

11. Левашов С. П., Якимчук М. А., Корчагин И. М. та ін. Про можливість виявлення та картування зон підвищеного газонасичення вугілля та гірських порід геоелектричними методами // Там само. – 2005. – № 3. – С. 19–23.
12. Левашов С. П., Якимчук Н. А., Корчагин И. Н., Пицаный Ю. М. Изучение строения кристаллического массива геоэлектрическими методами в восточной части Коростенского плутона // Там же. – 2005. – № 4. – С. 20–23.
13. Левашов С. П., Якимчук Н. А., Красножон М. Д., Полищев А. В., Сергей Г. Б., Корчагин И. Н. Геоэлектрические исследования на Нарижнянском и Октябрьско-Ворсклянском участках ДДВ / Материалы V Междунар. науч. конф. “Мониторинг опасных геологических процессов и экологического состояния среды”, Киев, 7–9 окт. 2004 г. – Киев: ИПЦ “Киевский университет”, 2004. – С. 73–75.
14. Левашов С. П., Якимчук М. А., Корчагин И. М. Перспективи використання геоелектричних методів для підвищення ефективності геолого-геофізичних досліджень при пошуках покладів вуглеводнів / Матеріали наук.-практ. конф. “Перспективи нафтогазоносності глибоко занурених горизонтів осадових басейнів України”, Яремче, Україна, 20–23 вер. 2005 р. – Івано-Франківськ, 2005. – С. 172–180.
15. Атлас родовищ нафти і газу України в шести томах. Т. 3. Східний нафтогазоносний регіон. – Львів, 1999. – С. 932–1416.

*Институт прикладных проблем экологии,  
геофизики и геохимии, Киев  
Центр менеджмента и маркетинга в области  
наук о Земле Института геологических наук  
НАН Украины, Киев  
Институт геофизики им. С. И. Субботина  
НАН Украины, Киев*

*Поступило в редакцию 01.02.2006*

УДК 553.98:550.4:551.21:549.214

© 2007

Член-корреспондент НАН Украины **А. Е. Лукин**

## **О включениях природного соединения кальция и углерода в минеральных образованиях, связанных с внедрением суперглубинных флюидов**

*The paper deals with the discovery of a natural compound of calcium and carbon within some specific polymineral aggregates connected with the fast ascending movement of super-deep fluids and with intrusions of them into the Litosphere upper layers. Signs of the presence of different carbides of metals generally and calcium carbide, in particular, are of great multiaspect significance.*

Начало XXI века ознаменовалось в науках о Земле существенной переоценкой роли суперглубинных флюидов как непосредственного фактора процессов тепломассопереноса в верхней мантии и земной коре. Во второй половине XX века в работах по нелинейной металлогении (в понимании А. Д. Щеглова) и абиогенному генезису нефти в качестве основного источника рудо- и нафтидогенерирующих флюидов рассматривались аномальная верхняя мантия и астеносфера. Именно для  $p, t$ -условий “сильно прогретых зон верхней мантии”

Э. Б. Чекалюк рассчитал групповой состав глубинной нефти и определил оптимальный интервал глубин (100–160 км) природного нефтеобразования, “соответствующий волноводу Гутенберга” [1, с. 243]. Однако данные современной тектоники, геодинамики, петрологии, сейсмической томографии, а также результаты моделирования глубинной геодинамики (работы Н. Л. Добрецова, Ф. А. Летникова, А. А. Маракушева, Ю. М. Пушаровского, В. Е. Хаина и др.) свидетельствуют о том, что наиболее мощные потоки глубинных флюидов, “на базе которых развиваются все эндогенные системы в верхних горизонтах литосферы, связаны с внешним жидким ядром и слоем D''” [2, с. 291]. Этому соответствуют и новые данные о ведущей роли в генерации глубинного тепла не радиоактивного распада пород литосферы и верхней мантии, а геодинамических процессов во внешнем ядре и на его границе с мантией [3, 4]. Эта граница, таким образом, приобретает особую роль и рассматривается в настоящее время как “базальный уровень зарождения мантийных струй — плюмов” [4, с. 5]. Однако, если представления о железоникелевом (с практически неограниченными объемами окклюдированного водорода, а также других газов) составе внутреннего ядра достаточно обоснованы, то вопрос о химической природе внешнего ядра и слоя D'' остается открытым. С точки зрения фазового состава речь идет об огромном (свыше 2250 км) флюидизированном химически гетерогенном интервале, который с одной стороны находится под влиянием потоков водорода из твердого Fe–Ni ядра (косвенным подтверждением этого является недавно установленная мозаичность его поверхности [5]), а с другой — определяет геофлюидодинамику мантии и земной коры, где возникает ряд промежуточных зон геофлюидитизации и мобилизации флюидов. Именно здесь сосредоточены основные объемы глубинных флюидов Земли. Особая природа слоя D'', которая выражается в резко пониженной вязкости и резко выраженной латеральной гетерогенности, по-видимому, отражает и его фазово-геохимическую неоднородность. Данные глубинной петрологии и геохимии позволяют предполагать, что здесь, наряду с железом, никелем, водородом, углеродом, серой и кремнием, сосредоточены практически все элементы таблицы Менделеева, включая платиноиды, РЗЭ, щелочные и щелочноземельные металлы, галогены и др.

Суперплюмы, возникающие на границе “ядро-мантия”, представляют собой основную форму внедрения суперглубинных флюидов. Они инициируются взрывными процессами в жидком ядре и первоначально, по-видимому, представляют собой “пузыри” сверхсжатого плотного газа (H–C–Fe–S–N–Cl с большими концентрациями ряда других элементов), химический состав и морфология которых эволюционирует по мере их дальнейшего неравномерно-импульсного восходящего движения. Оно должно осуществляться различными “механизмами”: от взрывного, связанного с детонацией тяжелых углеводородов [6], до гидроректрузивного [7].

Не только крупнейшие ареалы рудо- и нефтегазоносности (узлы и пояса рудообразования и нефтегазонакопления), но и отдельные месторождения-гиганты (Уренгой, Гавар, Астраханское, Ромашкинское, Талнах, Мурунтау, Сухой Лог и др.), судя по новейшим геофизическим данным, имеют не только литосферные и верхнемантийные “метки”, но и признаки существования гораздо более глубоких “корней”. Однако до недавнего времени казалось, что непосредственные проявления суперглубинных флюидов в земной коре невозможны, поскольку они полностью расходятся на флюидитизацию мантийных пород, метасоматоз и другие процессы. Основная часть глубинных включений в кимберлитовых и других трубках взрыва также связана с верхней мантией. Достоверных включений вещества более глубоких геосфер пока не выявлено. Возможно таковым является проблематичный по генезису джозефинит [8] — железоникелевый “валун” (около 10 см в поперечнике), обнару-

женный 30 лет назад в речных россыпях, связанных с размывом серпентинизированного ультраосновного массива (США, штат Орегон). Он состоит из Fe–Ni интерметаллидов аваруита и тэнита с небольшим содержанием оливина (энстатита) и андрадита. Возможно, это эксгумированное из ультрабазитов при денудации включение вынесенного из земного ядра гидроэкструзивным способом. В последние годы в разновозрастных породах осадочного чехла и фундамента бассейнов рудо- и нефтегазообразования рифтовой и субдукционной природы установлены прямые улики внедрения суперглубинных флюидов в литосферу [9–13]. Особый интерес в этом отношении представляют необычные минеральные образования — пригожиниты, которые характеризуются аномальными, запрещенными в условиях равновесной термодинамики полиминеральными парагенезами [9, 11].

