

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛОГИИ ИМЕНИ В.С. СОБОЛЕВА

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
SIBERIAN BRANCH
V.S. SOBOLEV INSTITUTE OF GEOLOGY AND MINERALOGY

ПРОБЛЕМЫ МАГМАТИЧЕСКОЙ И МЕТАМОРФИЧЕСКОЙ ПЕТРОЛОГИИ, ГЕОДИНАМИКИ И ПРОИСХОЖДЕНИЯ АЛМАЗОВ

Тезисы докладов Международной конференции,
посвященной 110-летию со дня рождения академика Владимира Степановича Соболева
Новосибирск, 9-14 июня 2018г.



THE PROBLEMS OF MAGMATIC AND METAMORPHIC PETROLOGY, GEODYNAMICS AND GENESIS OF DIAMONDS

Abstracts of International Conference
dedicated to the 110th anniversary of Academician Vladimir Stepanovich Sobolev
Novosibirsk, 9-14 June 2018

УДК 551.14+553.81
ББК 26.21+26.325
П158

Проблемы магматической и метаморфической петрологии, геодинамики и происхождения алмазов: Тез. докл. Междунар. конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика В.С. Соболева, Новосибирск, 9-14 июня 2018 г./ Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т геологии и минералогии им. В.С. Соболева. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2018. - 200 с.

The problems of magmatic and metamorphic petrology, geodynamics and genesis of diamonds: Abstracts of International Conference dedicated to the 110th anniversary of Academician Vladimir Stepanovich Sobolev, Novosibirsk, June 9-14, 2018/Rus. Acad. of Sciences; Sib. Branch, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy. - Novosibirsk: Publishing House of SB RAS, 2018. - 200 p.

ISBN 978-5-9909460-2-6

Организаторы и спонсоры:

Новосибирский Государственный
Университет (НГУ)

Российская академия наук Сибирское
отделение Институт геологии и
минералогии имени В.С. Соболева (ИГМ
СО РАН)

Акционерное общество «Росгеология»

Российский фонд фундаментальных
исследований (РФФИ)

АК «АЛРОСА» (ПАО)

Научно-исследовательское геолого-
разведочное предприятие акционерной
компании «АЛРОСА» (НИГП АК
«АЛРОСА» ПАО)

Российское минералогическое общество
(Западно-Сибирское отделение)

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт нефтегазовой
геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения Российской
академии наук (ИНГГ СО РАН)

Sponsors:

Novosibirsk State University (NSU)

Russian Academy of Sciences Siberian Branch
V.S. Sobolev Institute of Geology and
Mineralogy (IGM SB RAS)

Joint Stock Company «Rosgeo»

Russian Foundation for Basic Research
(RFBR)

ALROSA Co.LTD

NIGP (Geo-Scientific research Enterprise) of
the joint-stock company «ALROSA»

Russian Mineralogical Society (West Siberian
Branch)

Federal State Budgetary Scientific Institution
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and
Geophysics of Siberian Branch of Russian
Academy of Sciences (IPGG SB RAS)

Тезисы докладов публикуются в авторской редакции

ISBN 978-5-9909460-2-6

© Коллектив авторов, 2018

© Институт геологии и минералогии
им. В.С. Соболева СО РАН, 2018

ISBN 978-5-9909460-2-6



9 785990 946026

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Сопредседатели:

Добрецов Н.Л. – академик, член президиума СО РАН, ИНГГ им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, г. Новосибирск,

Соболев Н.В. – академик, ИГМ им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

Соболев А.В. – академик, ГЕОХИ им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва, заслуженный профессор Гренобльского университета, Гренобль (Франция)

Заместители председателя:

Гаранин К.В. – к.г.-м.н., главный геолог АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Москва

Крук Н.Н. – д.г.-м.н., директор ИГМ им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

Похиленко Н.П. – академик, научный руководитель ИГМ им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

Федорук М.П. – чл.-корр. РАН, ректор НГУ, г. Новосибирск

Ученый секретарь оргкомитета:

Смирнов С.З. – д.г.-м.н., зам. директора ИГМ им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

Члены оргкомитета:

Ардт Н. – профессор Гренобльского Университета, г. Гренобль (Франция)

Асхабов А.М. – академик, директор ИГ КомиНЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

Афанасьев В.П. – д.г.-м.н., ИГМ им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

Богатиков О.А. – академик, ИГЕМ РАН, г. Москва

Бондур В.Г. – академик, вице-президент РАН, г. Москва

Борисенко А.С. – д.г.-м.н., ИГМ им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

Верниковский В.А. – академик, декан ГГФ НГУ, г. Новосибирск

Галимов Э.М. – академик, ГЕОХИ им. В.И. Вернадского, г. Москва

Гладкочуб Д.П. – чл.-корр. РАН, директор ИЗК СО РАН, г. Иркутск

Глико А.О. – академик, ИФЗ РАН, г. Москва

Голубев Ю.К. – к.г.-м.н., зав. отделом ЦНИГРИ, г. Москва

Ельцов И.Н. – д.г.-м.н., директор ИНГГ им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск

Желонкин Р.Ю. – главный геолог ОАО «Алмазы Анабара», г. Якутск

Когарко Л.Н. – академик, ГЕОХИ им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва

Конторович А.Э. – академик, ИНГГ им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск

Кориковский С.П. – чл.-корр. РАН, ИГЕМ РАН, г. Москва

Коротеев В.А. – академик, ИГТ им. А.Н. Заварицкого УрО РАН, г. Екатеринбург

Кривовичев С.В. – чл.-корр. РАН, председатель КНЦ РАН. Экс-президент Международной

минералогической ассоциации, г. Санкт-Петербург

Кузьмин М.И. – академик, ИГХ им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск

Кулаков И.Ю. – чл.-корр. РАН, заместитель директора ИНГГ им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск

Летников Ф.А. – академик, ИЗК СО РАН, г. Иркутск

Мареш В.А. – почетный профессор Рурского Университета, г.Бохум (Германия). Экс-президент Международной минералогической ассоциации

Марин Ю.Б. - чл.-корр. РАН, профессор Санкт-Петербургского горного университета, г. Санкт-Петербург

Маринычев П.А. – генеральный директор ОАО «Алмазы Анабара», г. Якутск

Мирный

Михайлов Б.К. – к.э.н., советник генерального директора АО «Росгеология», г. Москва

Отани Э. – заслуженный профессор Университета Тохоку, г. Сендай (Япония)

Пальянов Ю.Н. – д.г.-м.н., зав. лабораторией ИГМ им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

Поляков Г.В. – чл.-корр. РАН, ИГМ им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

Разумов А.Н. – главный геолог Виллойской экспедиции АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

Ревердатто В.В. – академик, ИГМ им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

Реутский В.М. – д.г.-м.н., зам. директора ИГМ СО РАН, г. Новосибирск

Рундквист Д.В. – академик, Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва

Серов И.В. – к.г.-м.н., начальник отдела поисковой геологии АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

Склярёв Е.В. – чл.-корр. РАН, ИЗК СО РАН, г. Иркутск

Соболев С.В. – профессор Гельмгольц Центра Наук о Земле и Потсдамского Университета, г. Потсдам (Германия)

Толстов А.В. – д.г.-м.н., директор НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

Томиленко А.А. – д.г.-м.н., ИГМ им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

Турэ Ж. – почетный профессор Свободного Университета г. Амстердам, г. Париж (Франция)

Узюнкоян А.А. – директор по геологоразведочным работам на ТПИ АО «Росгеология», г. Москва

Фридовский В.Ю. – д.г.-м.н., директор ИГАБМ, г. Якутск

Ханчук А.И. – академик, ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток

Шацкий В.С. – чл.-корр. РАН, ИГМ им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

Шертл Х.-П. – секретарь Международной минералогической ассоциации, г. Бохум (Германия)

Эпов М.И. – академик, ИНГГ им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск

Ярмолук В.В. – академик, ИГЕМ РАН, г. Москва

ORGANIZING COMMITTEE

Co-chairmen:

Dobretsov N.L. – academician, SB RAS presidium member, AA Trofimuk IPGG SB RAS, Novosibirsk, Russia,

Sobolev N.V. – academician, VS Sobolev IGM SB RAS, Novosibirsk, Russia

Sobolev A.V. – academician, GEOKHI RAS, Moscow, Russia; distinguished prof. of the University of Grenoble, Grenoble, France

Vice chairmen:

Garanin K.V. – chief geologist, ALROSA, Moscow, Russia

Kruk N.N. – director, VS Sobolev IGM SB RAS, Novosibirsk, Russia

Pokhilenko N.P. – academician, scientific supervisor, VS Sobolev IGM SB RAS, Novosibirsk, Russia

Fedoruk M.P. – corr. mem. RAS, rector of NSU, Novosibirsk, Russia

Scientific secretary:

Smirnov S.Z. – vice director, VS Sobolev IGM SB RAS, Novosibirsk, Russia

Organizing Committee:

Arndt N. – prof. of the University of Grenoble, Grenoble, France

Askhabov A.M. – academician, director, IG KomiSC UrB RAS, Syktyvkar, Russia

Afanasyev V.P. – VS Sobolev IGM SB RAS, Novosibirsk, Russia

Bogatikov O.A. – academician, IGEM RAS, Moscow, Russia

Bondur V.G. – academician, vice president of RAS, Moscow, Russia

Borisenko A.S. – VS Sobolev IGM SB RAS, Novosibirsk, Russia

Vernikovskiy V.A. – academician, dean of GGD NSU, Novosibirsk, Russia

Galomov E.M. – academician, GEOKHI RAS, Moscow, Russia

Gladkochub D.P. – corr. mem. RAS, director, IEC SB RAS, Irkutsk, Russia

Gliko A.O. – academician, IPE RAS, Moscow, Russia

Golubev Yu.K. – TSNIGRI, Moscow, Russia

Eltsov I.N. – director, AA Trofimuk IPGG SB RAS, Novosibirsk, Russia

Zhelonkin R.Yu. – chief geologist, ‘Anabar Diamonds’, Yakutsk, Russia

Kogarko L.N. – academician, GEOKHI RAS, Moscow, Russia

Kontorovich A.E. – academician, AA Trofimuk IPGG SB RAS, Novosibirsk, Russia

Korikovskiy S.P. – corr. mem. RAS, IGEM RAS, Moscow, Russia

Koroteev V.A. – academician, AN Zavaritsky IGG UrB RAS, Ekaterinburg, Russia

Krivivichev S.V. – corr. mem. RAS, chairman of the Cola SC RAS, IMA ex-president, Saint-Petersburg, Russia.

Kuzmin M.I. – academician, IGC SB RAS, Irkutsk, Russia

Koulakov I. Yu. – corr. mem. RAS, vice director, AA Trofimuk IPGG SB RAS, Novosibirsk, Russia

Letnikov F.A. – academician, IEC SB RAS, Irkutsk, Russia

Maresch V.A. – prof. em., Ruhr University, IMA ex-president, Bohum, Germany

Marin Yu.B. - corr. mem. RAS, Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia

Marinychev P.A. – CEO ‘Anabar Diamonds’, Yakutsk, Russia

Mikhailov B.K. – CEO counselor ‘ROSGEO’, Moscow, Russia

Ohtani E. –prof. em., Tohoku University, Sendai, Japan

Palyanov Yu.N. – VS Sobolev IGM SB RAS, Novosibirsk, Russia

Polyakov G.V. – corr. mem. RAS, VS Sobolev IGM SB RAS, Novosibirsk, Russia

Razumov A.N. – chief geologist, Vlui expedition of ‘ALROSA’, Mirny, Russia

Reverdatto V.V. – academician, VS Sobolev IGM SB RAS, Novosibirsk, Russia

Reutsky V.M. – vice director, IGM CO RAS, Novosibirsk, Russia

Rundkvist D.V. –academician, VI Vernadsky Geological Museum RAS, Moscow, Russia

Serov I.V. – ‘ALROSA’, Mirny, Russia

Sklyarov E.V. – corr. mem. RAS, IEC RAS, Irkutsk, Russia

Sobolev S.V. –prof. GFZ and Potsdam University, Potsdam, Germany

Tolstov A.V. – director NIGP ‘ALROSA’, Mirny, Russia

Tomilenko A.A. – VS Sobolev IGM SB RAS, Novosibirsk, Russia

Touret J. –prof. em., Vrie University of Amsterdam, Paris, France

Uzyunkoyan A.A. – geol. prospection director ‘ROSGEO’, Moscow, Russia

Fridovsky V.Yu. – director DPMGI SB RAS, Yakutsk, Russia

Khanchuk A.I. – academician, FEGI FEB RAS, г. Владивосток

Shatsky V.S. – corr. mem. RAS, VS Sobolev IGM SB RAS, Novosibirsk, Russia

Schertl H.-P. – IMA secretary, Bohum, Germany

Epov M.I. – academician, AA Trofimuk IPGG SB RAS, Novosibirsk, Russia

Yarmolyuk V.V. – academician, IGEM RAS, Moscow, Russia

ВОЗРАСТ И ГЕОХИМИЯ ЦИРКОНОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ ЯКУТИИ

Агашев А.М.¹, Зайцева М.В.², Серов И.В.³, Толстов А.В.³

¹ ИГМ СО РАН
agashev@igm.nsc.ru

² ИГГ УрО РАН.

³ АКАД. АЛРОСА

С целью уточнения возраста кимберлитов Якутской алмазоносной провинции были изучены и продатированы U-Pb методом цирконы из кимберлитовых трубок Мир, Амакинская и Интернациональная Мирнинского кимберлитового поля, трубки Рятанка и Мало-Куонамская Куранахского поля и трубки Хайрыгастах и Дружба Чомурдахского поля.

Мирнинское поле. Было изучено 15 цирконов из трубки Мир. Все зерна крупные класса +2мм, цветовая гамма от светло –коричневых к светло желтым и почти бесцветным. В каждом зерне возраст определен в одной точке и Pb^{206}/U^{238} возраст отдельных зерен варьирует в пределах от 345 до 388 миллионов лет (Ma). Конкордантный возраст, рассчитанный по всем 15 ти зернам, составляет 363.5 ± 4.0 Ma что соответствует возрасту кимберлитов этого поля (Дэвис и др. 1980; Agashev et al, 2016). Изучено одно зерно циркона из тр. Интернациональная. Конкордантный возраст этого циркона составляет 365 ± 17 Ma. Большая ошибка обусловлена очень низкими содержаниями U и Pb в этом цирконе. Конкордантный возраст циркона из тр. Амакинская составляет 359 ± 15 Ma что соответствует полученным ранее возрастам для этой трубки по рутилу и сфену (Agashev et al, 2016).

Чомурдахское поле. Трубка. Хайрыгастах Изучено 10 зерен циркона из трубки Хайрыгастах, зерна класса +2мм светло коричневых и желтоватых оттенков. Зерна были проанализированы в одной точке каждое, и спектр полученных Pb^{206}/U^{238} возрастов составил от 397 до 432 Ma. Конкордантный возраст (рисунок 5) по всем 9 ти цирконам составляет 418.8 ± 4.7 Ma что подтверждает существование Силурийского этапа кимберлитового магматизма на Сибирской платформе.

Трубка Дружба. Проанализировано 9 зерен цирконов из трубки Дружба. Один циркон имеет Pb^{206}/U^{238} возраст 561 Ma, пять зерен циркона имеет возраста в пределах 415-438 Ma и еще 3 зерна показали Девонский возраст, в пределах 359-364 Ma. Конкордантный возраст по 5 ти цирконам составляет 426 ± 9.1 Ma что соответствует Силурийскому этапу кимберлитового магматизма как и цирконы тр. Хайрыгастах. Конкордантный возраст по 3 м цирконам составляет 361 ± 9.0 Ma что соответствует Девонскому этапу кимберлитового магматизма.

Куранахское поле. Трубка Рятанка. Было изучено 10 зерен цирконов из трубки Рятанка, размер зерен +2 мм. Каждое зерно было проанализировано в одной точке. Спектр полученных Pb^{206}/U^{238} возрастов составляет от 216 до 251 Ma. Конкордантный возраст составляет 231.8 ± 3.1 Ma что соответствует Триасовому этапу кимберлитового магматизма.

По форме распределения РЗЭ все изученные цирконы являются мантийными, т.к имеют типичное для мантийных цирконов распределение РЗЭ. Они, скорее всего являются частью мегакристной ассоциации которая формируется в пред-кимберлитовый этап мантийного метасоматоза и поэтому дают возраст соответствующий внедрению кимберлита.

Ссылки:

1. Дэвис Г. Л., