

УДК 549.211 + 549.0

В.М. Квасниця

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М.П. Семененка НАН України
03142, м. Київ-142, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34
E-mail: vmkvas@hotmail.com

АЛМАЗНЕ ВІКНО У НИЖНЮ МАНТІЮ ЗЕМЛІ (відгук на книгу Ф.В. Камінського "Нижня мантія землі. Склад і будова")

У 2017 р. у видавництві *Springer Geology* вийшла в світ книга всесвітньо відомого мінералога і геохіміка Фелікса Вітольдовича Камінського "Нижня мантія Землі. Склад і будова" (Felix V. Kaminsky. *The Earth's Lower Mantle. Composition and Structure*. Springer Int. Publ. AG, 2017, 340 p., doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-55684-0>). Книгу присвячено вирішенню однієї з найважливіших проблем сучасної геології — вивченню глибинної будови Землі. Зазвичай десятиліттями для характеристики глибинних зон Землі використовують теоретичні моделі, ґрунтовані на результатах експериментальних петрологічних досліджень і геофізичних даних. Висновки книги Ф.В. Камінського про склад і будову нижньої мантії Землі випливають із результатів досліджень мінеральних асоціацій, виявлених у надглибинних алмазах із кімберлітових тіл і розсіпів багатьох алмазоносних провінцій різних частин світу. Головний висновок цих досліджень свідчить, що реальний мінеральний склад нижньої мантії Землі демонструє відмінності від раніше запропонованих теоретичних моделей.

Ключові слова: надглибинні алмази, мінеральні вклучення, мінеральні асоціації, нижня мантія Землі, Фелікс Вітольдович Камінський.

Фелікса Камінського добре знали геологи Радянського Союзу як фахівця-алмазника, який ще в 1980 рр. вперше і ґрунтовно привернув увагу до мінералогії та походження алмазу із некімберлітових вивержених порід ("Алмазоносность некимберлитовых изверженных пород". М.: Недра, 1984. 174 с.). В останні десятиліття він інтенсивно вивчає мінералогію і геохімію алмазів із багатьох алмазоносних провінцій світу. Особливо унікальний матеріал ним зібрано про мінеральні і флюїдні вклучення в алмазах, що відображено в численних статтях у провідних геологічних журналах світу. Серед цих публікацій важливе місце належить двом працям Ф.В. Камінського про мінералогію і геохімію нижньої мантії (Минералогия и геохимия нижней мантии: 50-е чтение им. В.И. Вернадского, 12 марта 2010 г. М.: ГЕОХИ РАН,

2011. 68 с.; *Mineralogy of the lower mantle: A review of 'super-deep' mineral inclusions in diamond*. Earth-Science Reviews, 2012, 110 (1-4), 127-147), які можна вважати провісником його нової монографії про склад і будову нижньої мантії Землі.

Насамперед зауважимо, що написання даної книги стало можливим завдяки тому, що її автором та багатьма іншими дослідниками були вивчені так звані надглибинні алмази з мінеральними вклученнями, для утворення яких потрібні температура і тиск, що відповідають передбачуваним *PT*-умовам нижньої мантії Землі, та відповідним експериментальним даним. У книзі узагальнено майже всі наявні нині відомості про мінеральні вклучення в надглибинних (нижньомантійних) алмазах. На цій мінералогічній підставі запропоновано нове бачення складу і будови нижньої мантії порівняно з відомими експериментальними і геофізичними даними.

© В.М. КВАСНИЦЯ, 2018

Книгу Ф.В. Камінського про склад і будову нижньої мантії Землі опубліковано англійською мовою. Робота має вступ, дев'ять розділів, загальні висновки, перелік скорочень і предметний покажчик. До кожного розділу подано анотацію, висновки і перелік посилань. Наведена бібліографія є всеохопною і представницькою, що важливо для пошуків першоджерел інформації. Окрім паперової наявна електронна версія книги, що значно розширює коло читачів.

У відгуку на цю книгу найбільшу увагу хочеться привернути до мінералогічних даних, насамперед щодо мінералогії та умов утворення кристалів нижньомантіїного алмазу, тому нижче лише побіжно згадано інші цікаві результати досліджень, висвітлені у книзі.