Впервые в качестве пригожинитов было выделено темноцветное пелитоморфное полиминеральное вещество (ТППВ), образующее инъекции по стилолитизированным трещинам естественного гидроразрыва в прочных кварцевых песчаниках и карбонатных породах палеозойских комплексов Днепровско-Донецкой (нижний карбон), Прикаспийской (карбон) и Печорской (силур, девон) впадин на глубинах свыше 3,5–4 км, а также в триасовых и нижнеюрских обломочных породах Западной Сибири, верхнеюрских известняках Предкарпатского прогиба (в интервале глубин 2–5 км), верхнемеловых блоках известняков Равнинного Крыма и северо-западного шельфа Черного моря (0,5–4,5 км) [9]. ТППВ, приуроченное к стилолитизированным трещинам естественного гидроразрыва, а в глубокозалегающих отложениях ДДВ обильно “инъекцирующее” все ослабленные поверхности (по слоистости, литогенетическим трещинам и т. п.) и цементирующее брекции дробления в трубках взрыва девонских соленосных и вулканогенных формаций, характеризуется необычными для горных пород и разнообразных форм жильной минерализации особенностями минералогии и геохимии: большим (до 30 и более) количеством минералов и минералоидов; многообразием полиморфных модификаций углерода и дисульфидов железа; некогерентной геохимической ассоциацией, уникальной как по разнообразию сидеро-, лито- и халькофильных элементов, так и по абсолютным величинам аномально высоких концентраций ряда из них (включая платиноиды, никель, хром, РЗЭ и др.). Состав стабильных изотопов углерода, водорода, серы однозначно свидетельствует о глубинном подкоровом источнике флюида, образовавшего ТППВ [9]. Наиболее важной его особенностью является резко выраженный неравновесный характер и сочетание термодинамически несовместимых фаз.

Образование ТППВ возможно лишь при импульсном выбросе сложного по составу безводного флюида. Судя по геохимическим особенностям [9], модельному Sm-Nd возрасту (3,4–3,6 млрд лет) и изотопному составу стронция, совпадающему с алмазоносными лампроитами Австралии, источником этих флюидов является не астеносфера, а очаги солитонного возбуждения флюидных систем на границе мантии и ядра (в данном случае, судя по времени внедрения ТППВ, оно связано с импактным событием глобального значения на рубеже мела и палеогена). Только это могло обеспечить прорыв суперглубинного флюида в литосферу в пределах крупных ареалов нефтегазоаккумуляции с гидроразрывом прочных пород фундамента и низов осадочного чехла. Колоссальный сброс давления и температуры обусловил одномоментное образование ТППВ — “замороженной” поликомпонентной минералоидно-минеральной смеси.

К пригожинитам относятся и различные по масштабам (от мелких инъекций до мощных формаций Балтийского и других щитов) и возрасту (докембрий — кайнозой) шунгиты [12]. Как и ТППВ, в составе углеродистого вещества которых шунгитовая фаза присутствует в ассоциации с другими полиморфами углерода, они представляют собой сложные по

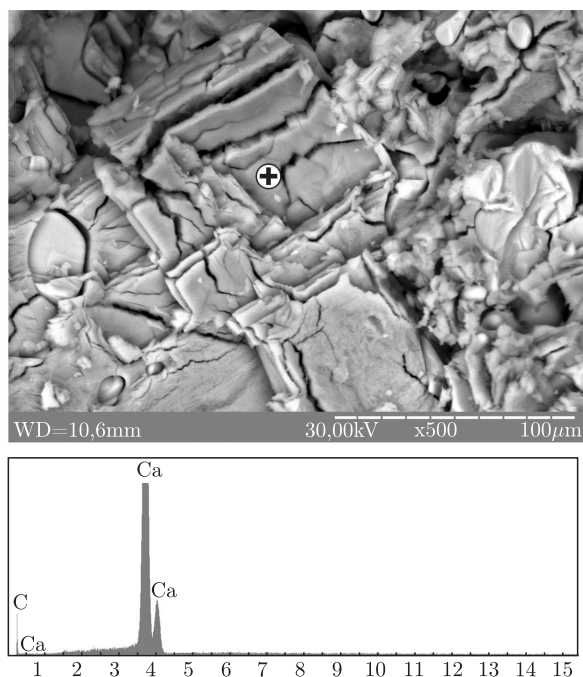


Рис. 1. Синтетический карбид кальция

составу полиминеральные композиции с аномально высокими концентрациями различных сидеро-, халько- и литофильных элементов (включая платиноиды, никель, хром, РЗЭ, галогены и др.) и, судя по модельному Sm-Nd возрасту, изотопному составу стронция и другим показателям, тесно связаны с импульсными выбросами суперглубинных флюидов нижней мантии — внешнего ядра.

Признаками пригожинитов как неравновесно-минеральных ассоциаций обладают: цементирующее вещество кимберлитовых, лампроитовых и карбонатитовых трубок взрыва, а также вулканические карбонатитовые взрывчатые образования, к которым, в частности, относятся гераклиты [13].

