении о симметрии, ровно через 60 лет после того, как о ней узнал"*. Також в листі Д.П. Григор'єву [5, л.8] В.І. Вернадський писав: *"Я сейчас усиленно работаю над отделкой законченной моей работы: "Геологическое значение симметрии. На фоне роста науки XX столетия". Эта книжка (5-6 листов) сейчас перепиывается. Я придаю ей лично значение, т.е., это – итог моей больше чем 60-летней научной работы"*. А в листі до дружини ще в 1880-х роках [4, л.38] В.І. Вернадський пише: *"Я хочу понять те силы, какие скрываются в материи, я хочу узнать те причины, которые заставляют ее являться в тех правильных, математически гармоничных формах, в каких мы всюду видим и чувствуем ее"*. Отже, значну частину наукового життя В.І. Вернадський присвятив вченню симетрії матерії, всього, що його оточувало, в тому числі кристалографії мінералів як найбільш яскравій області симетрії в природі. Р.К. Баландін – відомий дослідник творчості В.І. Вернадського в своїй книзі "Вернадский: жизнь, мысль, бессмертие" (М., "Знание", 1988) пише, що В.І. Вернадський стверджував: *"...нельзя быть минералогом, не овладев основными приемами кристаллографии...ибо минералог имеет дело с твердыми кристаллическими продуктами земных химических реакций"*.

Протягом 20-ти років (1890-1911 рр.) В.І. Вернадський викладав у Московському університеті і тоді кристалографія займала чи не основне місце в його науковій діяльності. Багато років він читає курс лекцій з кристалографії, а в 1903 році опублікував монографію "Основы кристаллографии", в якій був даний огляд тодішнього стану кристалографії.

У 1988 році огляд і коментарі про роботи В.І. Вернадського в області кристалографії і кристалохімії зробили відомі російські кристалографи і кристалохіміки В.С. Урусов, І.І. Шафрановський, В.А. Колпик і В.А. Франк-Каменецький у книзі [3] "В.И. Вернадский. Избранные труды. Кристаллография", в якій зібрані чи не всі основні роботи вченого в цій області, в тому числі раніше не опубліковані. В.С. Урусов [3] розрізняє такі основні напрями наукової діяльності В.І. Вернадського в області кристалографії: історія кристалографії, фізична кристалографія, хімічна кристалографія, кристалографія і науковий світогляд. Саме в такому порядку зібрані у вказаній книзі [3] основні кристалографічні праці В.І. Вернадського. Висновок В.С. Урусова [3, с. 11]: *"...можно уверенно заключить, что только самих работ по различным разделам кристаллографии было бы вполне достаточно, чтобы считать В.И. Вернадского одним из виднейших кристаллографов России"*. Треба також відзначити В.І. Вернадського як історика кристалографії, він підняв із забуття багатьох невідомих кристалографів 18-20 століть.

В нашій публікації ми пропонуємо читачам стислий критичний огляд тільки деяких штрихів з мінералогічної

кристалографії як частини фізичної кристалографії В.І. Вернадського, опираючись на три монографії вченого [1-3]. На окремих прикладах ми покажемо далекоглядність і деякі сумніви В.І. Вернадського в силу тодішнього розуміння цього чи іншого питання у висвітленні кристалографії мінералів, особливо кристалографії самородних елементів з погляду сучасного стану в цій області [6-10].

За визначенням відомого російського кристалографа і мінералога І.І. Шафрановського мінералогічна кристалографія є розділом кристалографії й відповідно мінералогії, що вивчає морфологію, внутрішню будову і кристалогенезис мінеральних індивідів і агрегатів з урахуванням особливостей кристалоутворювального середовища. Тому незаперечним є вислів В.І. Вернадського щодо одного з основних постулатів мінералогічної кристалографії – поліваріантності форми кристалів мінералів в залежності від різних умов росту, тобто, певним чином, від генетичного типу їх родовищ і рудопроявів. В.І. Вернадський стверджував [3, с. 145]: *"...комбинация простого полиэдра не есть случайное явление. Она зависит от: 1) состава тела и 2) условий его кристаллизации. Господствующей по размерам плоскостей простой формой является форма с минимальной капиллярной константой плоскостей..."* і *"...в разных породах один и тот же минерал обладает разной формой, например гранаты или цирконы"*.