У *Вступі* автор називає основні причини, які спонукали його до написання книги. До недавнього часу для суджень щодо складу та будови нижньої мантії Землі використовували три основні джерела даних: сейсмічні спостереження, виконані в умовах високих значень температури і тиску, петрологічні експерименти, теоретичні розрахунки. У кожного з цих джерел даних є переваги і недоліки. Для побудови моделей нижньої мантії, як сказано вище, використовують головним чином геофізичні, експериментальні та теоретичні знання. Більшість таких побудов ігнорують нові дані з мінералогії і геохімії нижньої мантії Землі. Однак в останні десятиліття знайдено серію нижньомантіїних мінералів і мікроксенолітів, виявлених як мінеральні включення в алмазах із родовищ чотирьох континентів Землі. Тобто отримано дані про реальний склад матеріалу нижньої мантії. Серед них такі: середній вміст феропериклазу $[(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O}]$ в мантії за включеннями в алмазі оцінюється у 55,4 %, а за теоретичними і експериментальними даними його вміст разом з бриджманітом $[(\text{Mg}, \text{Fe}) (\text{Al}, \text{Si})\text{O}_3]$ і CaSi -перовськітом $[\text{CaSiO}_3]$ не перевищує 16–20 %, склад є більш залістим, ніж магнезіальним. Інше зовсім несподіване спостереження з теоретичної та експериментальної точки зору — наявність вільного кремнезему у всіх мінеральних асоціаціях нижньої мантії, а також існування карбонатитової мінеральної асоціації.

Очевидно, що для побудови гармонійної та найбільш реалістичної моделі нижньої мантії Землі необхідно враховувати всі дані. Головною метою Ф.В. Камінського було не виріши-

ти всі питання щодо складу і будови нижньої мантії, а підсумувати наявні дані, окреслити основні проблеми у цій галузі, включаючи її суперечності.

У розділі *"Загальні фізико-хімічні моделі нижньої мантії Землі"* критично розглянуто найпопулярнішу модель про склад і будову мантії, яка ґрунтується на сейсмічних спостереженнях. Ця модель передбачає піролітовий (пірополівіновий) склад нижньої мантії. Проте експерименти з вивчення щільності природного перидотиту продемонстрували невідповідність цій моделі. Тобто верхня і нижня мантія повинні мати різний хімічний склад, мантія хімічно стратифікована. Її верхня частина (глибина приблизно 660–770 км) має крутий градієнт швидкості, що, мабуть, відображає перетворення рингвудиту $[(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_2(\text{SiO}_4)]$ в бриджманіт і феропериклаз. До теперішнього часу жодна з моделей нижньої мантії (піролітова, Si -хондритова тощо) не узгоджена з даними про сейсмічні швидкості. Всі вони показують значну невідповідність щодо складу, особливо в нижній частині нижньої мантії: склад нижньої та верхньої мантії різний. Порівняно з піролітовою верхньою мантією особливо цікавими є ознаки збагачення нижньої мантії на SiO_2 . Всі невідповідності, на думку Ф.В. Камінського, обумовлені не піролітовим складом нижньої мантії, що підтверджують дані про реальні мінеральні асоціації нижньої мантії, виявлені в алмазах.

Розділ *"Нижньомантіїні мінеральні асоціації"* присвячений попередньому розгляду особливостей мінеральних асоціацій нижньої мантії шляхом порівняння експериментальних даних, теоретичних розрахунків і результатів вивчення мінеральних включень у надглибинних алмазах Бразилії, Гвіани, Канади, Австралії і Південної Африки. Залежно від складу вихідного субстрату силікати верхньої мантії та перехідної зони у нижній мантії наче трансформуються у дві мінеральні асоціації: ювенільну ультрамафічну (бриджманіт + CaSi -перовськіт + феропериклаз) і мафічну (бриджманіт + CaSi -перовськіт + кремнезем + Al -фаза). Ці геологічні дані про мінеральні асоціації в нижній мантії підтверджують експериментальні та теоретичні прогнози: нижня мантія не є силікатною, як верхня мантія та перехідна зона, її правильніше називати оксидною. Проте існують деякі розбіжності між мінералогічними, експериментальними даними і теоретичними