Наиболее важным показателем связи процессов минералообразования с безводными суперглубинными поликомпонентными плотными сверхжато-газовыми флюидами является присутствие самородных металлов (и интерметаллидов), а также карбидов и силицидов. Их наличие в ТППВ предполагалось ранее [9], но было установлено лишь недавно благодаря специальным электронно-микроскопическим исследованиям (электронный микроскоп РЭМ-106 с рентгеноспектральным зондом, лаборатория ЧО УкрГГРИ, рис. 1–4). Кроме того, большое разнообразие указанных минеральных фаз отмечено в шунгитах [12] и гераклитах [13]. Важность этих данных заключается, с одной стороны, в том, что они являются прямым подтверждением образования этих минеральных агрегатов непосредственно из газового состояния (дендриты и сферулы железа, титана, цинка, кадмия, индия, меди, латуни и т. п.), а с другой — позволяют судить о сложном химическом составе глубинных геосфер (слой  $D''$ , внешнее ядро).

Особый интерес представляют в этом отношении карбиды, образование которых в условиях литосферы и верхней мантии, вообще говоря, термодинамически запрещено (исключая специфические  $p$ ,  $t$ -условия, возникающие, например, при кавитации в рудных или магмати-

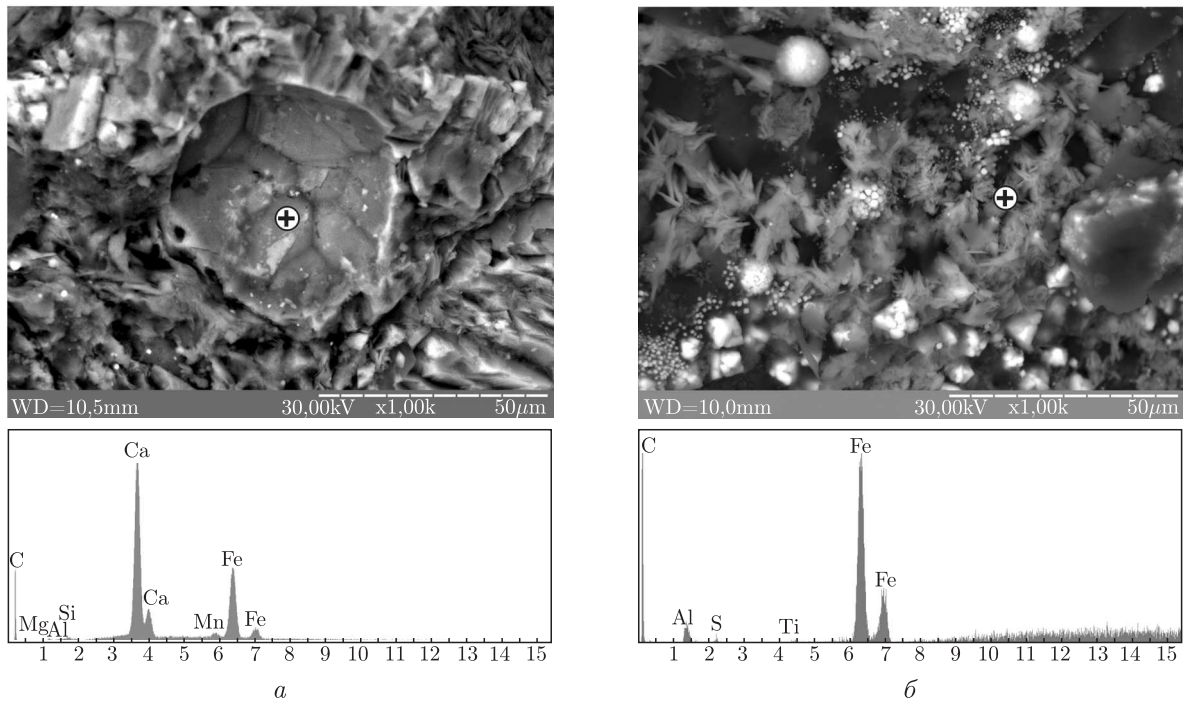
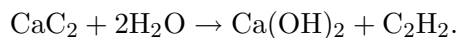


Рис. 2. Карбиды в ТППВ:

