

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ**

**ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛОГИИ
ИМ. В.С.СОБОЛЕВА**

Основные научные достижения за 2013 год

**Новосибирск
2013**

Тяжелые углеводороды в верхней мантии Земли (по экспериментальным и природным данным)

Экспериментальные данные

Экспериментальные исследования по синтезу углеводородов из графита и карбонатов в присутствии воды и металлического железа показали, что при P-T параметрах верхней мантии возможен синтез не только углеводородов соответствующих по составу природному газу, но и углеводородов с высоким молекулярным весом вплоть до гексадекана ($C_{16}H_{34}$). По данным хромато-масс-спектрометрического анализа в составе летучих, выделившихся при вскрытии Pt-ампулы с продуктами опытов, помимо воды, углекислоты и азота, были установлены: алифатические углеводороды (от метана- CH_4 до гексадекана- $C_{16}H_{34}$); циклические углеводороды (нафтены и арены - бензин); кислород- и азотсодержащие углеводороды (альдегиды, спирты, кетоны, карбоновые кислоты, амины и азины) (рис. 1,2). При этом доля метана и бутана в составе всех углеводородов составила от 26 до 52 %, а суммарная доля тяжелых углеводородов от пентана (C_5H_{12}) до гексадекана ($C_{16}H_{34}$) от 48 до 74 %.

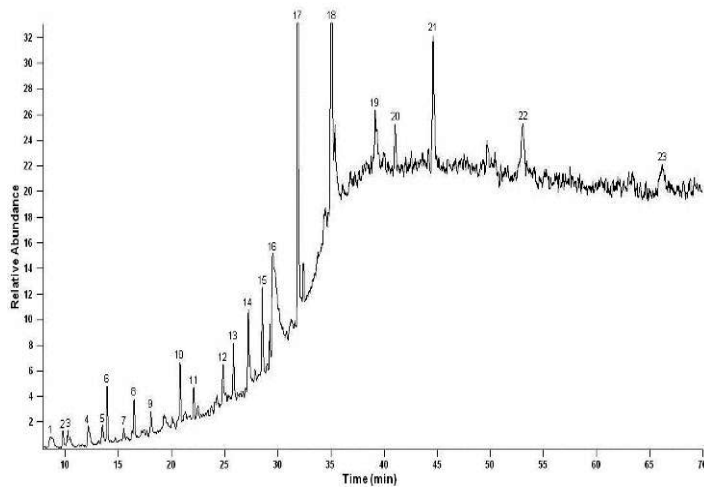


Рисунок 1. Фрагмент хроматограммы летучих компонентов, выделившихся при вскрытии Pt-ампулы с продуктами опыта в системе карбонат($MgCO_3$)+ $H_2O+Fe_{мет.}$ ($P=3.0$ GPa, $T=1400^\circ C$ - закалка). 1 - **Butane** (C_4H_{10}); 2 - **Isobutane** (C_4H_{10}); 3 - **Pentane** (C_5H_{12}); 4 - **Butanal** (C_4H_8O); 5 - **Pentane, 3-methyl** (C_6H_{14}); 6 - **Hexane** (C_6H_{14}); 7 - **2-Hexanone** ($C_6H_{12}O$); 8 - **Pentanal** ($C_5H_{10}O$); 9 - **Heptane** (C_7H_{16}); 10 - **Hexanal** ($C_6H_{12}O$); 11 - **Octane** (C_8H_{18}); 12 - **Heptanal** ($C_7H_{14}O$); 13 - **Nonane** (C_9H_{20}); 14 - non-identified; 15 - **Octanal** ($C_8H_{16}O$); 16 - **1-Hexanol, 2-ethyl** ($C_8H_{18}O$); 17 - **Nonanal** ($C_9H_{18}O$); 18 - **Decanal** ($C_{10}H_{20}O$); 19 - **Dodecane** ($C_{12}H_{26}$); 21 - **Tetradecane** ($C_{14}H_{30}$); 22 - **Pentadecane** ($C_{15}H_{32}$); 23 - **Hexadecane** ($C_{16}H_{34}$).

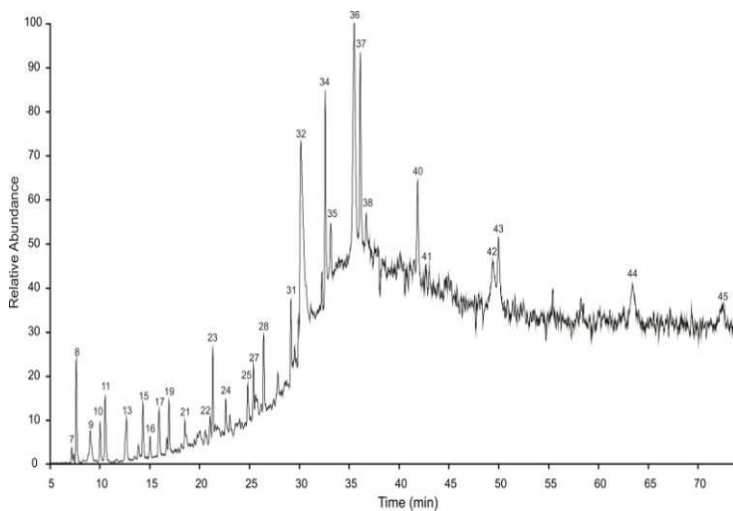


Рисунок 2. Фрагмент хроматограммы летучих компонентов, выделившихся при вскрытии Pt-ампулы с продуктами опыта в системе графит+серпентин + $Fe_{мет.}$ ($P=2.0$ GPa, $T=1200^\circ C$ - закалка). 7. **Isobutane** (C_4H_{10}); 8. **Butane** (C_4H_{10}); 9. **2-Propanone** (C_3H_6O); 10. **2-Propanamine** (C_3H_9N); 11. **Pentane** (C_5H_{12}); 13. **2-Butanone** (C_4H_8O); 15. **Hexane** (C_6H_{14}); 16. **1-Butanol** ($C_4H_{10}O$); 17. **Butanimidamide** ($C_4H_{10}N_2$); 19. **Pentanal** ($C_5H_{10}O$); 21. **Heptane** (C_7H_{16}); 22. **2-Hexanone** ($C_6H_{12}O$); 23. **Hexanal** ($C_6H_{12}O$); 24. **Octane** (C_8H_{18}); 25. **Cyclobutanone, oxime** (C_4H_7NO); 27. **Heptanal** ($C_7H_{14}O$); 28. **Nonane** (C_9H_{20}); 31. **Octanal** ($C_8H_{16}O$); 32. **1-Hexanol, 2-ethyl** ($C_8H_{18}O$); 34. **Nonanal** ($C_9H_{18}O$); 35. **Undecane** ($C_{11}H_{24}$); 36. **1,3-Dioxane-5-methanol, 4,5-dimethyl-** ($C_7H_{14}O$); 37. **Decanal** ($C_{10}H_{20}O$); 38. **Dodecane** ($C_{12}H_{26}$); 40. **Tridecane** ($C_{13}H_{28}$); 41. **2(3H)-Furanone, dihydro-5-pentyl-** ($C_9H_{16}O_2$); 42. **Undecanal** ($C_{11}H_{22}O$); 43. **Tetradecane** ($C_{14}H_{30}$); 44. **Pentadecane** ($C_{15}H_{32}$); 45. **Hexadecane** ($C_{16}H_{34}$).

dimethyl- ($C_7H_{14}O$); 37. **Decanal** ($C_{10}H_{20}O$); 38. **Dodecane** ($C_{12}H_{26}$); 40. **Tridecane** ($C_{13}H_{28}$); 41. **2(3H)-Furanone, dihydro-5-pentyl-** ($C_9H_{16}O_2$); 42. **Undecanal** ($C_{11}H_{22}O$); 43. **Tetradecane** ($C_{14}H_{30}$); 44. **Pentadecane** ($C_{15}H_{32}$); 45. **Hexadecane** ($C_{16}H_{34}$).

Включения в природных алмазах и минералах мантийных ксенолитов

Полученные данные по флюидным включениям в природных алмазах и минералах мантийных ксенолитов свидетельствуют о том, что в мантии Земли возможно образование смеси углеводородов близкой по составу основным компонентам природной нефти (рис. 3). По данным хромато-масс-спектрометрического анализа в составе флюидных включений в природных алмазах и кимберлитовой трубки Удачная-Восточная, Якутия, помимо воды, углекислоты и азота, были установлены: алифатические углеводороды (от метана- CH_4 до гексадекана- $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$); циклические углеводороды (арены); кислородсодержащие углеводороды (альдегиды, спирты, кетоны) и серосодержащие соединения (SO_2 , CS_2 , $\text{C}_2\text{H}_6\text{S}$ и $\text{C}_4\text{H}_8\text{OS}$) (рис. 3). Основными компонентами в составе алифатических углеводородов являются соединения ряда пентан (C_5H_{12}) – пентадекан ($\text{C}_{15}\text{H}_{32}$), количество которых составляет около 98 %, а доля метана, этана, пропана и бутана в них не более 1.0 %.