висновками. Насамперед тому, що окрім прогнозованих ультрамафічної та мафічної асоціацій у нижній мантії виявлено й карбонатитову асоціацію. Окрім того, ще раз акцентуємо увагу на тому, що серед мінералів ультраосновної асоціації вміст феропериклазу приблизно втричі більший, ніж прогнозувалося — 48,0—63,3 % проти 18 %. І навпаки, вміст бриджманіту в нижній мантії лише 7,5 %, що приблизно удесятеро менше, ніж за прогнозами (70—74 %). Ще одна суттєва відмінність — постійна наявність у складі ультраосновної асоціації вільного кремнезему. Нижньомантіїні мінерали мафічної асоціації менш поширені за мінерали ультрамафічної асоціації.

У розділі "Ультрамафічна мінеральна асоціація нижньої мантії" показано, що ювенільну ультрамафічну складову нижньої мантії визначає мінеральна асоціація: бриджманіт + феропериклаз + CaSi-перовськіт + SiO₂. Бриджманіт характеризується високим вмістом магнію (показник Mg = 0,84—0,96), він утворює дві композиційні групи з низьким (0,25—3,10 мас. % Al₂O₃) і високим (8,34—12,58 мас. % Al₂O₃) вмістом Al. Високоалюмінієвий бриджманіт є багатшим на вміст Fe і характеризує глибші шари в нижній мантії. Орторомбічна кристалічна структура бриджманіту зберігається у всій нижній мантії аж до Д-шару, де вона трансформується в "пост-перовськітову фазу" [MgSiO₃]. Хімічний склад феропериклазу відрізняється від прогнозованого складу, причому показник магнію змінюється від 0,36 до 0,90. Феропериклаз має кубічну структуру, стабільну по всій нижній мантії. Вміст заліза в бриджманіті і феропериклазі збільшується з глибиною, що відображає збільшення вмісту заліза в об'ємному складі нижньої мантії взагалі. За хімічним складом CaSi-перовськіт відносно чистий із незначними домішками Ti, Al і Fe, збагачений на мікроелементи. CaSi-перовськіт у нижній мантії має кубічну структуру, яка за низької температури (у субсолідусних умовах) може переходити в тетрагональну чи орторомбічну структуру.

Отже, ця асоціація нижньої мантії, на відміну від складу верхньої, представлена не силікатами, а переважно оксидами, тому традиційний термін "силікатна мантія" не підходить до нижньої мантії. Її запропоновано називати "оксидною мантією". Втім точні пропорції мінералів цієї асоціації нині неможливо розрахувати. Особливе значення має наявність у скла-

ді ультраосновної асоціації нижньої мантії багатого на залізо феропериклазу, магнізювоститу і вільного кремнезему, що, як вказано вище, не узгоджується із запропонованим піролітовим складом нижньої мантії.

Наявність вільного діоксиду кремнію в нижній мантії ідентифіковано в алмазах з усіх вивчених алмазоносних провінцій, він наявний постійно (2,1—15,0 %, в середньому 8,4 %). У верхній частині нижньої мантії він представлений стишовітом, який на глибині 1600—1800 км перетворюється в інші щільніші структури.

Окрім чотирьох основних мінеральних фаз у цьому розділі надано детальну характеристику низки мінералів-включень в алмазах: фази (Mg, Fe)O-периклаз-вюстит і периклаз-магнізювостит, Mg-Cr-Fe і Ca-Cr орторомбічні оксиди, хромиста шпінель, ільменіт, пікроільменіт, манганільменіт, титаніт, мейджорит, олівін, муасаніт, самородний нікель, самородне залізо та ін.

У розділі "Мафічна мінеральна асоціація нижньої мантії" вказано, що ця асоціація не відіграє такої важливої ролі в нижній мантії, як ультрамафічна. Вона утворюється локально у результаті перекристалізації субдуктованих літосферних плит. Цей розділ також містить детальну характеристику низки мінералів-включень цієї асоціації в алмазах, серед яких головними є бриджманіт, CaSi-перовськіт, кремнезем та різні Al-фази. Однак хімічний склад перших трьох через збагачення переважно алюмінієм відрізняється від хімічного складу цих же мінералів ультрамафічної асоціації.