*a* — округлое выделение карбида кальция (?) в цементирующем веществе брекчии трубки взрыва (Днепро-Донецкая впадина, Скоробогатьковская скв. 2, 3965–3973 м); *б* — лучистые агрегаты карбида железа в ассоциации с твердым углеродистым веществом и различными формами дисульфида железа в инъекционном образовании по трещине естественного гидроразрыва (Днепро-Донецкая впадина, Свиридовская скв. 5, 5830–5842 м)

ческих расплавах и, в частности, при связанном с глубинными очагами среднем, основном, щелочно-ультраосновном вулканизме). По-видимому, как и для самородных металлов, их основная масса в ТППВ, шунгитах и гераклитах представлена наночастицами, образовавшимися непосредственно из газовой фазы. Однако, наряду с этим, отмечены разнообразные гораздо более крупные, сложные по морфологии частицы, которые выносились из суперплюмов и могут рассматриваться как подтверждение присутствия соответствующих соединений в указанных глубинных геосферах. При этом, наряду с уже отмеченными в различных природных объектах (метеориты, офиолиты и др.), карбидами железа, кремния, титана, ванадия, впервые установлено природное соединение кальция и углерода.

Карбид кальция ( $\text{CaC}_2$ ), наряду с карбидами щелочных и щелочно-земельных металлов, алюминия и РЗЭ, характеризуется ионным типом связи и относится к группе солеобразных карбидов [14], благодаря чему обладает высокой температурой плавления ( $2300^\circ\text{C}$ ). Как и другие карбиды этой группы, он легко разлагается водой или разбавленными кислотами с образованием ацетилена:



Таким образом, трудно рассчитывать на его присутствие в горных породах, жилах и других минеральных образованиях земной коры. И лишь особые “механизмы” формирования вышеуказанных минеральных агрегатов — пригожинитов могут обеспечить сохранность

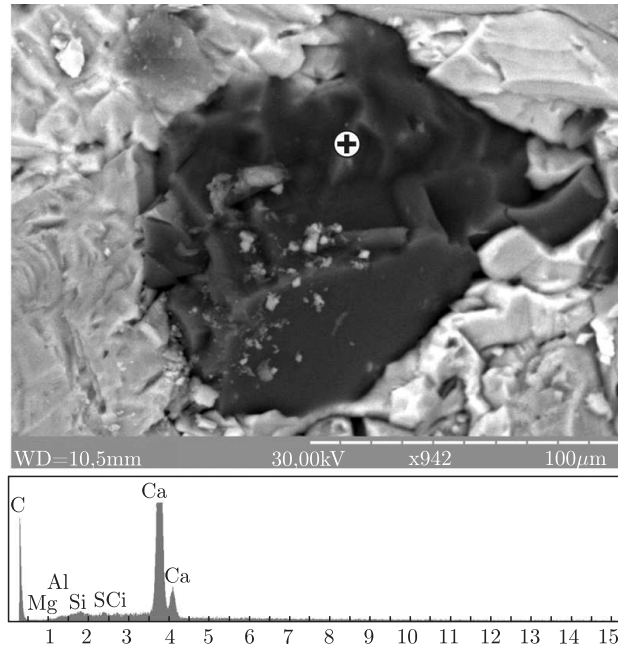


Рис. 3. Криптокристаллическое карбидокальциево(?) -углеродистое микровключение в шунгито-доломитовой породе (Карелия, с. Шуньга, карьер)

их включений, по-видимому, представляющих собой реликты суперглубинных микроксернолитов.

Разумеется, пока не будет выполнен обязательный в таких случаях комплекс исследований с определением основных физических свойств, химического состава и структуры, говорить о карбиде кальция как о новом минерале (понимая под последним природную твердую фазу определенного химического состава и строения) пока преждевременно<sup>1</sup>. Однако нет сомнений в открытии природного соединения Ca и C, идентичного по составу синтетическому кристаллическому карбиду кальция (рис. 1). К последнему наиболее близки включения карбида кальция (?) в ТППВ, цементирующем брекчии дробления в трубках взрыва, сопутствующих соляным диапирам (рис. 2, а). В ТППВ, приуроченном к трещинам естественного гидроразрыва в глубокозалегающих катагенетически окварцованных песчаниках и других прочных породах, наряду с карбидом кальция (?) в парагенезе с разнообразными формами свободного углерода и дисульфида железа встречаются карбиды других металлов, в частности, железа (рис. 2, б). Сходные по морфологии, но с дисперсным углеродистым веществом, включения соединений Ca и C установлены в доломитах нижнепротерозойской шунгитовой формации Онежской мульды (рис. 3).

Характерные округлые включения (они присутствуют и в кристаллических агрегатах синтетического  $\text{CaC}_2$ , образуясь под действием атмосферной влаги — см. рис. 1) данного минерального соединения присутствуют и в гераклитах (рис. 4, а). Они представляют собой литифицированные эксплозивные выбросы вулканогенно-карбонатитового вещества

<sup>1</sup>Автор хотел бы зарезервировать для него название “вихаинит” (первый слог добавлен во избежание путаницы при употреблении в англоязычной транскрипции названия соляного минерала каинита) в честь патриарха современной геологии, выдающегося тектониста Виктора Ефимовича Хаина, поскольку в данном случае речь идет не просто о новом минерале, а о природном соединении, несущем важнейшую информацию о глубинных геосферах Земли.

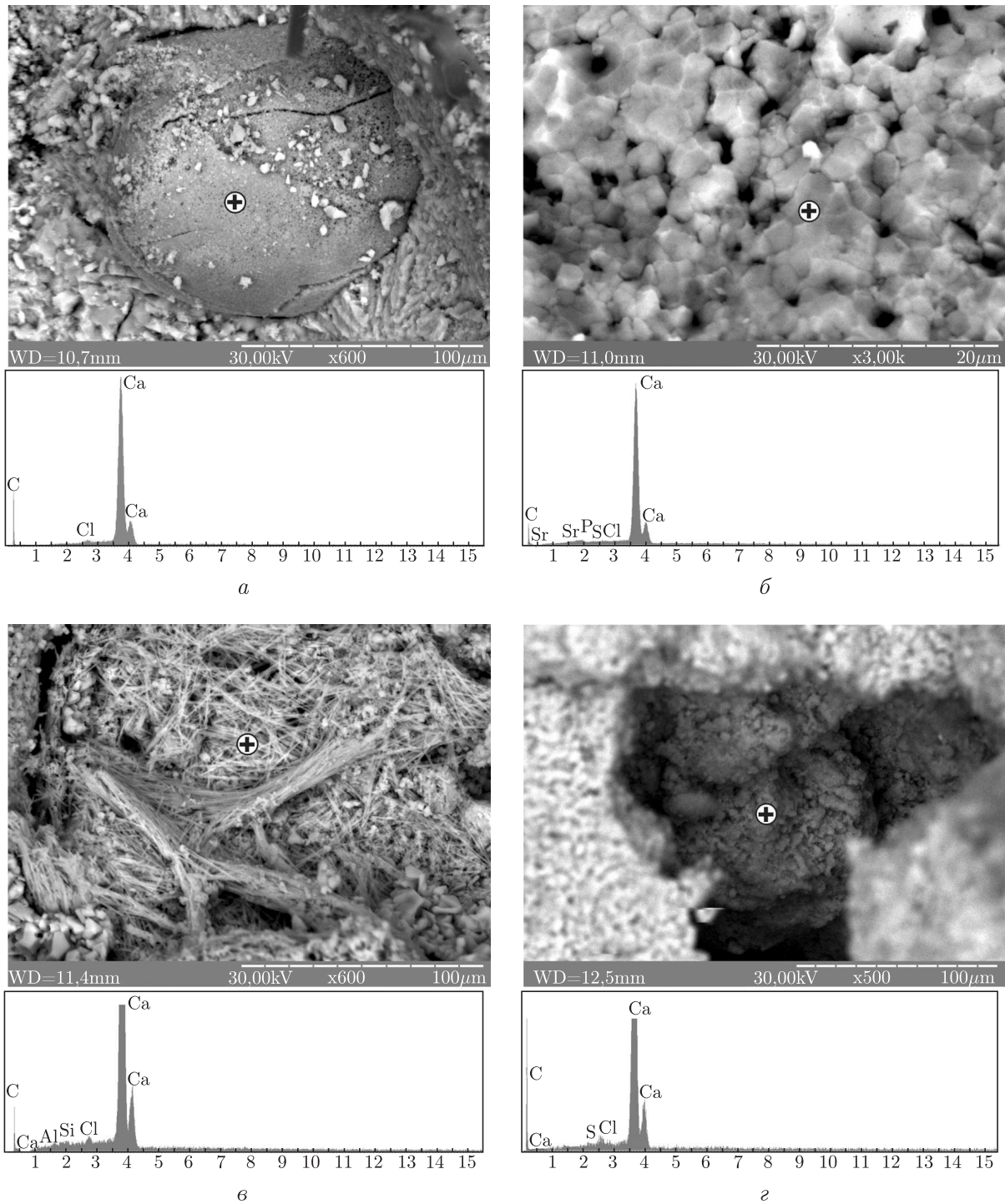


Рис. 4. Различные формы карбида кальция (?) в гераклитах (Крым, мыс Херсонес, обнажение миоценовых известняков в береговом обрыве, коллекция В. И. Лысенко):  
*a* — округлое включение  $\text{CaC}_2$  (?) в кристаллически-зернистом кальцитовом агрегате; *б* — кристаллически-зернистый агрегат  $\text{CaC}_2$  (?); *в* — волокнистый агрегат  $\text{CaC}_2$  (?); *г* — пористое шлаковидное включение агрегата  $\text{CaC}_2$  (?) и углеродистого вещества (с примесями хлора и серы)

в миоценовый морской бассейн карбонатакопления [13]. Карбид кальция (?) находится здесь в парагенезе с преобладающим в составе гераклита кальцитом (наряду с типичными для кальцита кристаллически-зернистыми агрегатами часто встречаются псевдоморфозы по моногидрокальциту, гейлюсситу, арагониту) и характеризуется морфологическим разнообразием. Кроме указанных округлых включений он непосредственно входит в состав кристаллически-зернистой кальцитовой основной массы гераклитов (рис. 4, б). Отмечены его волокнистые и игольчатые агрегаты (рис. 4, в), а также шлаковидные пористые известково-углеродисто-карбидно-кальциевые (?) включения (рис. 4, з). Структурно-текстурные взаимоотношения с основной кальцитовой массой гераклитов свидетельствуют о поступлении карбида кальция (?) в составе взрывчатого материала с больших глубин. Указанные включения представляют собой сохранившиеся, благодаря ранней литификации (с корками закалывания) гераклитов, реликты этого в высшей мере неустойчивого в условиях земной коры, а тем более в условиях бассейна морского карбонатакопления, соединения. Его основная часть при литификации была замещена кальцитом и углеродистым веществом. Разнообразие форм выделения карбида кальция в гераклитах обусловлено их взрывно-вулканогенной природой (с частичным плавлением и застыванием его в виде волокнистых агрегатов при резком сбросе давления). Можно предположить, что и при образовании пород нижнепротерозойской шунгитоносной формации Онежской мульды происходили, но в гораздо больших масштабах, процессы разложения  $\text{CaC}_2$  и замещения его углеродистым и карбонатным веществом. Что касается ТППВ, то здесь включения карбида кальция можно рассматривать как микроксенолиты, вынесенные суперглубинными флюидами.

Открытие в разнообразных по вещественному составу и структурно-текстурным особенностям минеральных образованиях — пригожинитах явно мономинерального соединения  $\text{Ca}$  и  $\text{C}$  (предположительно новый минерал — природный карбид кальция) представляет первостепенный интерес.

Его обнаружение в ТППВ, выделившегося из практически неконтаминированных суперглубинных флюидов, в парагенезе с различными формами углерода и дисульфида железа, а также карбидами других металлов (см. рис. 2, б) и разнообразными самородными металлами (интерметаллидами), дает возможность сделать принципиально новый шаг в познании состава глубинных геосфер (слой  $D''$ , внешнее ядро) на основе не косвенных, а прямых улик. Таким образом, подтверждается выдвинутое Д. И. Менделеевым 130 лет назад предположение о присутствии карбидов металлов в “барисфере” [15]. Это может иметь большое значение при выяснении генезиса глубинных углеводородов. Особо следует подчеркнуть важность открытия природного карбида кальция для объяснения присутствия неопредельных углеводородов в некоторых нефтях и газовых ореолах.

Кроме того, присутствие его в гераклитах позволяет предположить участие  $\text{CaC}_2$  в образовании карбонатитов, а при поступлении карбонатитового вулканогенного материала в бассейны седиментации — в образовании некоторых разновидностей известняков и доломитов (с полным замещением карбонатами).

1. Чекалюк Э. Б. Термодинамическая основа теории минерального происхождения нефти. — Киев: Наук. думка, 1971. — 257 с.
2. Летников Ф. А. Суперглубинные флюидные системы Земли и проблемы рудогенеза // Геология рудных месторождений. — 2001. — **43**, № 4. — С. 291–307.
3. Пуцаровский Ю. М. Строение, энергетика и тектоника мантии Земли // Вест. РАН. — 2005. — **75**, № 12. — С. 1115–1122.



4. Хаин В. Е. Планета Земля: основные черты структуры, динамики и эволюции – глобальный аспект // Тектоника земной коры и мантии. Т. II. – Москва: ГЕОС, 2005. – С. 5–12.
5. Адушкин В. В., Овчинников В. М. О мозаичности отражающих свойств поверхности твердого ядра Земли // Докл. АН. – 2004. – **397**, № 6. – С. 815–817.
6. Карпов И. К., Зубков В. С., Бычинский В. А. Детонация в мантийных потоках тяжелых углеводородов // Геология и геофизика. – 1998. – **39**, № 6. – С. 754–762.
7. Анфилогов В. Н. Гидроэкструзия – возможный механизм движения диапиров, куполов и мантийных плюмов // Геохимия. – 2006. – № 8. – С. 873–878.
8. Штрюмбель Г., Циммер З. Минералогический словарь. – Москва: Недра, 1987. – 493 с.
9. Лукин А. Е. Инъекции глубинного углеводородно-полиминерального вещества в глубокозалегающих породах нефтегазоносных бассейнов: природа, прикладное и генезисное значение // Геол. журн. – 2000. – № 2. – С. 7–21.
10. Лукин А. Е., Пиковский Ю. И. О роли глубинных и сверхглубинных флюидов в нефтегазообразовании // Там же. – 2004. – № 2. – С. 21–33.
11. Лукин А. Е., Алексеев В. А. Пригожиниты – новый генетический тип природных минеральных агрегатов // Дегазация Земли: Геофлюиды, нефть и газ. – Москва: ГЕОС, 2006. – С. 147–148.
12. Лукин А. Е. О происхождении шунгитов // Геол. журн. – 2005. – № 4. – С. 28–47.
13. Лукин А. Е., Лысенко В. И., Лысенко Н. И., Наумко И. М. О природе гераклитов // Геолог Украины. – 2006. – № 4. – С. 33–50.
14. Тугоплавкие карбиды / Под ред. Г. В. Самсонова. – Москва: Металлургия, 1970. – 320 с.
15. Менделеев Д. И. Гипотеза о происхождении нефти // Журн. Рус. хим. общества. – 1877. – **9**, № 2. – С. 5–25.

Институт геологических наук  
НАН Украины, Киев

Поступило в редакцию 05.10.2006

УДК 551.24:552.4

© 2007

**В. А. Михайлов**

## **Генетичні типи докембрійських зеленокам'яних поясів**

*(Представлено академіком НАН України Є. О. Кулішом)*

*Three types of Precambrian greenstone belts – plumbotectonic, permobil, and platetectonic – are separated, their properties, which are related to geodynamic conditions of the development of the Earth's crust of the Early Precambrian, are characterized, and their metallogenic significance is shown.*

Зеленокам'яні пояси (ЗКП) є найважливішими рудоносними структурами давніх платформ. Вони періодично виникали протягом усього раннього докембрію, мають велике металогенічне значення. Однак питання типізації, структури, походження ЗКП залишаються багато в чому невирішеними і широко дискутуються в науковій геологічній літературі. В останній час обговорюється можливість закономірної спрямованої еволюції цих структур, залежно від загальної еволюції Землі та її оболонок [1–3].

ЗКП формувалися і в заостроводужних басейнах, і в системі континентальних рифтів уздовж конвергентних границь літосферних плит, і над мантийними струменями, а формування гранітогнейсових куполів відбувалося в сіалічній корі над великими висхідними