Справедливість цих тверджень покажемо на прикладі кристаломорфології самородного золота і самородної міді із мінеральних комплексів України [8, 9]. Прості форми і габітус кристалів цих мінералів особливо наочно, порівняно з іншими мінералами, ілюструють їх залежність від структури і умов формування. Структура самородного золота і міді проста і утворена за принципом ідеальної щільної кубічної упаковки атомів. Тому теоретично легко обґрунтовується поява найважливіших простих форм {111}, {100} і {110} на кристалах цих мінералів; тобто на кристалах золота і міді найчастіше реалізовані грані вказаних простих форм, які є структурно важливими. Отже структура має вирішальне значення в ограненні кристалів цих мінералів. В той же час спостерігається тенденція залежності форми кристалів золота і міді від глибини рудоутворення і типу руд (рис. 1, 2).

Так, у малоглибинних рудах Закарпаття (Мужіївське родовище, кварц-баритові жили) переважають кубооктаедри та їх складні двійники і дендритні утворення, в середньоглибинних поліметалічних рудах Нагольного кряжу (рудопрояв Бобриково) багато ромбододекаедрів, тоді як у глибинних кварцових і сульфідних рудах Українського щита трапляються рідкісні октаедри. Для самородної міді із зон окиснення гіпербазитів у рудопроявах Українського щита (Жданівка, Черепіль) характерні проста морфологія кристалів {111}, {100}, їх прості та складні двійники і дендритні утворення, тоді як самородній міді із волинських рудопроявів у базальтах властиве більше розмаїття форм кристалів ({111}, {100}, {110}, {hk0}) та їх простих і складних двійників.