Представники майже всіх класів мінералів як включення в алмазах охарактеризовані у розділі "Карбонатитова мінеральна асоціація нижньої мантії": карбонати, галіди, фториди, фосфати, сульфати, силікати, оксиди, сульфідиди, прості речовини та леткі компоненти. Ця асоціація містить значну кількість мінералів, майже 50 мінеральних видів. Серед них багато невиявлених у літосферних алмазах. Домінують карбонати (натрокарбонати), галіди і фториди, інші мінерали є аксесоріями. Серед оксидів співіснують периклаз і вюстит, що вказує на утворення цієї асоціації на глибині понад 2000 км. Деякі багаті на залізо (Mg,Fe)O включення в алмазах віднесені до самих найбільш глибинних утворень нижньої мантії. За мінеральним складом ця асоціація близька до натрокарбонатитової. Первинний карбонатитовий розплав нижньої мантії утворюється

внаслідок часткового розплавлення мантійного матеріалу на межі ядро—мантія, збагаченого на С, Р, F, Cl та інші леткі компоненти. Під час підйому до поверхні цей розплав дисоціює на два розплави, що не змішуються: карбонатно-силікатний і хлоридно-карбонатний. Останній є материнським для виявленої натрокарбонатитової асоціації нижньої мантії. Алмази з карбонатитовими включеннями утворюються в карбонатитових розплавах або у натрокарбонатитових флюїдах високої щільності. Таким чином, карбонатитова асоціація є основним метасоматичним фактором у нижній мантії та середовищем, що продукує алмаз.

У розділі "Алмаз у нижній мантії" надано детальну характеристику кристалів алмазу, віднесених до надглибинних — нижньомантіїних — алмазів. Як зазначено вище, кристали цього алмазу містять мінеральні включення всіх трьох нижньомантіїних асоціацій — ювенільної ультрамафічної, мафічної та карбонатитової. Перші дві асоціації представляють субстрат, місце росту, де ростуть алмази, а третя є материнським карбонатно-оксидним середовищем для алмазу нижньої мантії. Алмаз є аксесорним мінералом усіх трьох асоціацій. За декількома важливими показниками його кристали відрізняються від кристалів алмазу літосферного (верхньомантіїного) походження. Насамперед вмістом цілого ряду мінералів-включень вказаних вище асоціацій, які не виявлені в кристалах літосферних алмазів. Габітусні типи кристалів нижньомантіїного алмазу — окта-, додека-, тетрагексаедричний і перехідний {111}—{110}, кристали кубічного габітусу не виявлено. Переважають округлі форми (додекаедроїди і тетрагексаедроїди), часто трапляються агрегати і ксеноморфні кристали. Багато кристалів алмазу мають ознаки пластичної деформації, тому забарвлені у коричневий колір. Більшість алмазів нижньої мантії є "безазотними" (тип II за фізичною класифікацією). Інші є низькоазотними і мають сильно агреговані домішки азоту (коефіцієнт агрегації до 94 %). Це є свідченням їх тривалого перебування в мантії за високої температури, що призвело до майже повного перетворення одноатомних і парних азотних центрів у багатоатомні комплекси. На відміну від літосферних алмазів майже всі вивчені нижньомантіїні алмази (70—89 %) мають значний вміст водневих центрів (коефіцієнт лінії 3107 см⁻¹ у інфрачервоних спектрах до 4—

6 см⁻¹). У спектрах фотолюмінесценції цих алмазів домінують центри 490,7 нм, H3 та H4. Ізотопний склад вуглецю нижньомантіїних алмазів знаходиться в межах вузького діапазону: від -5,45 до -1,26 ‰ δ¹³C VPDB (середня величина -4,36 ± 2,28 ‰). Це може свідчити про ювенільний нижньомантіїний ізотопний склад вуглецю. Ізотопний склад домішок азоту для алмазів нижньої мантії знаходиться також у межах вузького діапазону, від -5,2 до -1,0 ‰ δ¹⁵Natm, середнє значення δ¹⁵Natm = -3,00 ± 2,37 ‰. Найважливіша роль у процесі росту кристалів цього алмазу належить карбонатній складовій мінералоутворювального середовища.

