

Силицид железа — показатель минерального состава мантии Земли?

А.Е. Лукин¹, В.М. Шестопапов^{1,2}, 2020

¹Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина

²Научно-инженерный центр радиогидрогеоэкологических полигонных исследований НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 8 апреля 2020 г.

Насущной задачей наук о Земле является создание достоверной модели мантии Земли. В настоящее время существуют ее различные модели. Согласно канонической модели, которой руководствуется большинство геофизиков и геологов, мантия Земли — это «каменная оболочка» оксидо-силикатного по минеральному, алюмо-кремний-кислородного по химическому составу. От нее кардинально отличается модель мантии Земли, предложенная В.Н. Лариным на основе гипотезы изначально гидридной Земли. В соответствии с ней, основной объем мантии Земли представлен металлосферой, состоящей из сплавов и интерметаллидов на основе кремния, магния, железа с добавками большого разнообразия других элементов (углерод, различные металлы). Она сформировалась в результате водородной продувки, импульсно-перманентный характер которой позволяет предположить, что мантия Земли характеризуется более сложным, не статичным, а динамичным соотношением сегментов оксидо-силикатной мантии и металлосферы с первоначально восстановленными флюидами, окисление и геохимическая дифференциация которых происходила (и происходит) по мере сквозьмантийной перколяции, обусловленной процессами глубинной дегазации Земли. В связи с этим, особое значение в качестве подтверждения реальности указанных процессов приобретают включения минералов-индикаторов (самородных оксифильных металлов и их сплавов, интерметаллидов, силицидов, карбидов) резко восстановительной безводной среды кристаллогенеза в гидроксил- и водосодержащих минеральных агрегатах. Таким минеральным индикатором состава глубинных геосфер, земные находки которого, возможно, подтверждают существование металлосферы, является силицид железа. Выявление диапиров интерметаллических силицидов имеет первостепенное значение для решения проблемы промышленного освоения эндогенных источников водорода.

Ключевые слова: мантия Земли, металлосфера, силицид железа, диапиры интерметаллических силицидов.

Введение. Для преодоления возникшего на рубеже XX и XXI столетий системного кризиса в науках о Земле (противоречивые тектоногеодинамические, флюидодинамические, петрологические и геохимические глобальные концепции) необходимо в первую очередь создание достоверной модели мантии Земли (МЗ) — основной по объему (~80 %) земного вещества геосферы, залегающей между границей Мохоровичича (30—35 км) — подошвой земной коры и границей Ви-

херта—Гутенберга (2900 км) — поверхностью внешнего ядра [Планета..., 2004]. В настоящее время существует несколько моделей, по-разному решающих эту проблему [Семененко, 1990; Маракушев, 1999 и др.]. Две из них наиболее кардинально различаются.

Согласно первой, канонической модели [Геологический..., 1978], которой руководствуется большинство геофизиков, геологов, петрологов и геохимиков, МЗ — это «каменная оболочка» оксидосиликатного

(Al—Si—O алюмо-кремний-кислородного) состава.

Вторая модель предложена В.Н. Лариным на основе гипотезы изначально гидридной Земли [Larin, 1993; Ларин, 2005]. Эта модель отличается от традиционной и практически общепринятой (ядро — железное, мантия — оксидосиликатная) прежде всего «ограниченным распространением кремний-кислородной оболочки на глубину» [Ларин, 2005, с. 36]. В последнее время появились публикации, либо поддерживающие физико-астрономический базис этой модели [Isaev et al., 2007; Toulboat et al., 2015 и др.], либо отстаивающие идею о насыщенности водородом ядра и мантии Земли [Walshe, 2006].

Основной объем мантии, согласно модели В.Н. Ларина, представлен металлосферой, верхняя граница которой совпадает с подошвой литосферы (от 100—150 км под континентами до 30—0 км под океанами), а нижняя — с поверхностью внешнего ядра (подошва слоя D^{''}). Состоит металлосфера «из сплавов и соединений на основе кремния, магния, железа с добавками большого количества других элементов» [Ларин, 2005, с. 36]. Принципиально важным положением данной концепции является отсутствие в основном объеме МЗ кислорода, который практически полностью вынесен в сформированную литосферу, в то время как ядро Земли сохранило исходный состав планеты при существенных физико-геохимических различиях между внешним (водород — в виде раствора в металлах) и внутренним ядром, состоящим из гидридов металлов.

Согласно работе [Ларин, 2005], литосфера как внешняя оболочка твердой Земли, сложенная силикатами и оксидами, сформировалась в результате очистки металлосферы (в этой концепции она занимает место «каменной» оксидосиликатной мантии) от кислорода в результате продувки водородом, поступавшим (и поступающим периодически) из ядра вследствие перманентного (но, по-видимому, пульсирующего — А.Л., В.Ш.) разложения гидридов. (Здесь уместно вспомнить о раз-

работанной свыше 60 лет назад концепции А.П. Виноградова и А.А. Ярошевского происхождения внешних оболочек Земли вследствие процессов зонного плавления [Виноградов, 1959; Геологический..., 1978, с. 216]. Сходство и взаимосвязь этих процессов несомненна. Но водородная продувка — более универсальный и эффективный процесс фазово-геохимической дифференциации первичной мантии на бескислородную металлосферу и оксидосиликатную литосферу.) Более того, указанная дифференциация в сочетании с перманентной (хотя и неравномерной в геологическом пространственно-временном континууме) водородной дегазацией Земли закономерно обуславливает возникновение на границе литосферы и мантии-металлосферы астеносферного слоя переменной толщины, неуклонно нарастающего по мере эволюции Земли. В соответствии с этими представлениями возникновение астеносферы обусловлено кардинальными различиями в скоростях диффузии водорода в металлах и оксидах-силикатах, вследствие чего его восходящие потоки в значительной мере экранируются литосферой [Ларин, 2005].

Современные данные физики Земли, геохимии и петрологии позволяют предполагать дальнейшую эволюцию модели В.Н. Ларина, в частности допуская, что МЗ характеризуется более сложным, не статичным, а динамичным соотношением сегментов оксидосиликатной (алюмо)-кремний-кислородной мантии и металлосферы с первоначально восстановленными глубинными флюидами (водород, метан, азот и др.), окисление и геохимическая дифференциация которых происходила (и происходит) по мере сквозьмантийной перколяции, обусловленной процессами глубинной дегазации Земли [Шестопалов и др., 2018]. Именно такая модель (при соответствующем уровне ее разработки) будет наиболее адекватна данным сейсмотомографии и современным представлениям о геологии МЗ [Пушаровский, Пушаровский, 2010].