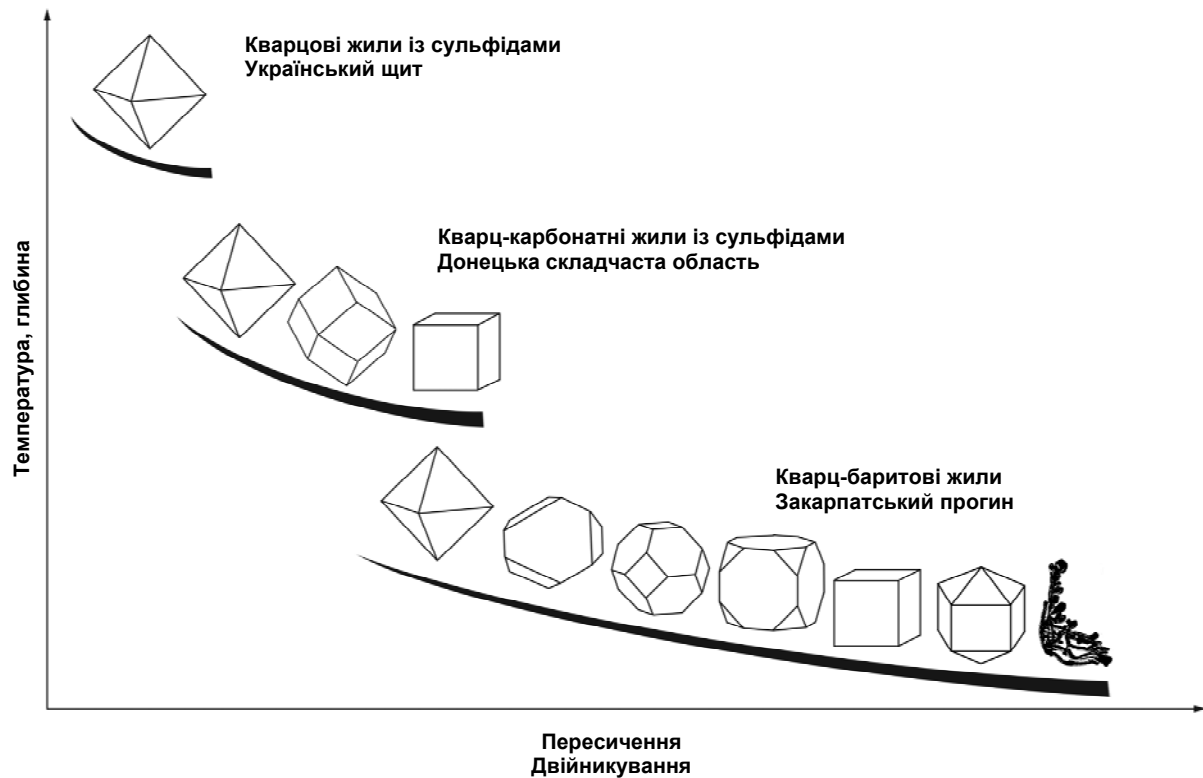


Рис. 1. Тенденція залежності кристаломорфології самородного золота із родовищ і рудопроявів України від глибини утворення руд [9]

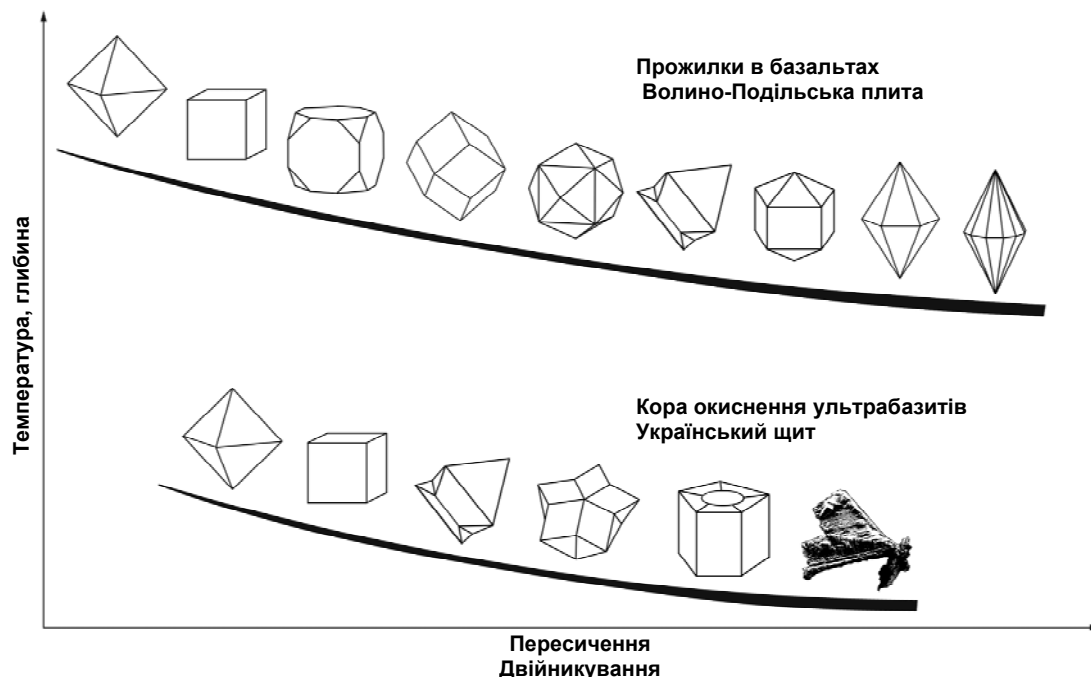


Рис. 2. Тенденція залежності кристаломорфології самородної міді із рудопроявів України від глибини утворення руд [9]

В праці [1], описуючи кристаломорфологію самородних елементів В.І. Вернадський невідомо з якої причини жодного разу не звертався до основної збірки з кристалографії мінералів станом на початок 20-го століття, вона ж є основною і нині: V. Goldschmidt Atlas der Krystallformen (1913–1923 роки). Не можна навіть припустити, що В.І. Вернадському була невідома ця капітальна праця у 9 томах, в якій була зібрана на той час вся кристалографія мінералів. Тим не менше вона також навіть не згадується у "Кристалографії" [3]. В.І. Вернадський при описі кристалографії золота, міді, срібла,