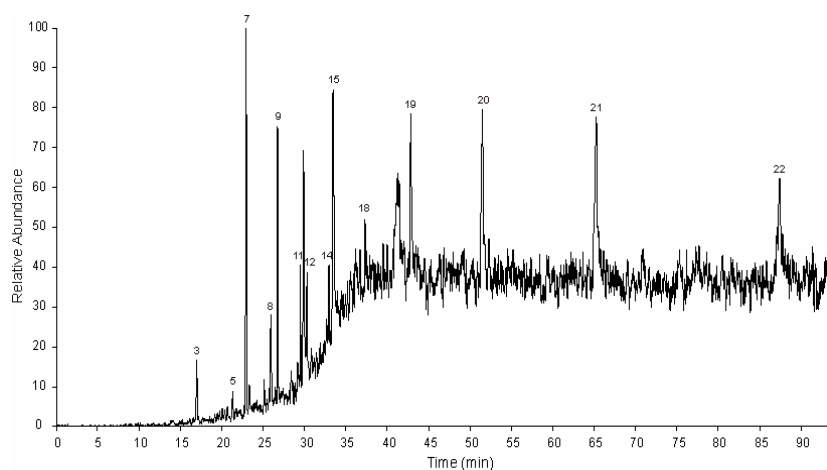


Рисунок 3. Фрагмент хроматограммы летучих компонентов, выделившихся из флюидных включений в природном алмазе из ксенолита эклогита из кимберлитовой трубки Удачная-Восточная, Якутия. 3 - Pentanal ($\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$); 5 - 2-Hexanone ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$); 7 - **Octane** (C_8H_{18}); 8 - Heptanal ($\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}$); 9 - **Nonane** (C_9H_{20}); 11 - Octanal ($\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$); 12 - **Undecane** ($\text{C}_{11}\text{H}_{24}$); 14 - Nonanal ($\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}$); 15 - ; 18 - 1-Decanol ($\text{C}_{10}\text{H}_{22}\text{O}$); 19 - **Tridecane** ($\text{C}_{13}\text{H}_{28}$); 20 - **Tetradecane** ($\text{C}_{14}\text{H}_{30}$); 21 - **Pentadecane** ($\text{C}_{15}\text{H}_{32}$); 22 - **Hexadecane** ($\text{C}_{16}\text{H}_{34}$).

Базальтоидные расплавы, генерация которых происходит в мантии Земли, могут быть одними из возможных транспортерами глубинных углеводородов в земную кору (рис. 4). По данным хромато-масс-спектрометрического анализа в составе флюидных включений в базальте из подушечной лавы, Срединно-Атлантический хребет, помимо воды, углекислоты и азота, были установлены: алифатические углеводороды (парафины от метана- CH_4 до гексадекана- $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ и олефины от C_4H_8 до $\text{C}_{11}\text{H}_{22}$); циклические углеводороды (нафтены и арены - бензин, толуол, стерен); кислород- и азотсодержащие углеводороды (альдегиды, спирты, кетоны, эстеры и амины) и серосодержащие соединения (H_2S , SO_2 , CS_2 , $\text{C}_2\text{H}_6\text{S}$ и $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{S}$) (рис. 4). Основными компонентами в составе алифатических углеводородов являются метан, этан, пропан и бутан, суммарное количество которых достигает 63 %. Суммарное количество тяжелых углеводородов ряда пентан (C_5H_{12}) – гексадекан ($\text{C}_{16}\text{H}_{34}$) составляет около 37 %.

Среди обнаруженных углеводородов суммарная доля метана и бутана составила 52 %, а тяжелых углеводородов ряда ундекан ($\text{C}_{11}\text{H}_{24}$) - гексадекан ($\text{C}_{16}\text{H}_{34}$) порядка 48 %.

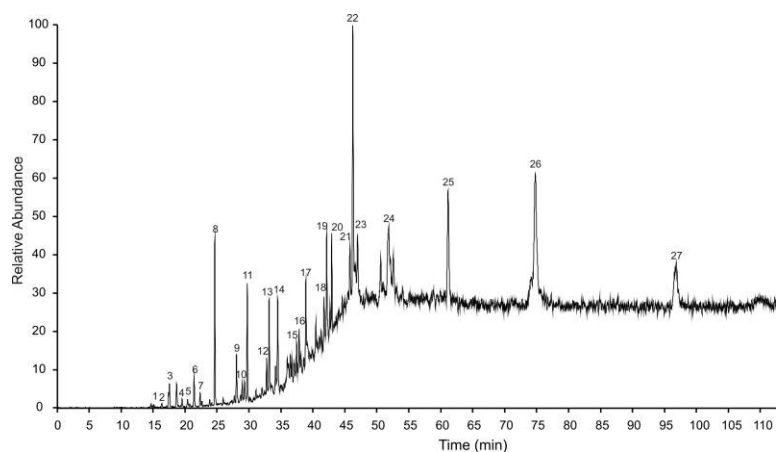


Рисунок 4. Фрагмент хроматограммы летучих компонентов, выделившихся из флюидных обособлений в базальте из подушечной лавы, Срединно-Атлантический хребет. 1 – **Pentane** (C_5H_{12}); 8 – Propanal,2-methyl- (C_4H_8); 3 – 2- Butanone (C_4H_8O); 4 - **Hexane** (C_6H_{14}); 5 - 1- Butanol ($C_4H_{10}O$); 6 – Butanal, 3-methyl- ($C_5H_{10}O$); 7 - 2-Pentanone ($C_5H_{10}O$); 8 – **Heptane** (C_7H_{16}); 9 – Hexanal ($C_6H_{12}O$); 10 – Heptane, 3-methylene- (C_8H_{16}); 11 – **Octane** (C_8H_{18}); 12 – 2-Heptanone, ($C_7H_{14}O$); 13 – Heptanal ($C_7H_{14}O$); 14 - **Nonane** (C_9H_{20}); 15 – 2-Octanone ($C_8H_{16}O$); 16 – Octanal ($C_8H_{16}O$); 17 – **Decane** ($C_{10}H_{22}$); 18 – 2-

Nonanone ($C_9H_{18}O$); 19 – Nonanal ($C_9H_{18}O$); 20 - **Undecane** ($C_{11}H_{24}$); 21 – 2-Decanone ($C_{10}H_{20}O$); 22 - Decanal ($C_{10}H_{20}O$); 23 – **Dodecane** ($C_{12}H_{26}$); 24 – **Tridecane** ($C_{13}H_{28}$); 25 – **Tetradecane** ($C_{14}H_{30}$); 26 - **Pentadecane** ($C_{15}H_{32}$); 27 – **Hexadecane** ($C_{16}H_{34}$).

Исполнители: д.г.-м.н. А.А. Томиленко, д.г.-м.н. А.И. Чепуров, д.г.-м.н. В.М. Сонин; к.г.-м.н. Т.А. Бульбак, к.г.-м.н. Е.И. Жимулев, к.г.-м.н. Н.М. Подгорных, Институт геологии и минералогии СО РАН

Графитовые микро- и нанотрубки в природных образованиях

Семейство графита пополнилось необычными образованиями (рисунок), архитектура которых состоит из углеродных наноструктур – многослойных нанотрубок ($d \leq 100$ nm), многослойных микротрубок ($d \leq 100$ μm), графеновых слоев (нанографит). Для них характерна высокая степень упорядоченности гексагональной двумерной решетки (по результатам Рамановской спектроскопии), присутствие наряду с Берналовской, турбостратной упаковки. Сравнение синтезированных в лабораторно-промышленных условиях углеродных sp_2 -гибридизированных наноструктур с обнаруженными природными наноструктурами показывает подобие их морфологий, но существенно большие размеры последних. Вероятно, углеродные sp_2 -гибридизированные наноструктуры являются недостающим звеном между традиционным природным кристаллическим графитом и идентифицированными за последние 20 лет новейшими аллотропами – нанотрубками и графеном. Необычный графит выделен из магматической породы из зоны платиноносных магматитов. Исследование микроэлементного состава природных углеродных sp_2 -гибридизированных наноструктур (РФА с синхротронным излучением), показало высокую насыщенность рудными элементами, включая Pt, что, учитывая геологическую ситуацию, свидетельствует об их высоком микроэлементном индикаторном потенциале вмещающего окружения.