В пользу такой модели МЗ свидетель-

ствуют: особенности минерального и элементного состава кимберлитов и других гиперглубинных эксплозивных образований в диатремах, инъекции темноцветного пелитоморфного полиминерального вещества по стилолитизированным трещинами естественного фрекинга, зараженность пород глубоких сегментов нефтегазоносных бассейнов микро- и наночастицами самородных металлов, сплавов, карбидов, силицидов и других гео- и флюидодинамических показателей.

Весомым подтверждением изложенного является и недавняя первая находка природного гидрида ванадия (VH_2) в пирокластическом материале палеовулкана (гора Кармель) в Израиле [Bindi et al., 2019]. По мнению этих авторов, минеральный состав ксенолитов сформирован в результате взаимодействия мафических магм с водородом и метаном флюидов, поступивших из более глубокой, насыщенной металлами мантии. В их составе обнаружены агрегаты богатых ванадием шпинелей, сфероидальных и дендритовых включений металлического ванадия, а также включения гидрида ванадия.

В контексте этих данных становится понятным присутствие таких термодинамически запрещенных в условиях оксидосиликатной каменной оболочки Земли (не говоря уже о верхних горизонтах земной коры) как самородные оксифильные металлы, силициды и карбиды. Среди последних особый интерес представляет обнаружение микровключений карбида кальция в природных минеральных агрегатах, связанных с внедрением (супер)глубинных флюидов (углеродисто-карбонатные породы нижнепротерозойской шунгитовой формации Онежской мульды, крымские гераклиты, приштоковая эксплозивная брекчия соляных диапиров Днепровско-Донецкой впадины и др.) [Лукин, 2007].

В свете современных представлений гео- и флюидодинамики все указанные минеральные включения приобретают особое значение в качестве индикаторов состава глубинных геосфер [Лукин, 2007, 2009; Lukin, 2008].

Одному из них и посвящена данная статья. Речь идет о силициде железа, который, согласно новейшим справочникам по минералогии (Strunz, 8-е издание; Dana, 8-е издание и др.), является очень редким минералом, что не вполне понятно, если учесть ту роль, которую играют кремний и железо в химии и минералогии Земли.

Состояние изученности. Природный силицид железа был впервые установлен (Koll и др.) в 1980 г. в оливин-пижонитовом ахондрите — метеорите North Haig в микронных зернах в углеродистом веществе из интерстициальных трещин в силикатной матрице [Новгородова, 1983]. Этот новый минерал был назван зюсситом (в честь Ганса Эдварда Зюсса — известного американского физико-химика, лауреата премии Виктора Гольдшмидта, сына великого австрийского геолога Эдварда Зюсса). Позднее земной аналог зюссита был обнаружен М.И. Новгородовой, Р.Г. Юсуповым и др. в миндалекаменных субщелочных базальтоидах Средней Азии, а также Д. Данном и др. в составе мантийных сферул аллювиальных отложений на территории Китая [Новгородова, 1983]. Этот несомненно земной зюссит отличается от метеоритного упорядоченной кристаллической структурой и вдвое большей элементарной ячейкой, что дало ему статус нового минерального вида под названием гупеит [Новгородова, 1983]. Последнее относится конкретно к силициду железа Fe_3Si и не может считаться универсальным признаком всех силицидов железа земного происхождения, находки которых чрезвычайно редки. Микроструктурные включения зюссита, аналогичного по кристаллохимическим параметрам метеоритному зюсситу, были обнаружены [Лукин, 2005] в жилах миграционного шунгита (Карелия, пос. Шуньга) и в шунгитобазальте (Карелия, пос. Лебещино) (рис. 1).

Не вызывает сомнений и земное происхождение зюссита, обнаруженного в магматических брекчиях Воронежского кристаллического массива [Сафонов и др., 1995]. Здесь в северной части Тим-Ястребовской структуры в двух пробах-

протоколках брекчий норитов по керну скв. 22 (инт. 320—446 м) выявлены самородные металлы (золото, хром, железо, висмут), золото-кадмиевый и цинко-медный (природная латунь) сплавы, графит, нитрид хрома (микровключения в самородном хrome), карбид вольфрама, муассанит (α -SiC) и зюссит. Брекчии отнесены [Сафонов и др., 1995] к метаавтомагматическим полигенным образованиям (обломки норита и цемент пересекаются прожилками гранитного состава или замещаются кварц-полевошпатовыми агрегатами). Возраст норитовых метабрекчий (Rb—Sr метод) от 1985 ± 8 до 1972 ± 19 млн лет, гра-

нитов — 1915 ± 40 млн лет. Это (как и минерализация шунгитов) соответствует свекофенскому импульсу раннепротерозойской металлогенической активности, с которым связано разнообразное оруденение кристаллического фундамента древних платформ. В частности, Восточно-Европейская платформа характеризуется его интенсивным проявлением, с чем связано разнообразное редкометальное оруденение, включая Au, платиноиды, РЗЭ, W, Mo, Cd и др. По составу РЗЭ норитовые брекчии близки к толеитовым базальтам островных дуг. По-видимому, это вулканогенно-эксплозивные образо-