алмазу та інших самородних елементів використовує першоджерела і критично аналізує їх. Можливо тому, за тодішнім станом кристалографічних досліджень мінералів, у В.І. Вернадського виникали сумніви, наприклад щодо голо- чи геміедрії золота і алмазу, щодо гексагональності кристалів золота, про тетраедри золота і міді тощо. Так, наприклад, В.І. Вернадський пише [1, с. 137]: "Ввиду неясности кристаллического класса я не привожу списка простых форм золота. Те списки, какие даются, относятся к голоэдри". Чи [2, с. 512]: "По-видимому золото и электрум относятся к одной из

геміздрій (без осі симетрії 4-го порядку), а срібром к голоздрі". Чи [1, с. 132-133]: "...золото і електрум нерідко проявляються в хорошо виражених многогранниках; чаще преобладают {110} или {111}, реже {100} и другие формы", тоді як з Атласа В. Гольдшміда (Gold, band 4, 1918, tafel 46-54, text 75-80) видно, що домінуючими габітусними формами на кристалах золота є октаedr і куб, а ромбододекаedr зустрічається рідше.

Подібні сумніви щодо класу симетрії, в якій кристалізується самородна мідь також зустрічаємо у праці В.І. Вернадського [1, с. 253]: "Обыкновенно относили кристаллы меди к голоздрии правильной системы. Однако принадлежность их к голоздрии чрезвычайно сомнительна. Для кристаллов меди обычна неполнота плоскостей многих форм, отвечающих голоздрии. Формы типа {hko} иногда встречаются в виде пентагональных додекаэдров, тогда как в уральской меди двойниковые пластинки имеют форму {111}, развитую в виде тетраэдра. Возможно, следовательно, что медь кристаллизуется в строении $3L_24L_3$ ". Чи [1, с. 252]: "Есть указания на принадлежность меди, по крайней мере иногда, к гексагональной системе (ромбодрическому классу). Ввиду малой изученности ее кристаллов – этими указаниями пренебрегать нельзя". Чи [2, с. 542]: "Медь является полиморфным телом, но кристаллографически ее полиморфные разности не изучены... В земной коре она всегда выкристаллизовывается в правильной системе, но принадлежность ее к голоздрии не может быть установлена. Вероятно она относится к одной из гемиздриий...". Чи [1, с. 252]: "В кристаллах меди преобладают большей частью формы: {100}, {110}, {210}, {530}, реже {111}. Простые многогранники меди очень редки; обычны для нее двойники...". Повертаючись до Атласа В. Гольдшміда (Kupfer, band 5, 1918, tafel 32-37, text 57-62) всі сумніви щодо голоедрії міді будуть зняті, як і буде певна коректура щодо поширеності і розвитку простих форм на кристалах міді та їх двійників.

Дискусія про клас симетрії кристалів алмазу і відповідно про їх прості форми також має довгу історію і тягнеться вона з перервами до наших днів. Знаходимо ми її також в роботах В.І. Вернадського [1, с. 342-343]: "Гемиздриа алмаза должна считаться установленной, особенно после работ А. Ферсмана и В. Гольдшмидта (A. Fersman, V. Goldschmidt Der Diamant. Heidelberg, 1911, авт.); ...Господствующей формой роста являются всегда два тетраэдра" і в [2, с. 549]: "Алмаз кристаллизуется в гемиздриии правильной системы... Чистые тетраэдры редки; господствуют "октаэдры" – комбинации {111}-{111}". Такі неясності щодо класу симетрії алмазу, золота і міді були викликані переважно через різнобій в даних гоніометричних досліджень кристалів цих мінералів різними дослідниками. Хоча структури алмаза, золота і міді на той час вже були відомі. Наприклад, структура алмаза була встановлена У. Бреггом у 1913 році. Проте, уже в згаданому Атласі В. Гольдшміда (Diamant, band 3, 1916, tafel 28-48, text 17-51) можна знайти аргументи про голоедрію алмаза.

Ще нині панує думка, що природний алмаз бідний на прості форми росту. Критичний розгляд цього питання А. Ферсманом і В. Гольдшмідом, на думку В.І. Вернадського [1] дозволяє вважати встановленими тільки 14 форм. Вивчення мікрористалів природного алмазу, яке було почато в другій половині 20 століття, спростовує таку уяву про кристалографію цього мінералу [6]. Алмазу властиво багатство простих форм росту: {111}, {100}, {110} і багаточисельні представники тригон- і тетрагон-триоктаедрів, тетрагексаедрів і гексоктаедрів (рис. 3). Проте габітусна роль цих форм на мікрористалах алмазу та їх природа різна. Можна

стверджувати, що з цих форм тільки октаedr і, зрідка, куб мають свої піраміди росту, для інших типів простих форм ({110}, {hhl}, {hkk}, {hko} і {hkl}) наявність власних пірамід росту сьогодні ще не доказана. Проте всі вони на мікрористалах природного алмазу представлені плоскими гранями, але вторинними за габітусними значеннями. Вони, як правило, тільки ускладнюють октаедричне огранення мікрористалів. Для частини із них виразно простежується їх походження – утворення за рахунок виродження октаедричних шарів росту. Таке явище "пасивного" росту граней без власних пірамід наростання поширене на кристалах мінералів.

Отже, справедливим є міркування В.І. Вернадського про характер зміни огранення кристалу при збільшенні його розмірів [3, с. 144]: "Всякий, производивший опыты кристаллизации, знает, что, при прочих равных условиях, увеличение кристалла меняет его комбинациюпри увеличении объема комбинация упрощается". Якраз на прикладі кристалів природного алмазу видно, при збільшенні їх розмірів їх огранення стає простішим, як правило октаедричним.

Ще один вислів В.І. Вернадського щодо кристалізації алмазу потребує пояснення. В праці [3, с. 116] читаємо: "Как семейство алмаза, так и семейство графита включает ряд полиморфных разностей, переход которых друг в друга совершается в пределах семейства легко. Но переход графита в алмаз совершенно не достигается, а алмаз переходит в графит с большим трудом при исключительных термодинамических координатах".

Ще в часи В.І. Вернадського велася дискусія щодо природи алмазів із кам'яного метеориту Новий Урей (Росія) (алмаз описаний у 1887-1888 рр.) та із залізного метеориту Арізонського метеоритного кратеру (США) (алмаз відкритий в метеориті у 1891 р.) [7]. В другій половині 20 століття були зроблені нові знахідки алмазів у декількох залізних і багатьох кам'яних метеоритах і незабаром з'явилася нова, більш аргументована версія – про ударне походження алмазу за рахунок вуглецевої речовини залізних і кам'яних (уреїлітів) метеоритів. У випадку залізних метеоритів зазнає ударного метаморфізму графіт, а в уреїлітах – не дуже структурно досконалий графіт і наноалмаз вуглистих хондритів.

Проте значно вагомішого обґрунтування прямого переходу графіту в алмаз було отримано після відкриття імпактного алмазу в розсипищах і астроблемах Росії та України в другій половині 20-го століття. Ці імпактні алмази – параморфози по графіту, як і згадані метеоритні алмази, є полікристалічними і поліфазними (алмаз, лонсдейліт, рештки графіту) утвореннями. Основними аргументами твердофазового переходу графіту в алмаз і лонсдейліт є законсервована графітова форма кристалів (габітус і обрис кристалів – рис. 4, прості форми), певні закономірні орієнтаційні співвідношення структур графіту і новоутворених фаз алмазу і лонсдейліту, мікоморфологія "пінакоїдальних" граней. Реалізація такого когерентного (мартенситового) переходу графіту в інші фази при ударних навантаженнях відбувається дещо різними способами для лонсдейліту і алмазу: так званим позовжним згином (вдавлення гексагонального кільця з одночасним його видовженням) графітового шару для першого мінералу і гофруванням шару – для другого мінералу. При цьому, випереджаючи утворення нових фаз, вихідні кристали графіту зазнають інтенсивного механічного двійникування по $(11\bar{2}1)$ (рис. 5), характерного для кристалів цього мінералу. Майже одночасні з відкриттям імпактного алмазу в природі інструментальні випробування – ударний синтез алмазу і лонсдейліту із вихідного графіту завершили підтвердження ще одного способу мінералоутворення в природі.

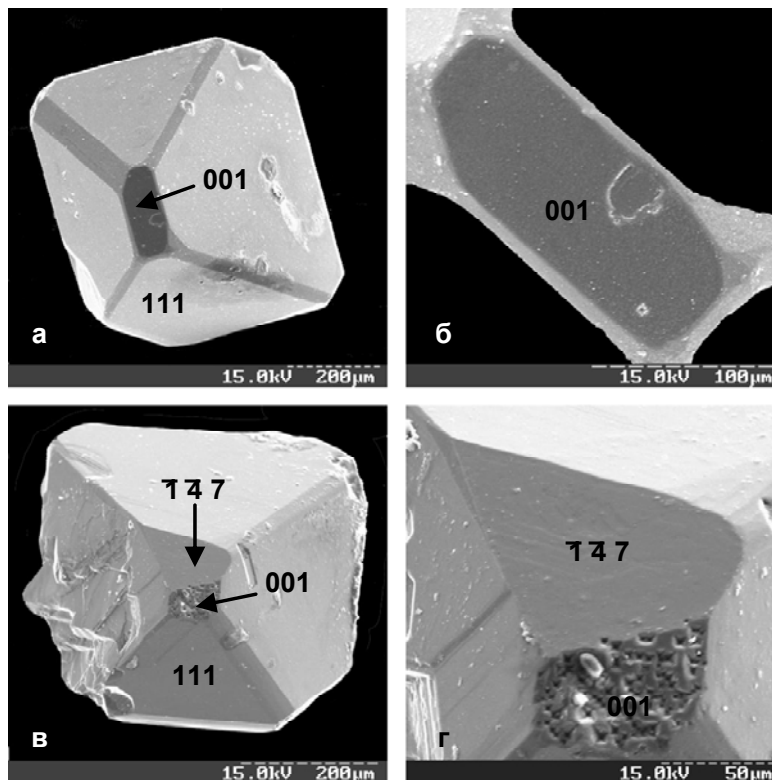


Рис. 3. Грані куба (а, б) і гексоктаєдра (в, г) на октаєдричних мікрокристалах алмазу із кімберлітів Якутії. Растрові електронномікроскопічні знімки

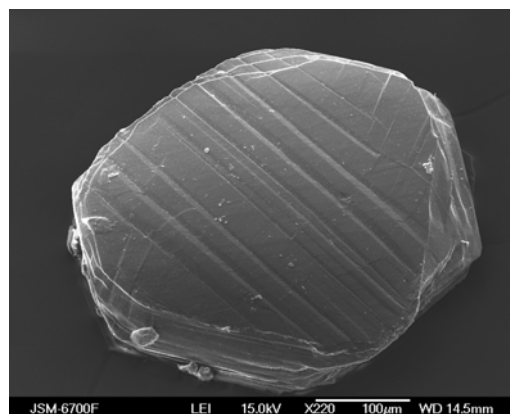


Рис. 4. Кристал апографітового імпаکتного алмазу (Попігайська астроблема, Росія). Растровий електронномікроскопічний знімок [10]

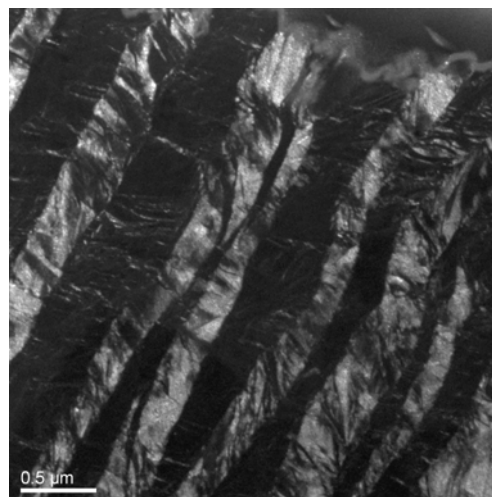


Рис. 5. Механічне двійникування кристалів графіту по $(11\bar{2})$ при твердофазовому переході графіту в лонсдейліт і алмаз. Трансмісійний електронномікроскопічний знімок внутрішньої будови імпаکتного апографітового алмазу (Попігайська астроблема) [10]

У 1910 році сповільнилась активна наукова діяльність В.І. Вернадського в області кристаллографії і майже припиняється після залишення ним роботи в Московському університеті у 1911 році, оскільки В.І. Вернадський впритул почав розробляти нову науку – геохімію. Ще чекала свого часу розробка нових законів залежності форми кристалів від структури мінералів, які суттєво вдосконалили закон О. Браве (закон У.Д.Х. Доннея і Дж. Харкера (1937 р.) і закон П. Хартмана і В. Пердока (1955 р.). Для появи цих законів необхідно було нагромадження рентгенометричних даних про кристалічні структури мінералів, необхідний був інтенсивний розвиток структурної кристаллографії. Тільки відсутністю чи зародковим, ще незрілим станом таких досліджень можна пояснити "кристаллографічні сумніви" В.І. Вернадського.

Список використаних джерел

1. Вернадский В.И. Избранные сочинения, том 2 (Опыт описательной минералогии с дополнениями автора 1912-1922 гг. Том 1. Самородные элементы) // – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 616 с.

2. Вернадский В.И. Избранные сочинения, том 4 (История минералов земной коры. Том 1. 1925-1927 гг.) // – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 624 с.
3. Вернадский В.И. Избранные труды. Кристаллография // – М.: Наука, 1988. – 344 с.
4. Вернадский В.И. Письма Н.Е. Вернадской (1886-1889), (Сост. Н.В. Филиппова) // – М.: Наука, 1988. – 304 с.
5. Григорьев Д.П. Из писем В.И. Вернадского // ЗВМО. – 1988. – ч.67, вып.1. – С.116-121.
6. Квасница В.Н. Типоморфизм микрокристаллов алмаза / Квасница В.Н., Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. – М.: Недра, 1999. – 224 с.
7. Квасница В.Н. Природа алмаза / Квасница В.Н., Харьков А.Д., Зинчук Н.Н. – К.: Наукова думка, 1994. – 208 с.
8. Квасница І.В. Самородна мідь України. Геологічна позиція, мінералогія і кристалогенезис / Квасница І.В., Павлишин В.І., Косовський Я.О. – К.: Логос, 2009. – 170 с.
9. Квасница В.М. Нарис з мінералогічної кристаллографії самородних металів України / Квасница В.М., Квасница І.В. Мінерал. журн. – 2012. – 34, №4. – С.15-24.
10. Kvasnytsya Victor Micromorphology and internal structure of apographitic impact diamonds: SEM and TEM study / Kvasnytsya Victor, Wirth Richard. – Diamond and Related Materials. – 2013. – 32. – P.7-16.
11. Переписка В.И. Вернадского с Б.Л. Личковым (1940-1944), (Сост. В.С. Неополитанская) // – М.: Наука, 1980. – 224 с.

Надійшла до редколегії 29.01.13

В. Квасница, д-р геол.-мин. наук

Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семененка НАН Украины, Киев

И. Квасница, канд. геол. наук

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЙ КРИСТАЛЛОГРАФИИ В ТРУДАХ В.И. ВЕРНАДСКОГО

Рассмотрены некоторые аспекты минералогической кристаллографии в минералогических и кристаллографических трудах В.И. Вернадского. В сравнении с этим материалом освещены новые взгляды на кристалломорфологию и кристаллогенезис самородных элементов, в частности алмаза, самородных золота и меди. Показаны особенности кристалломорфологии самородных золота и меди из месторождений и рудопроявлений Украины. Предоставлены новые данные о кристалломорфологии мантийного и импактного алмаза.

V. Kvasnytsya, Dr. Sci. (Geol.-Min.)

M.P. Semenenko NAS of Ukraine Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation, Kyiv

I. Kvasnytsia, Cand. Sci. (Geol.)

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

SOME ASPECTS OF MINERALOGICAL CRYSTALLOGRAPHY IN THE WORKS OF V.I. VERNADSKY

Some aspects of mineralogical crystallography in the mineralogical and crystallographic works of V.I. Vernadsky are examined. In comparison with the material of these works new data on crystallography of native elements, including diamond, gold and native copper are highlight. Peculiarities of crystallography of native gold and copper from deposits and ore occurrences of Ukraine are established. New data on crystallography of mantle and impact diamonds are discussed.