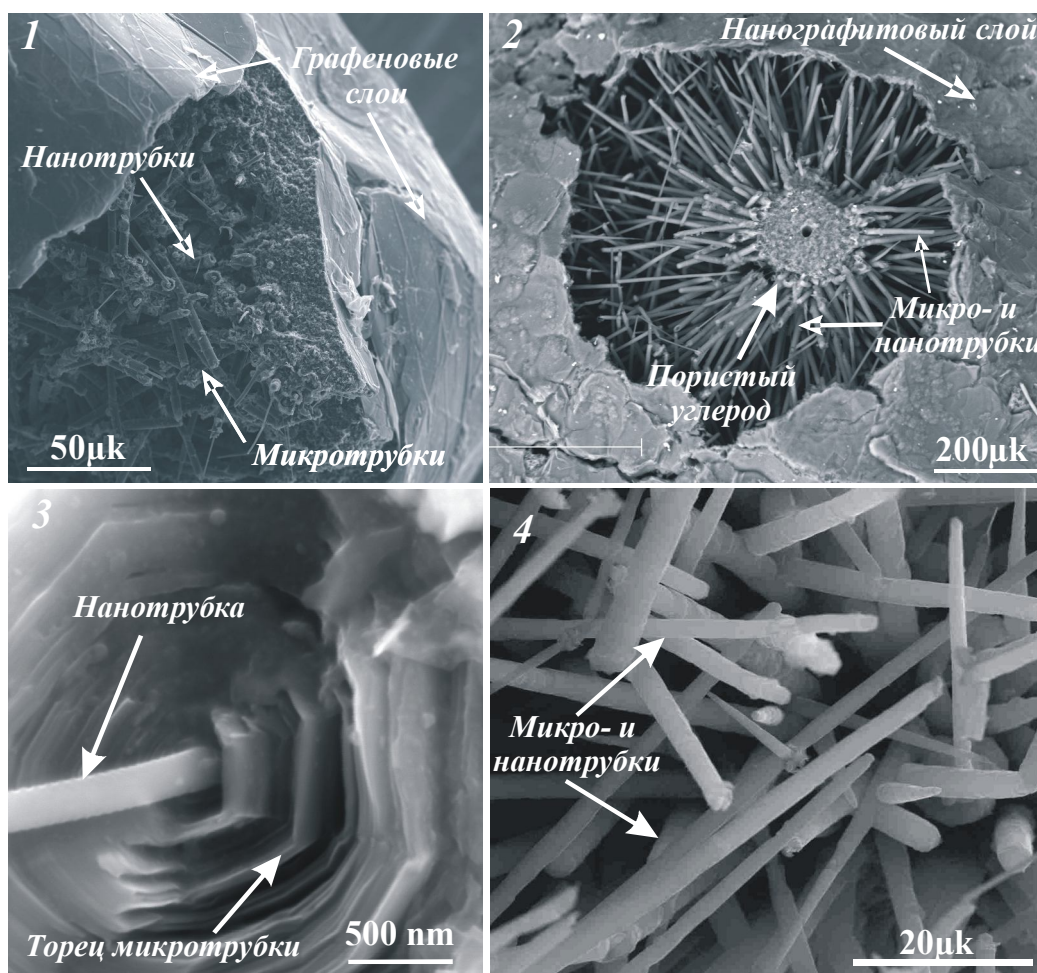


Рис. 1- фрагмент графитовой глобулы; 2-растущие многослойные микро- и нанотрубки под коркой нанографитового слоя; 3 – торец многослойной микротрубки с выступающей по оси нанотрубкой; 4 – "лес" многослойных микро- и нанотрубок.

Исполнители: Рябов В.В., Пономарчук В.А., Титов А.Т., Семенова Д.В.. Докл. РАН. 2012. Т. 446. № 5. Пономарчук, Рябов, Колмогоров и др. Известия РАН. Серия физика, 2013, т. 77, №2.

Первые данные по исследованию Челябинского метеорита

На территории России (Челябинская область) произошло очень редкое явление – падение крупного метеорита (15 февраля 2013 года, падение основного тела в озеро Чебаркуль). Этот метеорит назван в честь областного центра и относится к редкому классу обыкновенных хондритов – LL5 (S4-S5, W0). Три типа фрагментов метеорита Челябинск можно выделить по внутренней структуре и цвету: **светлый** (преобладающий) – светлый крупнозернистый агрегат с минимальным количеством мелкозернистого агрегата; **темный** (редкий) – темные реликты крупнозернистого агрегата в обильном темном мелкозернистом агрегате; **промежуточный** – светлые реликты крупнозернистого агрегата в обильном темном мелкозернистом агрегате. Два последних типа представляют собой «интенсивно проплавленную» породу (ударная брекчия). Эти фрагменты испытали большую степень ударного метаморфизма (S5). Обзор всех собранных образцов метеорита (по структуре и месту падения) показывает, что количество «интенсивно проплавленных» образцов постепенно возрастает по мере приближения к месту падения основного тела (озеро Чебаркуль). Причем это не зависит от размера и массы. Основное тело метеорита (около 600 кг), поднятое со дна озера Чебаркуль, относится к промежуточному типу. Цветовая разница между типами обусловлена лишь тем, что в светлом типе микротрещины в первичных минералах (крупнозернистый агрегат), образовавшиеся при ударном метаморфизме, ни чем не залечены, тогда как в темных «проплавленных» образцах они всегда заполнены металл-сульфидной ассоциацией.

В целом все типы практически одинаковы по минералогии и можно выделить следующие ассоциации по минеральному составу и генезису:

Крупнозернистый агрегат и хондры – первичные ассоциации, которые сформировались в родительском теле (вероятно asteroid 2011 EO40) (рис. 1). По минеральному составу крупнозернистый агрегат и хондры идентичны и содержат оливин, ортопироксен, альбит, хромит, ильменит, троилит и металл (камасит+тэнит). В незначительных количествах встречаются хлорапатит, меррилит, полевошпатовое стекло, пентландит, медь, аморфный углерод и полиморф SiO_2 .

Мелкозернистый агрегат – парагенезисы, которые появились в результате преобразования крупнозернистого агрегата и хондр за счет процессов плавления, инициированных столкновением с другим космическим телом, либо прохождением исходного тела вблизи Солнца (маловероятно). Это агрегат содержит как новообразованные фазы (оливин, Na-плагиоклаз - полевошпатовое стекло, хромит, клинопироксен, ортопироксен, металл-сульфидные глобулы, реже фосфаты), так и реликты крупных зерен ортопироксена, оливина, хромита и ильменита. Следует отметить, что оливин становится преобладающей фазой за счет реакции **ортопироксен** → **оливин** + SiO_2 (**силикатный расплав**), что характерно для мантийных ксенолитов, содержащих ортопироксен, где образование интерстициального оливина предполагается за счет ортопироксена при твердофазных реакциях или реакций с участием расплава/флюида. Для мелкозернистого агрегата также характерно обилие сферических пустот. Их стенки обычно инкрустированы кристаллами оливина, на которых присутствуют октаэдры хромита, кубоктаэдры Fe-Ni-металла (тэнит ?), губчатый агрегат металла и троилита, иногда фосфаты и округлые выделения Fe-карбоната (сидерит ?) (рис. 2).

Кора оплавления – ассоциации, которые возникли за счет полного плавления всего вещества метеорита (крупно- и мелкозернистый агрегаты, хондры), когда космическое тело вошло в атмосферу Земли. Здесь резко изменяется состав металл-сульфидной ассоциации в сторону никелевых составов (тетратэнит-аваруит, хизлеводит-годлевскит, сплав Os-Ir-Pt), появляются магнетит, фаялит и стекло ультраосновного состава (рис. 3, 4).

Вторичные минералы (W0→W1) – продукты замещения более ранних ассоциаций, начинающие появляться сразу же после падения метеорита. В качестве вторичных фаз выявлены Fe-гидроксиды и хиббингит $(\text{Fe,Ni})_2(\text{OH})_3\text{Cl}$

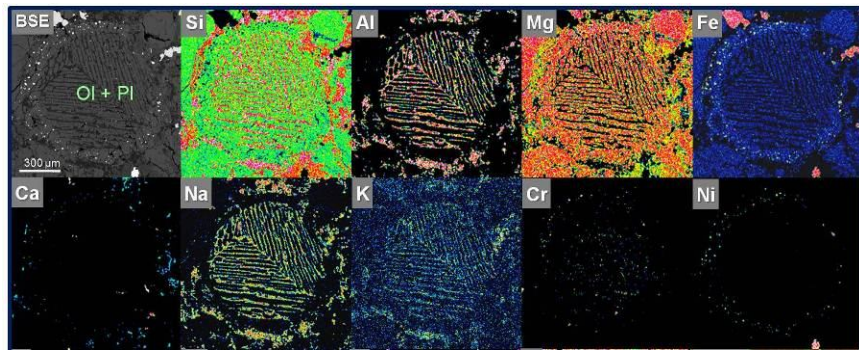


Рис. 1. Хондра с «колосниковой» структурой (оливин + альбит) в светлом типе метеорита Челябинск (BSE фотография, элементные карты).