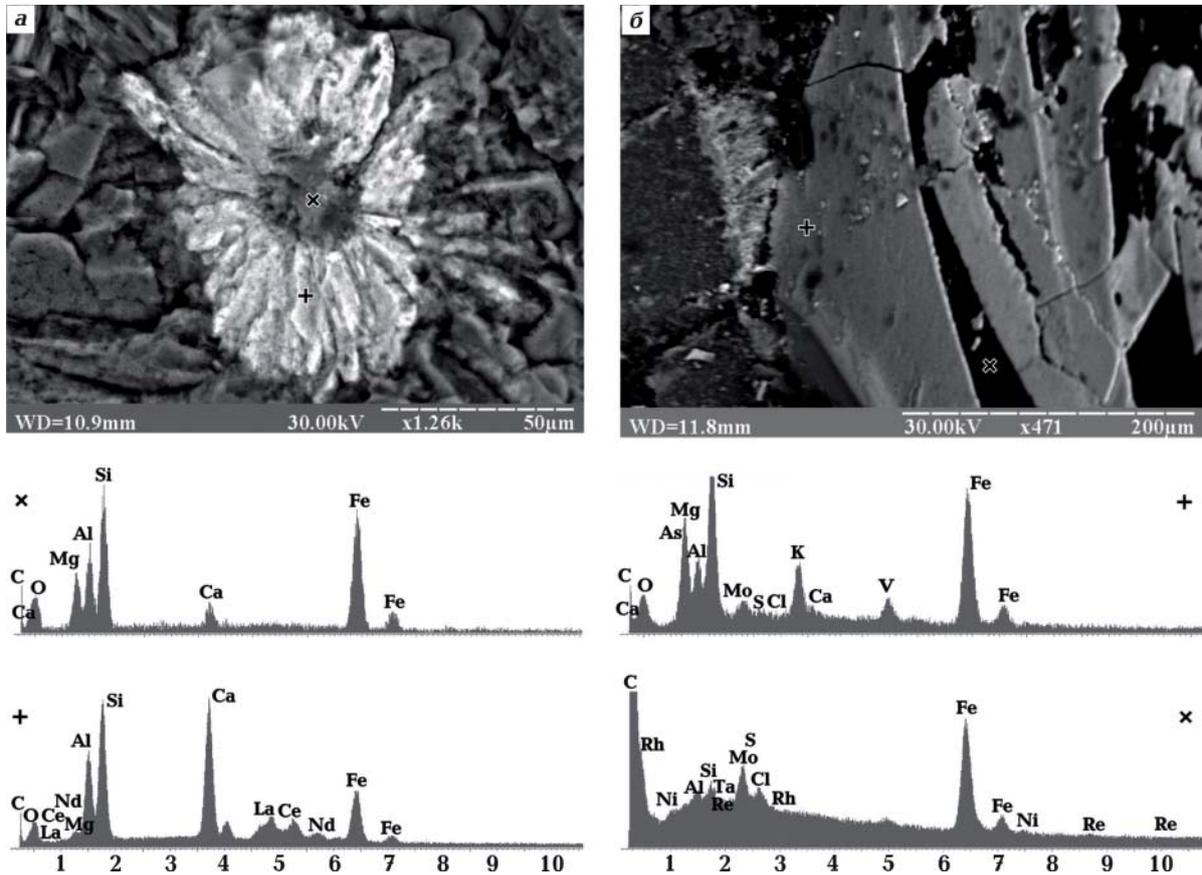


Рис. 1. Микровключения силицида железа в породах нижнепротерозойской шунгитовой формации (Карелия) [Лукин, 2005]: *а* — сферолитовое стяжение сложного состава (ядро — существенно зюсситовое (?), сферолитовая оболочка — плагиоклазовая) в шунгитобазальте (м. Лебещино); *б* — кристаллы силицида железа (зюссит ?) в миграционном шунгите (п. Шуньга) (растровый электронный микроскоп с рентгено-спектральным зондом РЭМ-106).

Fig. 1. Micro inclusions of iron silicide in rocks of the Lower Proterozoic shungite formation (Karelia) [Lukin, 2005]: *a* — spherulite concretion of complex composition (core – is essentially composed of suessite (?), spherulite shell — consists of plagioclase) in shungite basalt (Lebeschino village); *b* — crystals of iron silicide (suessite ?) in migrated shungite (Shunga village) (scanning electron microscope with X-ray spectral probe REM-106).

вания, локализованные в одной из многочисленных диатрем Воронежского массива и зон его сочленения с Припятской и Днепровско-Донецкой впадинами, а также Донбассом.

Вышеупомянутая находка (М.И. Новгородова, Р.Г. Юсупов и др.) земного силицида железа — гупейта в составе редкометалльного эпимагматического оруденения связана с верхнепалеозойским магматизмом в Чаткало-Кураминской зоне в Средней Азии [Игамбердиев и др., 2016]. Он присутствует в парагенезе с самородными металлами (Pt и платиноиды, Cr, Ni, Au—Ag сплавы и т. д.), минералами углерода (шунгит, графит, алмазы), карбидами металлов (хамрабаевит, муассанит). Таким образом, и здесь достаточно четко проявляется связь силицида железа, а также карбидов, самородных металлов и сплавов с explosивно-магматическими процессами.

В генетическом отношении весьма показательным присутствием силицида железа в гераклитах — специфических по облику, текстурно-структурным особенностям, минеральному составу и геохимии шлакоподобных включениях в миоценовых известняках Юго-Западного Крыма [Лукин и др., 2006]. Они характеризуются аномальным по разнообразию (свыше 30 минералов) минеральным составом, среди которых, наряду с различными оксидами, силикатами, карбонатами, сульфатами, фосфатами, сульфидами, графитом и серой, присутствуют самородные металлы (Fe, Cu, Sn, Pb, Ag, Ti, Zn, Al), природные сплавы и интерметаллиды (Fe—Ti, Sn—Sb, Sn—Zn, Fe—Ni, Cu—Zn—Ni—Mn, Zn—Cu), карбиды (карбид Fe, карбид Fe и Ti, карбид Ca). Это сочетается с изотопно-геохимической спецификой (аномально тяжелый углерод). Указанные минералогические и геохимические особенности гераклитов свидетельствуют о связи исходного гераклитобразующего вещества с (супер)глубинными флюидами. Первоначально предполагалось, что эти флюиды являются дериватами верхнемантийных очагов щелочно-ультраосновного магматизма [Лукин и др., 2006]. Однако, учиты-

вая указанные изотопно-геохимические особенности и специфику минерального состава, в частности, наличие силицидов и карбидов, включая «забронированные» в карбонатном (арагонит-магнезиально-кальцитовом) веществе включения карбида кальция, можно предположить связь гераклитобразующих флюидов с еще более глубокими очагами explosивно-флюидного режима.