Розділ "Роль спінового кросовера та інших фізико-хімічних перетворень у нижній мантії" містить характеристику переходів від високого до низького спінового стану атомів Fe у залізовмісних мінералах. Це викликано умовами високого тиску і температури в нижній мантії, що й зумовлює зміни фізичних, хімічних, реологічних та транспортних властивостей мінералів, які містять залізо. Цей процес найбільш виразний у феропериклазі, де іон Fe²⁺ поступово отримує низькоспінову конфігурацію на глибині 1000—1500 км.

У розділі "Д-шар: перехід від нижньої мантії до ядра Землі" охарактеризовано найнижчу частину нижньої мантії — так званого Д-шару потужністю в 200 км. Основною підставою для виділення Д-шару є фазовий перехід від бриджманіту до "пост-перовськіту" зі збільшенням густини у 0,9—1,6 %, що можливе за 124—125 ГПа та 2500 К. Збагачений залізом розплав із зовнішнього ядра, що містить 5—10 % летких елементів (С, N, O і Si), проникає в найнижчу частину мантії, у ньому утворюється самородне залізо, карбіди і нітриди заліза та карбід кремнію. Особливе значення має присутність Fe₇C₃ і Fe₇N₃, які разом з алмазами є першими твердими фазами, що кристалізуються з металічного розплаву в Д-шарі. Наявність нітридів заліза в Д-шарі тісно пов'язана з їх передбачуваною присутністю у внутрішньому ядрі.

У розділі "Сейсмічні неоднорідності та їхня природа в нижній мантії" розглянуто причини низки сейсмічних неоднорідностей найбільш виразних на глибині 800—900, 1100—1200, 1500—1600, 1800—1900, 2000—2100, 2300—2400 та 2600—2700 км. Припускається, що жодна з них (за винятком границі Д-шару) не може

бути ідентифікована будь-якою мінеральною фазою або спін-переходом. Тому дуже ймовірно, що сейсмічні неоднорідності нижньої мантії спричинені давніми субдукційними літосферними плитами або резервуарами первинного і диференційованого матеріалу нижньої мантії.

У *Висновках* виокремлено 14 основних положень книги, які на думку Ф.В. Камінського, потребують додаткових спостережень та експериментів, для того щоб покращити розуміння складу та будови нижньої мантії Землі.

Важливо, що у розглянутій монографії глибоко і усебічно охарактеризовано більшість виявлених мінералів всіх трьох асоціацій надглибинних алмазів. Доречно згадати, що три описані в книзі мінеральні асоціації нижньої мантії Землі ніби мають аналоги у її верхній мантії, а саме перидотитову, еклогітову і збагачену кальцієм асоціації. Ці мінеральні асоціації верхньої мантії виявлені також у кристалах алмазу із кімберлітів, лампроїтів, лампрофірів та інших порід багатьох алмазоносних провінцій світу. Таким чином, літосферні і нижньомантіїні алмази із названих порід є начебто вікнами, які відкривають доступ до земних глибин і дають змогу проникати майже до ядра Землі. Тому виникає нагальна потреба визначення природи мінеральних включень у кристалах алмазу: їх прото-, син- чи епігенетичності. Необхідно критичніше підходити до питання про генетичну природу мінеральних включень у кристалах алмазу, це визначає найбільш достовірну оцінку мінералоутворювального середовища. Від відповіді на це питання залежить правильність наших уявлень про склад і будову земних глибин.

Можливо, деякі висновки Ф.В. Камінського про типоморфні властивості надглибинних алмазів вимагають докладнішого обґрунтування. Наприклад, передчасно стверджувати, що домінування у спектрах фотолюмінесценції центрів 490,7 нм, *H3* та *H4* властиво нижньоман-

тійним алмазам. Ці центри, як і водневі дефекти у інфрачервоних спектрах, виявляються у багатьох літосферних кристалах алмазу. Помилковим є вислів про тетраедричні кристали алмазу (див. стор. 230), оскільки ця форма заборонена належністю кристалів алмазу до гексооктаедричного класу симетрії. Насправді, такі кристали є псевдотетраедрами: специфічно виродженими октаедрами, незвичайними двійниками-трійниками таких октаедрів чи просто механічними утвореннями внаслідок сколювання кристалів по спайності (111).