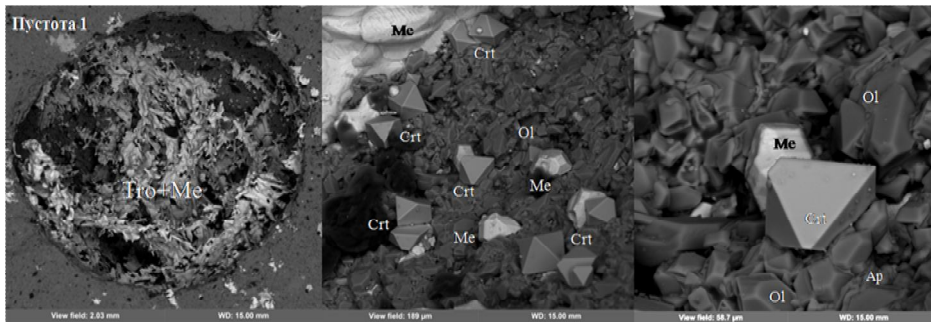


Рис. 2. Пустота сферической формы с губчатым агрегатом Fe-Ni-металла и троилита и ограниченными кристаллами хромита, металла (тэнит?) и оливина на стенках. Мелкозернистый агрегат в темном «проплавленном» фрагменте метеорита Челябинск (BSE фотографии). Ap – Ca-фосфат.

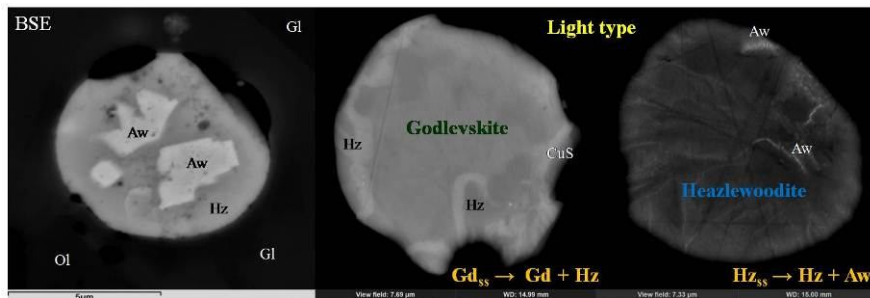


Рис. 3. Металл-сульфидные глобулы (хизлеводит, голлевскит, аваруит) в коре оплавления метеорита Челябинск (BSE фотографии).

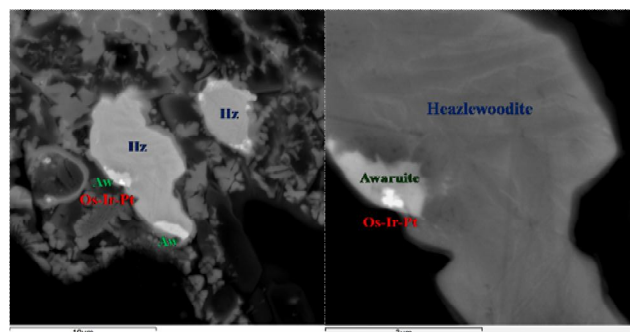
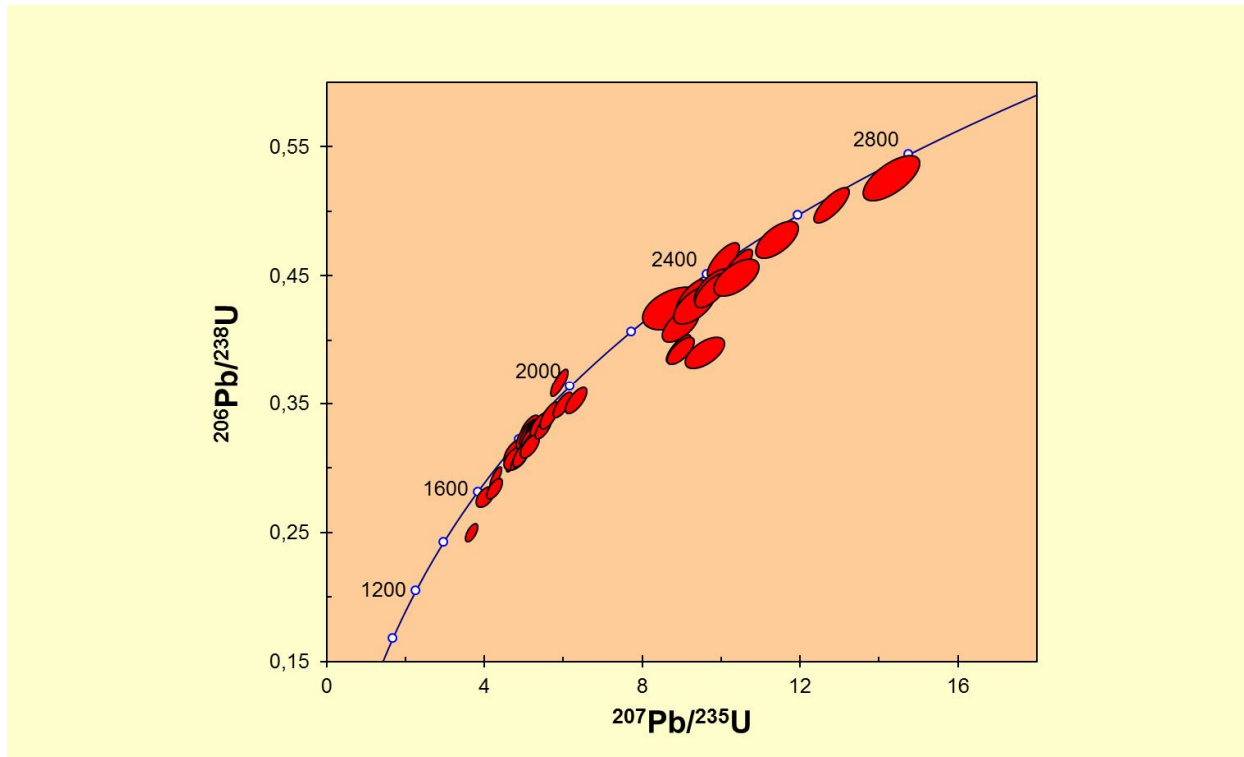


Рис. 4. Интерметаллид Os-Ir-Pt в коре оплавления метеорита Челябинск (BSE фотографии).

Исполнители: Лаб. 436: с.н.с., к.г.-м.н. В.В. Шарыгин; н.с., к.г.-м.н. Т.Ю. Тимина; зав. лаб., д.г.-м.н. А.А. Томиленко; Лаб.772: зав. лаб., к.г.-м.н. Н.С. Карманов; зав. музеем к.г.-м.н. Н.М. Подгорных, Институт геологии и минералогии СО РАН

Новые данные о возрасте фундамента Бирректинского тектонического блока: обоснование потенциальной алмазоносности северо-восточной окраины Сибирской платформы



С использованием LAM-ICPMS (Университет Маккуори, Австралия) было проведено U-Pb датирование коровых цирконов из концентрата тяжелой фракции кимберлитов Куойкского поля, северо-восток Сибирской платформы. В результате проведенных исследований установлено, что 8% исследованных цирконов имеют Архейский возраст (>2,5 млрд. лет; древнейший циркон имеет возраст 2,8 млрд.лет). Полученные результаты свидетельствуют об Архейском возрасте фундамента Бирректинского террейна. До настоящего времени считалось, что фундамент террейна был сформирован в палеопротерозое. Самые древние датировки не превышали 2,4 млрд. лет. Полученные результаты имеют важное применение в алмазопоисковых работах. В соответствии с правилом Клиффорда, алмазоносные кимберлиты обнаруживаются в пределах Архейских кратонов (террейнов). В пределах северо-востока Сибирской платформы обнаружены многочисленные аллювиальные россыпи алмазов с невыясненным коренным источником. Таким образом, наши новые данные о возрасте фундамента Бирректинского террейна в соответствии с правилом Клиффорда свидетельствуют о возможности обнаружения алмазоносных кимберлитов на северо-востоке Сибирской платформы.