Возможно гераклитобразующие флюиды, а также инъекции темноцветного пелитоморфного полиминерального вещества по стилолитизированным трещинам флюидоразрыва [Лукин, 2000] более полно, по сравнению с explosивно-магматической минерализацией, отражают состав мантии — металлосферы. Преобладающее в составе гераклитов карбонатное вещество (свыше 80 %), представленное наряду с кальцитом и доломитом такими метастабильными фазами, как арагонит, Mg-кальцит, моногидрокальцит, баритокальцит, в сочетании с кремнеземом и разнообразными дисперсными самородно-металлическими частицами (при большой роли разнообразных природных сплавов) можно рассматривать как преобразованное вещество металлосферы (в понимании В.Н. Ларина). С этой точки зрения отмеченная в гераклитах примесь карбидов и силицидов, как и самородных металлов и сплавов, это лишь незначительные по размерам и количеству его реликты.

Материал и метод. В связи с вышесказанным особый интерес, несмотря на отсутствие сведений о коренном залегании (первоначальном коллекторе), представляет находка фрагмента явно нетехногенного минерального карбид-силицидового агрегата [Лукин, Новгородова, 1994]. Этот металлоподобный предмет (первоначальные размеры 65×22×10 мм) был обнаружен на территории Черниговского архитектурно-исторического заповедника (ЧАИЗ) на глубине ~1 м в слое супеси, перемешенной с обломками кирпичей и плинфы разного возраста. К характерным свойствам данного тела, привлекшего к себе внимание своим необычным обликом и ставшего

объектом исследований [Лукин, Новгородова, 1994], относятся: металлический блеск, магнитность, большая плотность (в среднем около $6,6 \text{ г/см}^3$), гетерогенная (крупнопластинчатая и мелкозернистая) структура и четко выраженное зональное строение (рис. 2). Одна из внешних поверхностей слегка искривлена, отличается легкой побужалостью (со слабым голубовато-зеленоватым оттенком) и наличием струйчато-бороздчатых скульптурных элементов, напоминающих регмаглипты (рис. 3). Остальная поверхность носит характер неправильных сколов без признаков оплавления или окисления. Это позволяет предположить, что исследуемый образец является фрагментом (обломком) более крупного тела.

Внешняя (если рассматривать регмаглиптоподобную поверхность как первичную) зона толщиной 2—21 мм отличается мелкозернистой структурой; внутренняя, толщиной 15 мм, имеет крупнопластинчатое строение. Во внутренней и внешней зонах присутствуют редкие мелкие (доли миллиметра) округлые пустоты.

По валовому химическому составу внутренняя и внешняя зоны близки друг другу [Лукин, Новгородова, 1994, табл. 1, с. 75]. От каменных и железокатенных метеоритов исследуемый образец отличается отсутствием кислорода, а от железных метеоритов — незначительным содержанием никеля и повышенным — кремния во внутренней зоне образца. По сравнению с усредненным составом примитивных хондритов [Виноградов, 1959] установлено обогащение исследуемого вещества примесями As на три порядка; В, Sr, Nb, Pb, Y на два порядка; Mo, Yb, Ti, P, V, Zr на порядок и обеднение Mg, S, Ni на два порядка. Содержания углерода, на один-два порядка превышающие среднее для хондритов, не выходят за пределы концентраций, известных для железных метеоритов, углистых хондритов и уреилитов (оливин-пижонитовых ахондритов).

Внутренняя зона образца (см. рис. 2) сложена крупнопластинчатыми агрегатами силицида железа — зюссита, как уже

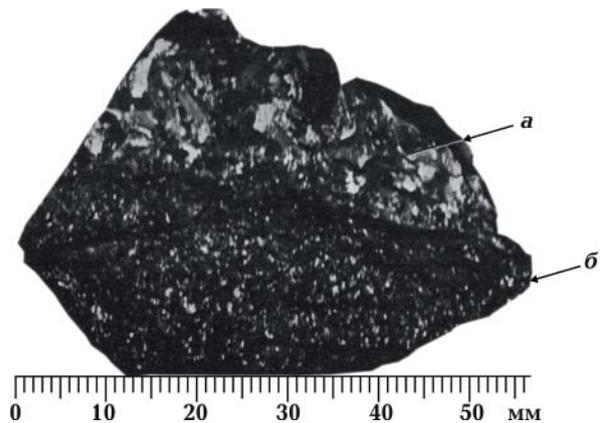


Рис. 2. Двухслойное строение объекта исследований: *a* — внутренняя пластинчато-кристаллическая зона (зюссит с примесью муассанита) [Лукин, Новгородова, 1994]; *б* — внешняя мелкозернистая зона (графит — хамрабаевит — зюссит), ограниченная поверхностью со струйчато-бороздчатым микрорельефом.

Fig. 2. Two-layer structure of the object under investigation: *a* — inner lamellar-crystalline zone (suessite with moissanite admixture) [Lukin, Novgorodova, 1994]; *b* — outer fine-grained zone (graphite — khamrabaevite — suessite), bounded by the surface with striated and grooved micro relief.

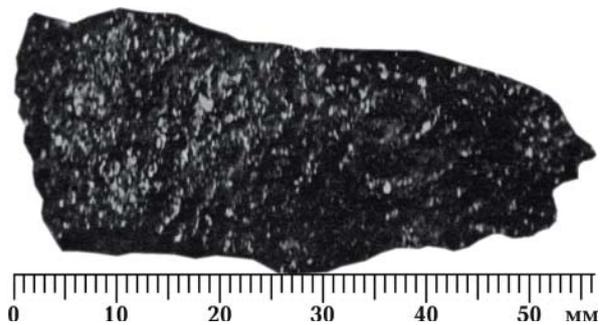


Рис. 3. Поверхность со струйчато-бороздчатыми образованиями типа регмаглиптов [Лукин, Новгородова, 1994].

Fig. 3. Surface with striated and grooved formations of regmaglypt type [Lukin, Novgorodova, 1994].

отмечалось, впервые установленного (Koll и др.) в 1980 г. в оливин-пижонитовом ахондрите North Haig в микронных зернах среди углеродистого вещества из интерстициальных трещин в силикатах [Новгородова, 1983].

Внешняя мелкозернистая зона образца имеет полиминеральный состав, определяемый сростками силицида железа (зюссит), карбида титана (хамрабаевит),

карбида кремния (муассанит), графита и возможно других полиморфов углерода. Хамрабаевит данного объекта отличается повышенными концентрациями V; обобщенная формула — $(\text{Ti}_{0,7}\text{V}_{0,3})\text{C}$. Графит, распространенный в удлинённых лейстах среди зюссита во внешней зоне, сопровождается мелкими (доли миллиметра) скоплениями плохо полируемого углеродистого вещества, фазовый состав которого не определен. Присутствующий на дифрактограммах образца интенсивный, но плохо разрешимый широкий максимум вблизи 4Å -отражений позволяет предполагать наличие среди таких скоплений цепочечных полиморфов углерода типа карбинов.

В целом, для исследованного образца характерна аномальная геохимическая ассоциация, в которой сочетаются сидеро-, лито- и халькофильные элементы. Углерод внешней зоны $\delta^{13}\text{C}$ заметно обогащен легким изотопом ($-27,2\%$) по сравнению с внутренней зоной ($-24,8\%$).

Дискуссия. Можно усмотреть определенную аналогию этой черниговской находки с джозефинитом [Штрюбель, Циммер, 1987]. Это найденный в продуктах размыва серпентинизированного ультраосновного интрузивного массива в округе Джозефин (штат Орегон) «валун» (~10 см), состоящий из тэнита (никелистое железо: $\gamma\text{-Fe}$, содержащее до 30 % Ni) (20—45 %), аваруита Ni_3Fe (55—75 %) и небольших количеств энстатита, оливина и андратита. Необычность джозефинита заключается не только в размерах, но и в том, что тэнит, согласно современным данным [Штрюбель, Циммер, 1987], встречается только в метеоритах, тогда как в данном случае связь его с офиолитовой формацией несомненна. Учитывая условия его залегания среди продуктов эрозии серпентинизированного ультрабазитового, по-видимому, протрузионного массива, нельзя объяснить его «валунообразный» габитус речным окатыванием. По-видимому, он изначально имел округлую форму тела и можно предположить его взрывную природу. Возникает вопрос: какая геосфера послужила источником этой самородно-

железной «бомбы»? Если исходить из общепринятых представлений о строении Земли, то соответствующая природе джозефинита трубка взрыва связана с сквозь-мантийным каналом с пониженной вязкостью. Существование таких каналов с повышенной флюидной проницаемостью, которые соединяют внешнее ядро и слой D' с литосферой, т. е. являются связующим звеном между нижней и верхней астеносферами, предполагалось в работе [Артюшков, 1979]. Однако возможен (и, вероятно, более реалистичен) другой вариант, который наряду с данными о распространении в породах литосферы самородно-металлических частиц и их спутников (карбидов, силицидов и др.) [Лукин, 2006, 2009] подтверждает концепцию металлосферы — геосферы, которая, согласно [Ларин, 2005], включает уровни 400, 600 и 1050 км (скачки скоростей прохождения сейсмических волн) и сложена на 90 % силицидами магния и железа, а также карбидами, самородными металлами и их сплавами. Согласно В.Н. Ларину, в зонах континентального и океанического рифтогенеза возникают «аномально-мантийные диапиры интерметаллических силицидов» [Ларин, 2005, с. 224], «языки» («клинья» — А.Л., В.Ш.) которых проникают в близповерхностные слои земной коры.

Что касается черниговского карбид-силицидового объекта, то в статье [Лукин, Новгородова, 1994] рассмотрены разные варианты генезиса данного объекта и сделан вывод о его метеоритной природе. Это вызвало возражения ведущего специалиста Украины по минералогии метеоритов В.П. Семененко. Возвращаясь к этому вопросу, авторы настоящей публикации предполагают его земную взрывную природу. Возможность мощных взрывов при реакции аномально-мантийных (металлосферных) диапиров интерметаллических силицидов с водой в зонах рифтогенеза на континентах обоснована в работе [Ларин, 2005]. Примесь K, Na, Ca в зюссите черниговского объекта [Лукин, Новгородова, 1994, табл. 1, с. 73] свидетельствует о возможном парагенезе сили-

цидов переходных металлов с силицидом щелочных и щелочноземельных металлов, которые бурно со взрывом реагируют с водой с образованием силанов [Ларин, 2005]. Это вероятный механизм глубинно-эксплозивных процессов, индикатором которых являются различные по размерам и структурно-минералогическим особенностям включения силицида железа. Более того, только глубинно-эксплозивными процессами можно объяснить неравномерно-интенсивную зараженность глубоководных пород сегментов нефтегазоносных бассейнов, залегающих над мантийными диапирами (плюмами) частицами самородных металлов, сплавов, а также карбидов и силицидов [Лукин, 2006, с. 17].

Место обнаружения карбид-силицидового (хамрабаевит-зюсситового) агрегата (территория ЧАИЗ) расположено над Черниговским палеовулканом (поздний девон), кальдера которого залегает на значительных глубинах. Он приурочен к Североукраинской трансрегиональной мегазоне активизации [Атлас..., 2010], включающей северную часть Волынского палеозойского поднятия (Ковельского выступа) — Припятскую горсто-грабенную зону, область сочленения Припятской и Днепро-Донецкой впадин с Украинским щитом, Брагинско-Лоевский выступ, а также северо-западный сегмент Воронежского массива. Здесь отмечены различные признаки разновозрастной (протерозой — кайнозой, включая нео- и актуотектонический этапы) тектонотермальной активизации с эксплозивными проявлениями. В частности, известны такие проявления по близости на территории Беларуси в зонах разломов северо-восточного простирания, участвовавших в формировании рифейско-вендского Вольно-Оршанского рифта и активизированных в палеозое [Айзберг и др., 2011; Штефан, 2000]. Здесь, в т. н. Северо-Припятском районе, обнаружено 32 эксплозивные трубки, заполненные щелочно-ультраосновными и щелочно-базальтоидными группами пород. Оценка глубины зарождения расплавов, судя по наличию в ксенолитах

хром-пиропов, гранатовых и шпинелевых ультрамафитов, достигает 150 км. Приуроченность этого скопления эксплозивных трубок к северному борту Припятского рифтогена позволяет предполагать возможность возникновения подобных структур и на его южном обрамлении.

Уместно отметить, что при строительстве соборов и других зданий на территории ЧАИЗ наряду с плинфой и кирпичом использовались плиты овручских кварцитов и пироксилитовых сланцев северной части Украинского щита. Можно предполагать, что именно с этим сегментом Северо-Украинской мегазоны активизации связано первоначальное местоположение черниговской находки. Действительно, структурные элементы субширотного и северо-восточного простирания в северном пограничьи Украинского щита в районе Овруча прослеживаются от палеопротерозоя с доплатформенным формированием осницкого комплекса с широким включением глубинных габбро, через субширотную платформенную структуру габбро и габбро-анортозитов среднего протерозоя к субширотному Овручскому грабену (мини-рифту) девонского возраста [Полетаев и др., 2013]. Западнее этого региона, но в непосредственной близости, сохранилась базальтовая толща рифейского траппового магматизма и проявления кимберлитовой взрывной активизации. Вскрытая скважиной в с. Кухотская Воля кимберлитовая трубка разбита разрывными нарушениями на небольшие блоки. В пределах части из них сохранились силурийские породы, отсутствующие на территориях за пределами трубки. И, наконец, в этом же районе, немного севернее, мощный разлом с суммарной амплитудой сброса 3,5 км привел в контакт протерозойские породы Украинского щита и карбоновые осадочные отложения Припятской впадины. Выявленные здесь вдоль широтных и северо-восточных разрывных нарушений многочисленные участки катаклаза и милонитизации свидетельствуют о периодически возникавших условиях сильного давления и сжатия [Геологическая..., 1973].

Такая аномальная геодинамическая обстановка, периодически возникавшая в этом районе в течении длительной геологической истории, по-видимому, способствовала возникновению вертикальных взрывных структур сверхглубинного заложения. Как видим, область сочленения Припятско-Днепровско-Донецкого палеорифта и Украинского щита благоприятна для формирования таких металлосферных диапиров.

Выводы. Можно по-разному относиться к гипотезе В.Н. Ларина, но ее проверка с учетом приведенных выше фактических

данных имеет первостепенное значение как в теоретическом, так и в практическом отношениях. Это приобретает особую актуальность в связи с проблемой освоения эндогенных источников водорода [Ларин, 2005; Шестопалов и др., 2018].

При поисках клинообразных тел силицидов в зонах (палео)рифтовых разломов большую роль могут сыграть геофизические исследования и, в частности, электромагнитные методы, поскольку с диапирами интерметаллических силицидов должны быть связаны интенсивные магнитные аномалии.

Список литературы

- Айзберг Р.А., Гарецкий Р.Г., Карабанов А.К. Карта выклинивания — основа тектонической модели платформенного чехла Беларуси. Современное состояние наук о Земле: Материалы междунар. конференции, посвященной памяти В.Е. Хаина. Москва: Изд-во МГУ, 2011. С. 8—11.
- Артюшков Е.В. Геодинамика. Москва: Наука, 1979. 320 с.
- Атлас: геологія та корисні копалини України. Мінерагенічне районування. Гол. ред. Л.С. Галецький. Київ: Геос-XXI століття, 2010. 115 с.
- Виноградов А.П. Химическая эволюция Земли. Москва: Изд-во АН СССР, 1959. 47 с.
- Геологическая карта СССР. М. 1:200 000, лист М-35-5. Объяснительная записка. Геол.-картограф. партия трета «Киевгеология». Исп. Ролик А.Г., Почтаренко В.И., Приходько В.С., Лепигов Г.Д. Киев, 1973.
- Геологический словарь в 2 т. Ред. А.Н. Криштофович. Москва: Недра, 1978. Т. 1. 486 с.
- Игамбердиев Э.Э., Юсупов Р.Г., Азизов А.М. Верхнепалеозойский магматизм: геолого-генетическая модель эпимагматогенного оруденения (Чаткало-Кураминская зона). *Разведка и охрана недр*. 2016. № 3. С. 21—26.
- Ларин В.Н. Наша Земля. Москва: Агар, 2005. 247 с.
- Лукин А.Е. Инъекции глубинного углеводородно-полиминерального вещества в глубоководных породах нефтегазоносных бассейнов: природа, прикладное и гносеологическое значение. *Геол. журн.* 2000. № 2. С. 7—21.
- Лукин А.Е. О включениях природного соединения кальция и углерода в минеральных образованиях, связанных с внедрением суперглубинных флюидов. *Доп. НАН України*. 2007. № 1. С. 122—130.
- Лукин А.Е. О происхождении шунгитов. *Геол. журн.* 2005. № 4. С. 28—47.
- Лукин А.Е. Самородно-металлические микро- и нановключения в формациях нефтегазоносных бассейнов — трассеры суперглубинных флюидов. *Геофиз. журн.* 2009. Т. 31. № 2. С. 61—92.
- Лукин А.Е. Самородные металлы и карбиды — показатели состава глубинных геосфер. *Геол. журн.* 2006. № 4. С. 17—46.
- Лукин А.Е., Лысенко В.И., Лысенко Н.И., Наумко И.М. О природе гераклитов. *Геолог Украины*. 2006. № 4. С. 23—39.
- Лукин А.Е., Новгородова М.И. О находке силицида железа внеземного происхождения. *Докл. АН СССР*. 1994. Т. 334. № 1. С. 73—76.
- Маракушев А.А. Происхождение Земли и природа ее эндогенной активности. Москва: Наука, 1999. 255 с.
- Новгородова М.И. Самородные металлы в гидротермальных рудах. Москва: Наука, 1983. 287 с.

- Планета Земля: Энциклопедический словарь. Тектоника и геодинамика. Ред. Л.И. Красный, О.В. Петров, Б.А. Блюман. Санкт-Петербург: Изд. ВСЕГЕИ, 2004. 648 с.
- Полетаев В.И., Великанов В.А., Клочков В.М., Михницкая Т.П. Стратиграфия овручской серии Украинского щита в связи с признанием ее палеозойского возраста. *Геол. журн.* 2013. № 3. С. 33—43.
- Пуцаровский Ю.М., Пуцаровский Д.Ю. Геология мантии Земли. Москва: ГЕОС, 2010. 138 с.
- Сафонов Ю.Г., Белов А.Н., Галямов А.Л., Генкин А.Д., Подлесский К.В. Самородные металлы, карбиды и нитриды в магматических брекчиях Воронежского массива, их природа и металлогеническое значение. *Информ. бюллетень РФФИ.* 1995. № 3.
- Семененко Н.П. Кислородно-водородная модель Земли. Киев: Наук. Думка, 1990. 240 с.
- Шестопалов В.М., Лукин А.Е., Згонник В.А., Макаренко Л.Н., Ларин Н.В., Богуславский А.С. Очерки дегазации Земли. Киев: Изд. Ин-та геолог. наук НАН Украины, 2018. 632 с.
- Штефан Л.В. Петрология щелочно-ультраосновного магматизма Жлобинского поля (Беларусь) в связи с его возможной алмазонасностью: Автореф. дис. ... канд. геол. наук. Минск, 2000. 28 с.
- Штрюбель Г., Циммер З. Минералогический словарь. Москва: Недра, 1987. 493 с.
- Bindi, L., Cámara, F., Griffin, W.L., Huang, J.X., Gain, S.E.M., Toledo, V., & O'Reilly, S.Y. (2019). Discovery of the first natural hydride. *American Mineralogist*, 104(4), 611—614. <https://doi.org/10.2138/am-2019-6949>.
- Isaev, E.I., Skorodumova, N.V., Ahuja, R., Vekilov, Y.K., & Johansson, B. (2007). Dynamical stability of Fe—H in the Earth's mantle and core regions. *Proc. of the National Academy of Sciences of the USA*, 104, 9168—9171. <https://doi.org/10.1073/pnas.0609701104>.
- Larin, V.N. (1993). *Hydric Earth*. Alberta: Polar publishing, 310 p.
- Lukin, A. (2008). Tracers of super deep fluids in petroliferous reservoirs: *The 33 International Geological Congress, Oslo, 2008. 6^{3/4}14 August (GEP-13304L Abiotic deep origin of hydrocarbons: Myth or reality?)*. CD-ROM. 33IGC.
- Toulboat, H., Beaumont, V., Zgonnik, V., Larin, N.V., & Larin, V.N. (2015). Chemical Differentiation of Planets: A Core Issue. arXiv Available at: <http://arxiv.org/abs/1208.2909v2>.
- Walshe, J.L. (2006). Degassing of hydrogen from the Earth's core and related phenomena of system Earth. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70(18), A684—A684. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2006.06.1490>.

Ferrosilicide as indicator of mineral composition of the Earth mantle?

A.E. Lukin¹, V.M. Shestopalov^{1,2}, 2020

¹Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine

²Scientific Engineering Center for Radiohydrogeo-ecological Polygon Research of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine

The creation of plausible model of the Earth mantle is the urgent problem. Now there are different its models. According to canonical model of the Earth mantle it is rock oxide-silicate cover (the majority of geologists and geophysicists have adhered to the idea of iron core and rock mantle of oxide-silicate by mineral and aluminum-silicon-oxygen by chemical composition). The model suggested by V.N. Larin differs fundamentally from the canonical model. It is based on assumptions of primordially hydride Earth. According to his proposal the main volume of the Earth mantle is represented by metals-sphere to be consisted of alloys and inter-metallic substances on the base of Si, Mg, Fe with ad-

ditions of various elements (carbon, different metals). Metals-sphere had been formed as a result of hydrogen blowing bearing pulsed-permanent mode. This allow to suggest more complicated not static but dynamic interrelation of segments of oxide-silicate Earth mantle and metals-sphere with initially reduced fluids. Their oxidation and geochemical differentiation occurred (and is occurring) as through-mantle percolation to be caused by the Earth deep degassing. In this connection the inclusions of native oxyphyle metals and their alloys, intermetallides, silicides and carbides have assumed great significance as the indicators of extra-reductive waterless (super)deep fluids.

Among them one ought to mention ferrosilicides — the direct guide to metals-sphere derivatives. Detection and mapping of intermetallic-silicide diapirs is of fundamental importance for approach to the problem of development to commercial level of endogenous hydrogen sources.

Key words: the Earth mantle, metals-sphere, ferrosilicide, diapirs of intermetallic silicides.

References

- Ayzberg, R.A., Garetsky, R.G., & Karabanov, A.K. (2011). The map of wedging — the base of genetic model of platform cover of Belarussia. Modern state of the Earth sciences: Materials of Int. conference devoted to the memory of V.E. Khain (pp. 8—11). Moscow: Moscow Univer. Press (in Russian).
- Artyushkov, E.V. (1979). *Geodynamics*. Moscow: Nauka, 320 p. (in Russian).
- Galetsky, L.S. (Ed.). (2010). *Atlas: geology and minerals of Ukraine. Mineragenic division into districts*. Kyiv: Heos-XXI stolittya, 115 p. (in Ukraine).
- Vinogradov, A.P. (1959). *Chemical evolution of the Earth*. Moscow: Publ. House of the USSR Academy of Sciences, 47 p. (in Russian).
- Geological map of USSR. Scale: 1:200 000, district M-35-5. Explanatory note. (1973). Executor, A.G. Rolic, V.I. Pochtarenko, V.S. Prikhodko, G.D. Lepigov. Geol-mapping prospecting party of trust Kievgeology (in Russian).
- Krishtofovich, A.N. (1978). *Geological dictionary in 2 volumes*. Vol. 1. Moscow: Nedra, 486 p. (in Russian).
- Igamberdiev, E.E., Yusupov, R.G., & Azizov, A.M. (2016). Upper Paleozoic magmatism: geology-genetical model of epimagmatic ore-bearingness (Chatkalo-Kuraminskaya zone). *Razvedka i okhrana nedr*, (3), 21—26 (in Russian).
- Larin, V.N. (2005). *Our Earth*. Moscow: Agar, 247 p. (in Russian).
- Lukin, A.E. (2000). Injection of depth hydrocarbon-polymineral matter in deep-lying rocks of petroliferous basins: nature, applied and gnosiological meaning. *Geologicheskii zhurnal*, (2), 7—21 (in Russian).
- Lukin, A.E. (2007). On inclusions of natural compound of calcium and carbon in natural mineral aggregates — productions of superdeep fluids injections. *Dopovidi NAN Ukrayiny*, (1), 122—130 (in Russian).
- Lukin, A.E. (2005). On genesis of shungites. *Geologicheskii zhurnal*, (4), 28—47 (in Russian).
- Lukin, A.E. (2009). Native-metallic micro- and nanoinclusions in the formations of petroliferous basins — trassers of super-deep fluids. *Geofizicheskii zhurnal*, 31(2), 61—92 (in Russian).
- Lukin, A.E. (2006). Native metals and carbides — indicators of deep geospheres composition. *Geologicheskii zhurnal*, (4), 17—46 (in Russian).
- Lukin, A.E., Lysenko, V.I., Lysenko, N.I., & Naumko, I.M. (2006). On nature of geraclites. *Geolog Ukrainy*, (4), 23—39 (in Russian).
- Lukin, A.E., & Novgorodova, M.I. (1994). On finds of ferro-silicide of extraterrestrial origin. *Doklady AN USSR*, 334(1), 73—76 (in Russian).
- Marakushev, A.A. (1999). *Origin of the Earth and the nature of its endogenic activity*. Moscow: Nauka, 255 p. (in Russian).
- Novgorodova, M.I. (1983). *Native metals in hydrothermal ores*. Moscow: Nauka, 287 p. (in Russian).
- Krasnyy, L.I., Petrov, O.V., Blyuman, B.A. (Eds.). (2004). *The planet Earth: The encyclopedic ref-*