Отже, зібрані дані про мінеральні включення в надглибинних алмазах свідчать про складнішу мінералогію нижньої мантії Землі, ніж передбачено за теоретичними моделями. Із висновків книги Ф.В. Камінського повинні стати більш зрозумілими процеси в глибинних зонах нашої планети, які безпосередньо впливають на її сучасний вигляд, є причиною руху континентів, горотворення, землетрусів, вулканізму і формування родовищ різних корисних копалин. Одним із особливо важливих висновків книги є твердження про материнське карбонатно-оксидне середовище росту кристалів алмазу у вигляді флюїду чи розплаву. Ймовірно саме такий стан алмазоутворювального середовища є основною причиною переважного поліедричного росту кристалів алмазу, оскільки в ньому може вільно кристалізуватись мінерал.

Вихід у світ книги Ф.В. Камінського "Нижня мантія Землі. Склад і будова" — яскраве явище у пізнанні глибин Землі. Немає сумніву, що це наукове видання зацікавить широке коло геологів, петрологів, геофізиків і мінералогів, фахівців, які вивчають глибинні земні процеси і родовища, пов'язані з ними, а також буде пізнавальним для експериментаторів і теоретиків у галузі мінералогії та петрології. Результати, викладені в монографії, будуть особливо корисними у процесі вирішення питань мінералогії алмазу та оцінки алмазоносності територій.

Надійшла 04.12.2017

В.Н. Квасниця

Институт геохимии, минералогии и рудообразования
им. Н.П. Семеновко НАН Украины
03142, г. Киев, Украина, пр-т Акад. Палладина, 34
E-mail: vmkvas@hotmail.com

АЛМАЗНОЕ ОКНО В НИЖНЮЮ МАНТИЮ ЗЕМЛИ

(отзыв на книгу Ф.В. Каминского
"Нижняя мантия земли. Состав и структура")

В 2017 г. в издательстве *Springer Geology* вышла в свет книга всемирно известного минералога и геохимика Феликса Витольдовича Каминского "Нижняя мантия Земли. Состав и строение" (Felix V. Kaminsky. *The Earth's Lower Mantle. Composition and Structure*. Springer Int. Publ. AG, 2017, 340 p., doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-55684-0>). Книга посвящена решению одной из важнейших проблем современной геологии — изучению глубинного строения Земли. Десятилетиями для характеристики глубинных зон Земли используют теоретические модели, основанные на результатах экспериментальных петрологических исследований и геофизических данных. Выводы книги Ф.В. Каминского о составе и строении нижней мантии Земли вытекают из результатов исследований минеральных ассоциаций, обнаруженных в сверхглубинных алмазах из кимберлитовых тел и россыпей многих алмазоносных провинций разных частей мира. Главный вывод этих исследований свидетельствует, что реальный минеральный состав нижней мантии Земли отличается от ранее предложенного согласно теоретическим моделям.

Ключевые слова: сверхглубинные алмазы, минеральные включения, минеральные ассоциации, нижняя мантия Земли, Феликс Витольдович Каминский.

В.М. Кваснытсыя

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy
and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142
E-mail: vmkvas@hotmail.com

THE DIAMOND WINDOW TO THE EARTH'S LOWER MANTLE

(Comment on the Book by Felix V. Kaminsky
The Earth's Lower Mantle. Composition and Structure)

In 2017 the publishing house Springer Geology published the book of world-famous mineralogist and geochemist Felix V. Kaminsky (*The Earth's Lower Mantle. Composition and Structure*. Springer Int. Publ. AG, 2017. 340 p., doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-55684-0>). This book is devoted to solving one of the most important problems of modern geology — the study of the deep structure of the Earth. Usually, for decades, to characterize the deep earth zones, theoretical models are used, which are based on the results of experimental petrological research and geophysical data. While the conclusions of F.V. Kaminsky's book about composition and structure of the lower mantle of the Earth follow from the results of studies of mineral associations found in super-deep diamonds from kimberlite pipes and placers of many diamond-bearing provinces of different parts of the world. The main conclusion of these studies is that the real mineral composition of the Earth's lower mantle shows differences from the previously proposed theoretical models.

Keywords: super-deep diamonds, mineral inclusions, mineral associations, the Lower Mantle of the Earth, Felix V. Kaminsky.

Received 04.12.2017