Griffin W.L., Belousova E.A., O'Neill C., O'Reilly S.Y., **Malkovets V.**, Pearson N.J., Spetsius S., Wilde S.A. The world turns over: Hadean–Archean crust–mantle evolution // *Lithos*, In Press, 2013

Исполнитель: к.г.-м.н. **Мальковец В.Г.**

Метаморфические события в докембрийской истории Енисейского кряжа

На основе реконструкций P - T эволюции гнейсов Енисейского кряжа с *in situ* датированием включений U–Th-содержащих фаз в зональных минералах выделены три этапа метаморфизма, различающиеся возрастами, термодинамическими режимами и величинами метаморфических градиентов. На первом этапе (1050-850 млн лет) в связи с гренвильской орогенцией сформировались зональные метаморфические комплексы низких давлений при типичном для орогенеза метаморфическом градиенте $dT/dH=20-30^{\circ}\text{C}/\text{км}$. На втором этапе эти породы подверглись позднерифейскому (801-793 млн лет) коллизионному метаморфизму умеренных давлений с низким $dT/dH=10^{\circ}\text{C}/\text{км}$. Третий этап сопровождался синэкзгумационным динамометаморфизмом (785-776 млн лет) с $dT/dH=12^{\circ}\text{C}/\text{км}$, отражающим тектонические обстановки быстрого подъема блоков пород в верхние структурные этажи континентальной коры в сдвиговых зонах со скоростью около 500-700 м/млн лет. История развития региона коррелируется с синхронной последовательностью и стилем вальгальских тектоно-термальных событий на арктической периферии Родинии, что подтверждает территориальную близость Сибири и кратонов северной Атлантики на рубеже около 800 млн лет по современным палеомагнитным реконструкциям. В мировой практике такие исследования единичны; в России подобных работ до сих пор не проводилось (Лиханов и др., 2013).

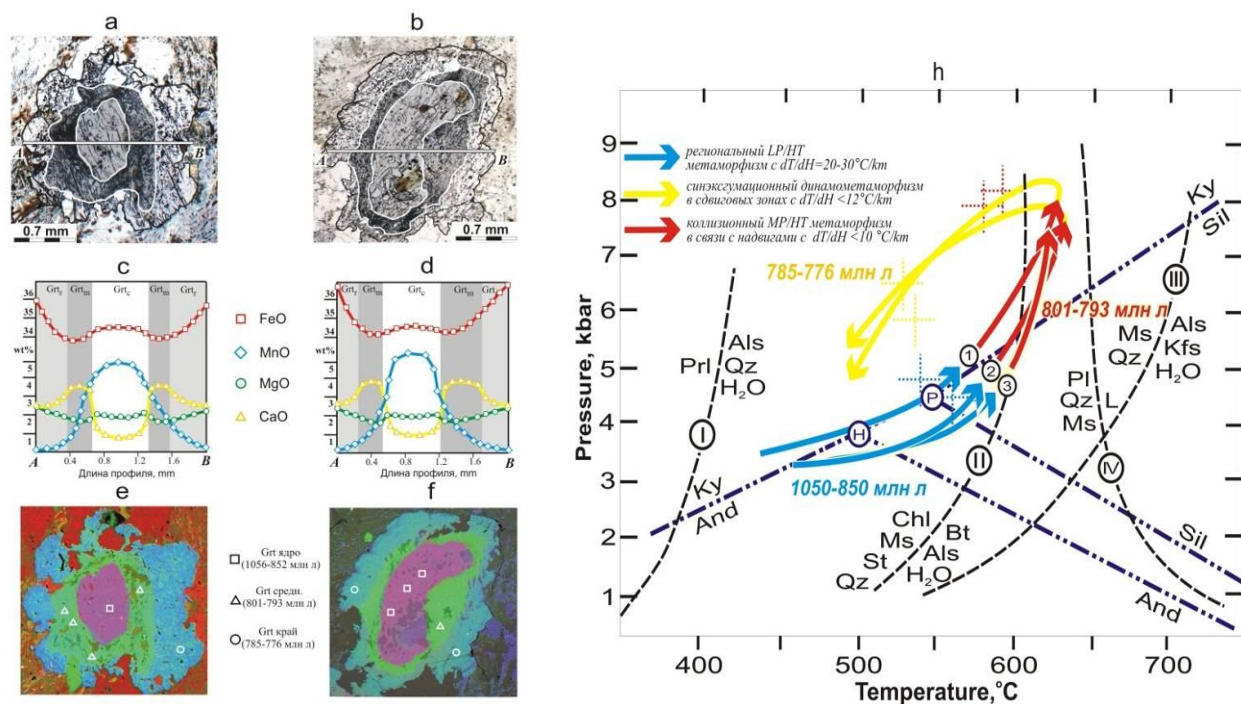


Рис. 1. Микрофотографии зерен граната из гнейсов Приенисейской региональной сдвиговой зоны (а-б), концентрационные профили (с-д) и элементное картирование зональных гранатов с местами точек датирования включений монацитов и ксенотимов и соответствующими возрастами (е-ф). Обобщенные P - T - t тренды эволюции метаморфизма с движением “против часовой стрелки” для гнейсов ПРСЗ (h).

Исполнители: Лиханов И.И., Ревердатто В.В., Козлов П.С., Хиллер В.В., Сухоруков В.П.
 Зональность граната в метапелитах как следствие трех метаморфических событий в докембрийской истории Енисейского кряжа // *Петрология*, 2013, т. 21, № 6, с. 612-631.

Изучения фазовой диаграммы углерод-водород при сверх высоких температуре и давлении

Изучения фазовой диаграммы углерод-водород чрезвычайно важно для понимания глубинных процессов Земли и планет газовых гигантов: Уран и Нептун. Метан вместе с водой и аммиаком составляет значительную часть ледяных планет. Кроме того, поведение углеводородов при высоком давлении представляет особый интерес для понимания природы С-О-Н флюида в недрах Земли.

Эксперименты выполнены методом алмазных наковален с лазерным и резистивным нагревом при давлениях до 80 ГПа и температурах до 2200 К совместно с учеными из Геофизической лаборатории Института Карнеги (США). На рамановских спектрах заметно появление водорода в результате диссоциации метана с образованием тяжелых алканов.

Была построена фазовая диаграмма на которой видны кривая плавления метана и химические превращения в С-Н системе. Метан является единственным компонентом в углеводородном флюиде при условиях литосферы ($P < 6$ ГПа, $T < 1200$ К). Диссоциация метана с образованием углерода, водорода или более тяжелых углеводородов свидетельствует об уменьшении доли метана в С-Н флюиде при давлении больше 6 ГПа и температуре больше 1500 К, а при $P > 24$ ГПа и $T > 1500$ К количество более тяжелых углеводородов становится преобладающим в системе.

Исполнители: С.С. Лобанов, К.Д. Литасов

Lobanov, S.S., Chen, P.N., Chen, X.J., Zha, C.S., Litasov, K.D., Mao, H.K., Goncharov A.F., 2013. Experimental evidence for carbon saturated heavy hydrocarbon fluid in the deep planetary interiors // **Nature Communications**, 2013, 2446, doi:10.1038/ncomms3446.

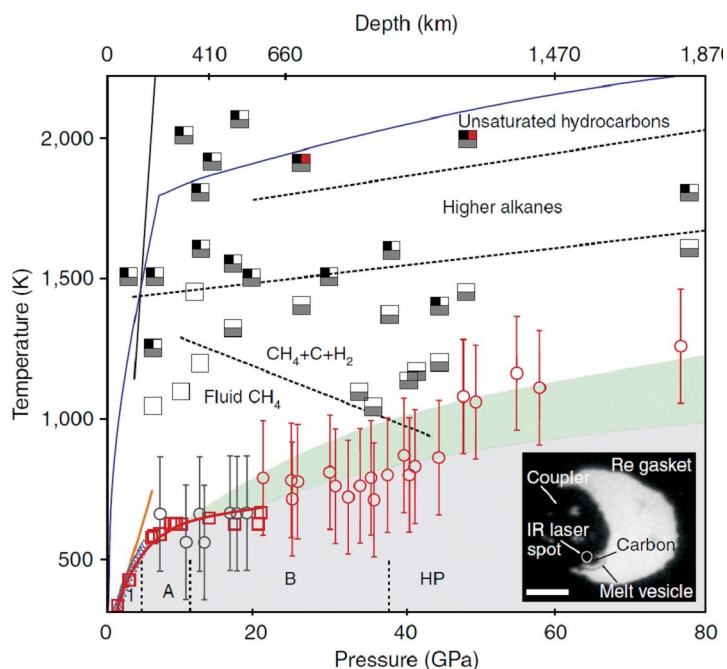


Рис.1. Экспериментальная фазовая диаграмма метана при давлениях до 80 ГПа. Красные квадраты и круги соответствуют нашим данным по плавлению метана. Красной линией обозначена кривая плавления метана по данным из экспериментов с резистивным нагревом. Серыми квадратами показаны точки плавления метана по данным из экспериментов с лазерным нагревом. Область существования твердого метана выделена серым цветом. Полиморфные модификации твердого метана (1, А, В, HP) разделены пунктиром по (Chen et al., 2011). Пустые квадраты соответствуют жидкому метану, серые – углероду и водороду, черные – новым сформированным алканам, красные – сформированным алкенам (двойной углеродной связи). Черной линией показана кривая перехода графит-алмаз (Kennedy and Kennedy, 1976), синей - геотерма Земли (Stacey and Davis, 2008).

Взаимосвязь магматических, осадочных и аккреционно-коллизионных процессов на Сибирской платформе и ее складчатом обрамлении

Проведено обобщение по проблемам тектоники и геодинамики Центрально-Азиатского складчатого пояса и взаимосвязям с формированием осадочных бассейнов как в его пределах, так и на Сибирской платформе. На основе новых геологических и изотопно-геохимических данных, U-Pb датирования детритовых цирконов неопротерозойско-палеозойских нефтегазоносных осадочных серий выявлена синхронность осадконакопления и формирования орогенных структур (рис. 1). Подтверждено выделение каледонской сутурно-сдвиговой зоны, разделяющей окраино-континентальные комплексы пород Сибирского и Казахстанского континентов, соответственно, с ювенильным и смешанным типами коры. Позднепалеозойские крупноамплитудные сдвиги во много нарушили первичные соотношения, в связи с чем древние структуры различных окраин тектонически перемешаны друг с другом, что создает трудности интерпретации палеогеографической, палеотектонической и палеогеодинамической зональности Центрально-Азиатского складчатого пояса (лаборатория геодинамики и магматизма ИГМ СО РАН, отв. исполнитель д.г.-м. наук М.М. Буслов.).

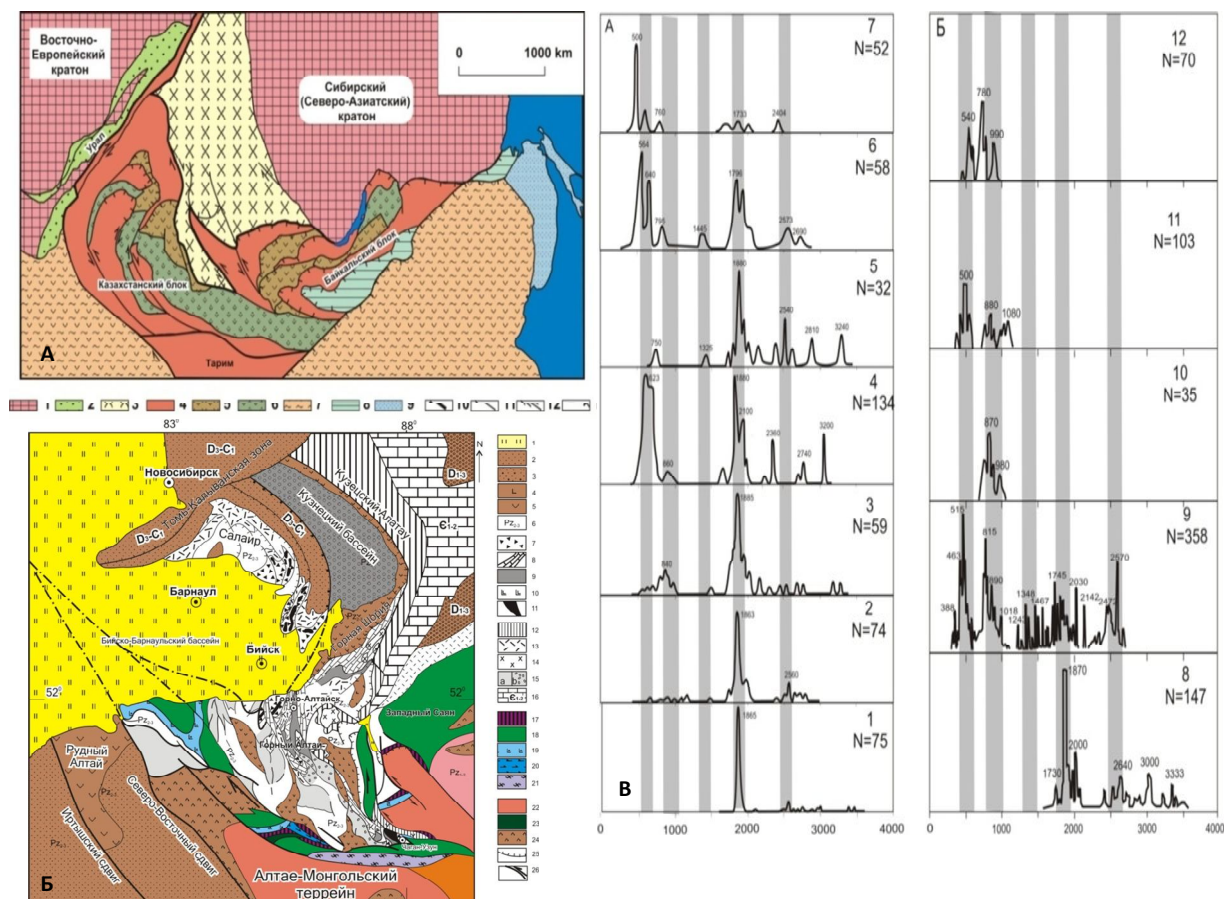


Рис. 1

.Тектоническая схема северной Евразии (А) и Горного Алтая (Б), кривые относительной вероятности U-Pb возрастов детритовых цирконов из пород Сибирской платформы(левый ряд) и магматических пород обрамления(правый ряд)(В).

Добрецов Н.Л., Буслов М.М., де Граве Й., Склярков Е.В. Взаимосвязь магматических, осадочных и аккреционно-коллизионных процессов на Сибирской платформе и ее складчатом обрамлении// Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 102 .С. 1451-1472.

Буслов М.М., Джен Х., Травин А.В., Отгонбаатар Д., Куликова А.В., Чен Минг, Глори С., Семаков Н.Н., Рубанова Е.С., Абилдаева М.А., Войтишек Е.Э., Трофимова Д.А. Тектоника и геодинамика Горного Алтая и сопредельных структур Алтае-Саянской складчатой области// Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 102 .С. 1600-1628.

Габбро-гранитные интрузивные серии и их индикаторное значение для геодинамических реконструкций

Сопоставление раннепалеозойских габбро-гранитных серий островодужного и аккреционно-коллизионного этапов эволюции ЦАСП позволило обосновать специфику кембро-ордовикского габброидного и гранитоидного магматизма Центральной Азии, как результат интерференции глубинного мантийного плюма с аккреционно-коллизионными геодинамическими режимами. Спецификой кембро-ордовикского этапа магматизма является широкое разнообразие ультрамафит-мафитового магматизма, обусловленного взаимодействием мантийного плюма с литосферной мантией различных террейнов и из дифференциация в промежуточных камерах. Обоснована индикаторная роль габбро-монцодиорит-граносиенит-К-гранитных интрузивных серий для диагностики плюмового магматизма в складчатых поясах. Аккреционно-коллизионные процессы в сочетании с прогревом коры мантийными расплавами привели к выплавлению больших объемов гранитоидных расплавов, специфика состава которых определяется составами коровых субстратов..

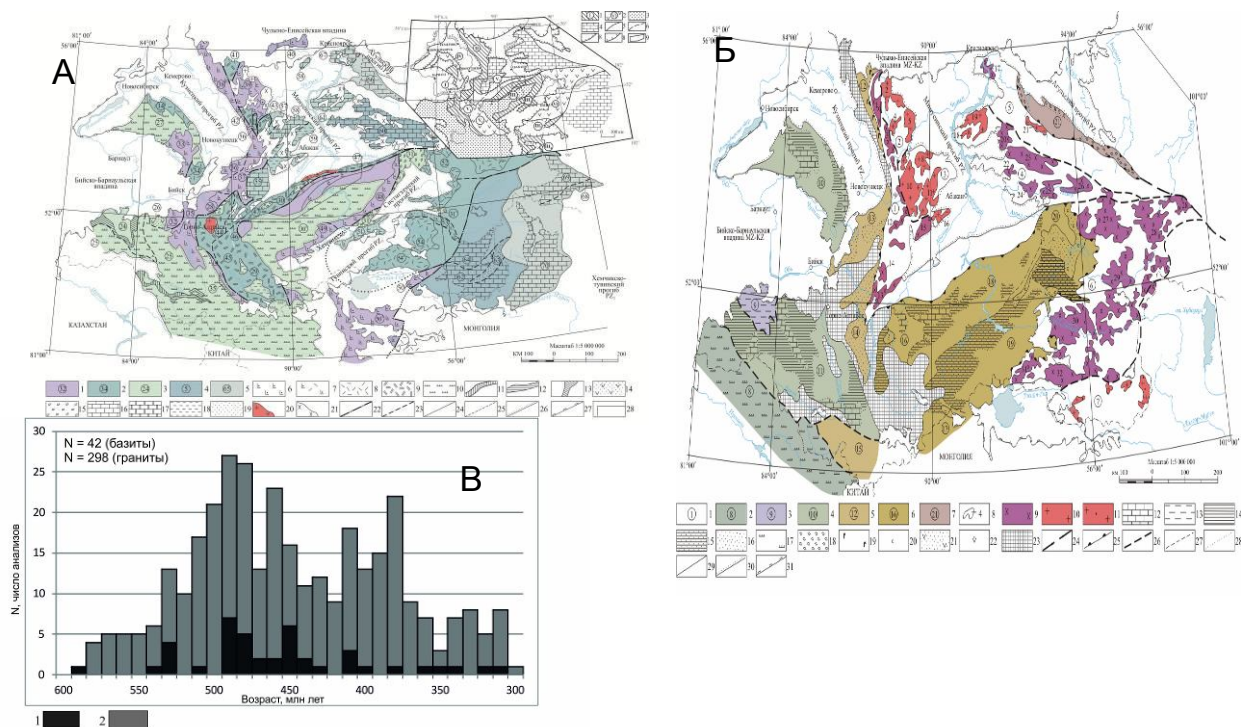


Рис. 1 Сопоставление объемов раннепалеозойского базитового и гранитоидного островодужного и аккреционно-коллизионного этапов эволюции ЦАСП. А – венд-кембрийский островодужный этап; Б – кембро-ордовикский аккреционно-коллизионный этап; В - сводная гистограмма U-Pb, Sm-Nd и Ar-Ar изотопных дат, полученных для Алтае-Саянской складчатой области и сопредельных территорий Западной Монголии, Западного Прибайкалья

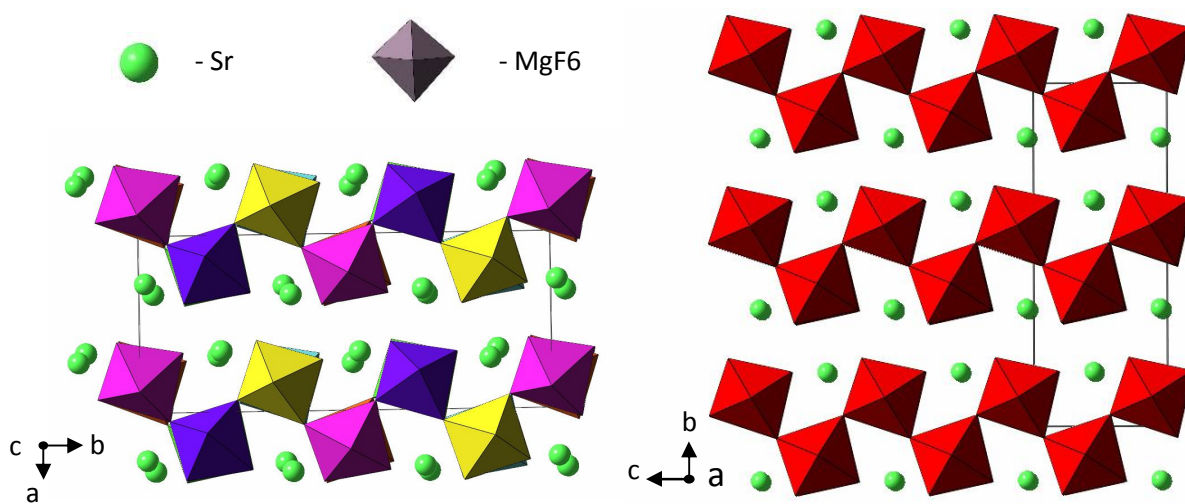
Владимиров А.Г., Изох А.Э., Поляков Г.В., Бабин Г.А., Мехоношин А.С., Крук Н.Н., Хлестов В.В., Хромых С.В., Травин А.В., Юдин Д.С., Шелепаев Р.А., Кармышева И.В., Михеев Е.И. Габбро-гранитные интрузивные серии и их индикаторное значение для геодинамических реконструкций //Петрология, 2013, Т 21.№ 2. С. 177-201

Руднев С.Н. Раннепалеозойский гранитоидный магматизм Алтае-Саянской складчатой области и Озерной зоны Западной Монголии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013, 300 с.

(Владимиров и др., 2013; Руднев, 2013)

Новый нелинейный сегнетоэлектрический монокристалл SrMgF₄ для преобразования излучения в ВУФ диапазоне.

Методом Бриджмена выращен монокристалл SrMgF₄ хорошего оптического качества. Проведены поляризационно-оптические наблюдения, измерение двупреломления Δn_i и рентгеноструктурные исследования кристалла SrMgF₄ в интервале температур 90 – 1200К. Вблизи $T = 480\text{K}$ обнаружен несобственный сегнетоэластический фазовый переход II рода, сопровождающийся изменением симметрии: $P2_1 (Z = 12) \leftrightarrow Cmc2_1 (Z = 4)$. В обеих фазах кристалл остаётся сегнетоэлектриком. Сочетание нелинейно-оптических свойств с широкой областью прозрачности (125 nm – 13 μm) делает эти кристаллы уникальными для нелинейных применений в области спектра от ВУФ до ИК.



Структура низкотемпературной фазы $P2_1$ (а), высокотемпературной фазы $Cmc2_1$ (б)

Пустоваров В.А., И.Н. Огородников, S. I. Omelkov, Л.И. Исаенко, А.П. Елисеев, А.А. Голошумова, С.И. Лобанов, П.Г. Креницын, Электронные возбуждения и люминесценция монокристаллов SrMgF₄, ФТТ 56 (2014), стр.448-458.

Ogorodnikov I.N., V.A. Pustovarov, S.I. Omelkov, L.I. Isaenko, A.P. Yelisseyev, A.A. Goloshumova, S.I. Lobanov, A far ultraviolet spectroscopic study of the reflectance, luminescence and electronic properties of SrMgF₄ single crystals. Journal of Luminescence 145 (2014), pp. 872-879.

Исполнители: д.т.н. Исаенко Л.И., с.н.с. Лобанов С.И., асп. Голошумова А.А.

Технология выращивания легированных нелинейных кристаллов GaSe рекордно высокого оптического качества

Создана технология выращивания легированных нелинейных кристаллов GaSe рекордно высокого оптического качества (Рис.1), позволяющая управлять физическими свойствами на стадии технологических процессов выращивания.



Рис.1. Внешний вид кристаллов легированных серой: GaSe:S(0,15 масс.%) (а) и GaSe:S(11 масс.%) (б).

В частности, впервые показана возможность увеличения показателя преломления для волн обыкновенной поляризации n_o и двулучепреломления B в нелинейных кристаллах в терагерцовом (ТГц) диапазоне спектра путем управления спектрального положения области аномальной дисперсии плазмонов. Контроль ее положения путем легирования алюминием позволил увеличить n_o кристаллов GaSe с 0,3,25 до 3,45, а B с 0,8 до 1,0 в спектральной области 0,3-2,5 ТГц. Путем дополнительного легирования кислородом значение двулучепреломления увеличено до неординарной величины 1,2 для поляризационной оптики ТГц диапазона. Установленный оптимальный уровень легирования позволил в 2-3 раза уменьшить уровень оптических потерь, в 4-5 раз увеличить лучевую стойкость и до 15 раз эффективность преобразования частот в кристаллах GaSe в пределах среднего ИК диапазона и в полтора раза в терагерцовом диапазоне, с достижением третьего результата по выходным энергетическим параметрам.

Патент RU 2011134404 of 08.29.2012; *CrystEngComm*. V.15, No.32, P.6275-6432, 2013 (результаты исследований представлены на обложке номера); *Appl. Phys. Lett.*, V. 103, 081104, 2013; *Optics Express*, 2012, V.20, No. 5, P. 5029-5037; *Optics Communications*. 2013. V.287. P.145-149; *Известия ВУЗов. Физика*. Т.56, № 2/2, С.115 -121, 2013; *Optics Express*, 2012, V.20, No. 5, P. 5029-5037; *Optics Letters*, 2012, V.37, No.5, P.945-947; *Известия ТПУ*, 2012, Т.321, №2, С.128-131; *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*, 2012, Т. 9, № 4, С.486-494.

Исполнители от ИГМ СО РАН:

1. А.Е. Кох, заведующий Лабораторией роста кристаллов, д.ф.-м.н,
2. К.А. Кох, с.н.с., к.ф.-м.н

Исполнители от ИМКЭС СО РАН:

1. В.Е. Зуев, научный руководитель чл.-корреспондент РАН, профессор, заведующий Лабораторией биосферно-геосферных взаимодействий, д.ф.-м.н В.В. Зуев, ИМКЭС СО РАН,
2. Ю.М. Андреев технический руководитель, д.ф.-м.н., ИМКЭС СО РАН,
3. Г.В. Ланский, с.н.с., к.ф.-м.н,
4. А.В. Шайдуко, н.с., к.ф.-м.н.

Схемы морфометрического районирования

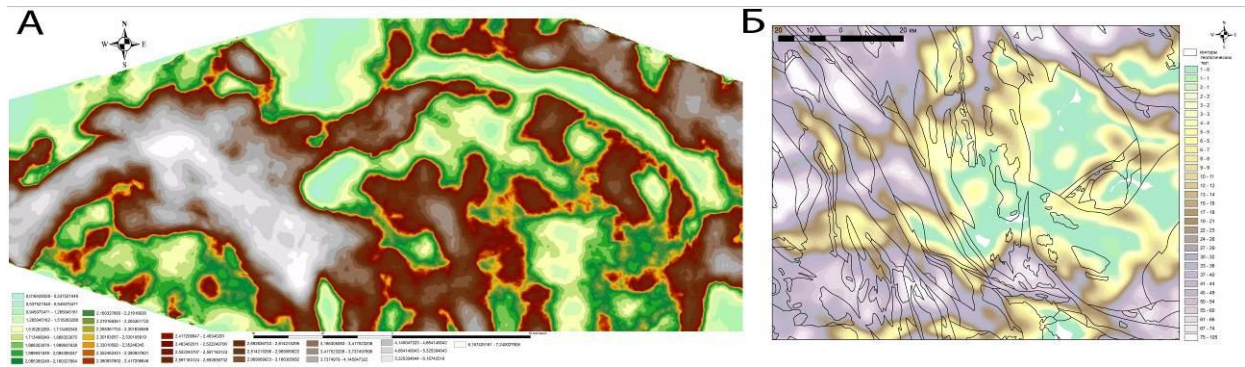


Рисунок. Схемы морфометрического районирования А — для Северного Приангарья (по первой производной рельефа); Б — для одного из типовых районов Горного Алтая (по густоте эрозионного расчленения с оверлейным наложением границ геологических тел).

Выявлены морфометрические показатели, позволяющие фиксировать блочную делимость и проводить морфотектоническое районирование в условиях платформы, низко-, средне- и высокогорья. Эти показатели позволяют более обоснованно подходить к составлению классификационных легенд при типизации морфотектонических районов и подрайонов, в том числе и с учетом неоднородностей докайнозойского геологического субстрата.

Кайнозойский структурный план отражается на монокомпонентных и синтетических (комплексных) морфометрических сетках в виде морфотектонических ареалов и морфотектонических поясов, которые различаются плановой конфигурацией, а также структурной упорядоченностью, образующих их элементов следующего порядка: в составе ареалов – ареально-блоковые и поясово-блоковые системы; в составе поясов – поясово-зональные системы блоков и реликты ареально-блоковых систем («массивы»). Для иллюстрации методики построены схемы морфометрического районирования для типовых районов Северного Приангарья и Юго-Восточного Алтая.

Публикации:

Зольников И.Д., Деев Е.В., Цыбанков А.А., Славинский В.С., Постнов А.В., Чупина Д.А. К вопросу о молодости аллювиальных комплексов Ангары по материалам работ в зоне затопления Богучанской ГЭС// Археология, этнография и антропология Евразии. № 4 (56). 2013. С.38-49.

Деев Е.В., Чупина Д.А. Неотектоническое районирование северо-запада Горного Алтая на основе морфометрического анализа цифровой модели рельефа// VIII Всероссийское совещание по изучению четвертичного периода: «Фундаментальные проблемы квартера, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований». Сб.статей (г.Ростов-на-Дону, 10-15 июня 2013 г.). – Ростов н/Д: Издательство ЮНЦ РАН, 2013.С. 162-164.

Подготовлены к печати две статьи по северному Приангарью и Горному Алтаю.

Исполнители: д.г.-м.н. Зольников И.Д., Деев Е.В., к.т.н. Глушкова Н.В., к.г.-м.н. Лямина В.А., мнс Чупина Д.А.

Редокс механизм образования алмаза при взаимодействии субдуцированных карбонатов и металл-содержащих пород литосферной мантии

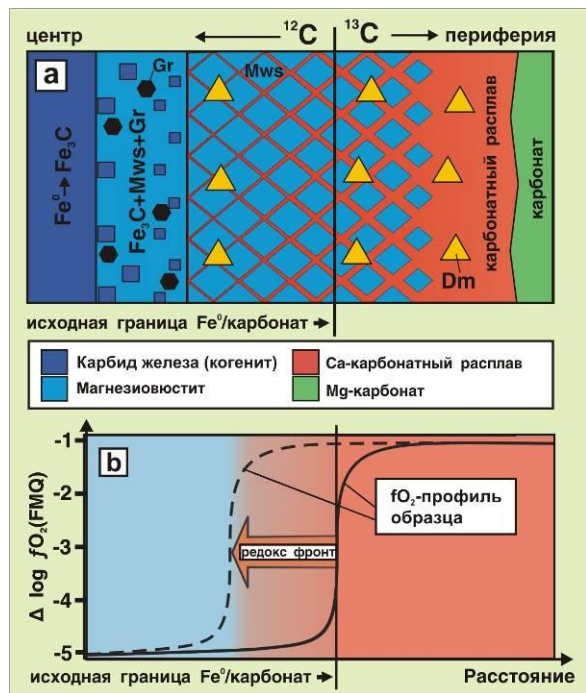
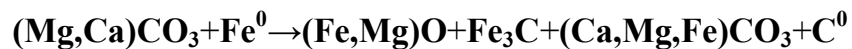
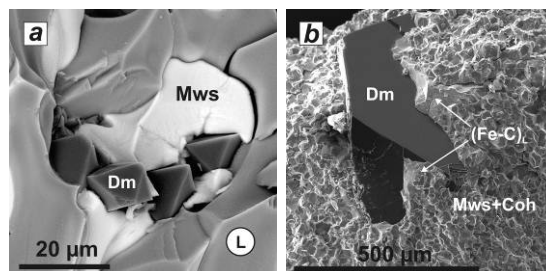
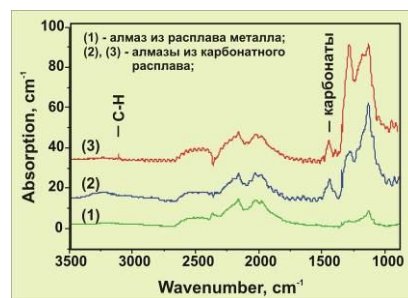


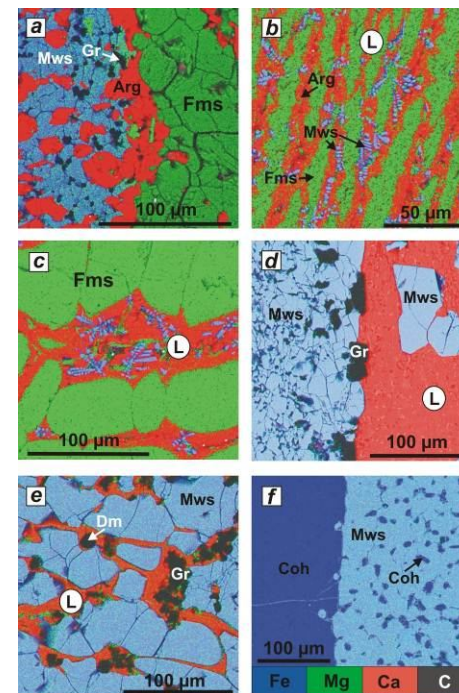
Схема взаимодействия карбонат-железо, иллюстрирующая механизм образования редокс фронта: а) расположение фаз в образце; б) fO₂-профиль и продвижение редокс фронта;



РЭМ-микрофотографии: (а) – алмаз и магнезиовюстит в карбонатном расплаве; (б) – алмаз в агрегате Mg-вюстита, когениита и закалочного металл-углеродного расплава;



ИК-спектры алмазов, полученных при взаимодействии карбонат-железо.



Карты распределения элементов в образцах, полученных при взаимодействии карбонат-железо.

Проведены экспериментальные исследования по взаимодействию Mg,Ca-карбоната и железа, моделирующие процессы на границе окисленного субдуцированного материала и восстановленных пород мантии. Установлено, что за счет градиента fO_2 в экспериментах формируется редокс фронт. Позади фронта, в окислительных условиях, происходит генерация обогащенного Са карбонатного расплава, являющегося одновременно средой кристаллизации и источником углерода высоко азотных (1000-1500 ppm) алмазов. Впереди фронта, в восстановительных условиях синтез алмаза происходит только из расплава Fe-C, а полученный алмаз характеризуется низким содержанием азота (100-200 ppm). Таким образом, полученные алмазы, единым источником углерода которых является карбонат, значительно отличаются по составу включений, соотношению изотопов углерода и содержанию азота, что позволяет понять природу гетерогенности и разнообразия алмазов в мантии Земли.

Palyanov Y.N., Bataleva Y.V., Sokol A.G., Borzdov Y.M., Kupriyanov I.N., Reutsky V.N., Sobolev N.V. Mantle-slab interaction and redox mechanism of diamond formation / Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 2013, doi:10.1073/pnas.1313340110