- erence book. *Tectonics and geodynamics*. St. Petersburg: Edition of VSEGEI, 648 p. (in Russian).
- Poletaev, V.I., Velikanov, V.A., Klochkov, V.M., & Michnitskaya, T.P. (2013). Stratigraphy of ovruch formation of Ukrainian shield as the unit really paleozoicum in age. *Geologicheskii zhurnal*, (3), 33—43 (in Russian).
- Pushcharovskiy, Yu.M., & Pushcharovskiy, D.Yu. (2010). *Geology of the Earth Mantle*. Moscow: GEOS, 138 p. (in Russian).
- Safonov, Yu.G., Belov, A.N., Galyamov, A.L., Genkin, A.D., & Podlesskiy, K.V. (1995). Native metals, carbides and nitrides in magmatic breccias of Voronezh massif, their nature and mineragenic meaning. *Informatsionnyy byulleten' RFFI*, (3) (in Russian).
- Semenenko, N.P. (1990). *Oxygen-hydrogen model of the Earth*. Kiev: Naukova Dumka, 240 p. (in Russian).
- Shestopalov, V.M., Lukin, A.E., Zgonnik, V.A., Makarenko, L.N., Larin, N.V., Boguslavskiy, A.S. *Essays on the Earth degassing*. Kiev: Ed. of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 632 p. (in Russian).
- Stefan, L.V. (2000). Petrology of alkali-ultrabasic magmatism of Zhlobin field (Belarus) in connection of its possible diamondiferous potential: *Extended abstract of candidate's thesis*. Minsk, 28 p. (in Russian).
- Shtrubel, G., & Tzimmer, Z. (1987). *Mineralogical dictionary*. Moscow: Nedra, 493 p. (in Russian).
- Bindi, L., Cámara, F., Griffin, W.L., Huang, J.X., Gain, S.E.M., Toledo, V., & O'Reilly, S.Y. (2019). Discovery of the first natural hydride. *American Mineralogist*, 104(4), 611—614. <https://doi.org/10.2138/am-2019-6949>.
- Isaev, E.I., Skorodumova, N.V., Ahuja, R., Vekilov, Y.K., & Johansson, B. (2007). Dynamical stability of Fe—H in the Earth's mantle and core regions. *Proc. of the National Academy of Sciences of the USA*, 104, 9168—9171. <https://doi.org/10.1073/pnas.0609701104>.
- Larin, V.N. (1993). *Hydric Earth*. Alberta: Polar publishing, 310 p.
- Lukin, A. (2008). Tracers of super deep fluids in petroliferous reservoirs: *The 33 International Geological Congress, Oslo, 2008. 6^{3/4}14 August (GEP-13304L Abiotic deep origin of hydrocarbons: Myth or reality?)*. CD-ROM. 33IGC.
- Toulboat, H., Beaumont, V., Zgonnik, V., Larin, N.V., & Larin, V.N. (2015). Chemical Differentiation of Planets: A Core Issue. arXiv Available at: <http://arxiv.org/abs/1208.2909v2>.
- Walshe, J.L. (2006). Degassing of hydrogen from the Earth's core and related phenomena of system Earth. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70(18), A684—A684. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2006.06.1490>.

Силіцид заліза — показник мінерального складу мантії Землі?

О.Ю. Лукін¹, В.М. Шестопапов^{1,2}, 2020

¹Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна

²Науково-інженерний центр радіогідрогеоекологічних полігонних досліджень НАН України, Київ, Україна

Головним завданням наук про Землю є створення достовірної моделі мантії Землі. На сьогодні існують її різні моделі. Згідно із канонічною моделю, якою керуються більшість геофізиків і геологів, мантія Землі — це оксидно-силікатна «кам'яна оболонка» за мінеральним складом, алюмокремнієкиснева — за хімічним складом. Від неї кардинально відрізняється модель мантії Землі, яку запропонував В.М. Ларін на основі гіпотези первісно гідридної Землі. Відповідно до цієї гіпотези, основний обсяг мантії Землі представлений металосферою, що складається зі сплавів та інтерметалідів на основі силіцію, магнію, заліза з домішками великої різноманітності інших

елементів (вуглець, різні метали). Металосфера сформувалася в результаті водневої продувки, імпульсно-перманентний характер якої дає змогу припустити, що мантія Землі характеризується складнішим, не статичним, а динамічним співвідношенням сегментів оксидно-силікатної мантії і металосфери з первісно відновленими флюїдами, окиснення і геохімічна диференціація яких відбувалася (і відбувається) в міру кризьмантійної перколяції, зумовленої процесами глибинної дегазації Землі. У зв'язку з цим особливого значення в сенсі підтвердження реальності зазначених процесів набувають включення мінералів-індикаторів (самородних оксифільних металів та їх сплавів, інтерметалідів, силіцидів, карбідів) різко відновлювального безводного середовища кристалогенезу в гідроксил- і водовмісних мінеральних агрегатах. Таким мінеральним індикатором складу глибинних геосфер, земні знахідки якого, можливо, доводять існування металосфери, є силіцид заліза. Виявлення діапирів інтерметалевих силіцидів має першорядне значення для вирішення проблеми промислового освоєння ендегенних джерел водню.

Ключові слова: мантія Землі, металосфера, силіцид заліза, діапіри інтерметалевих силіцидів.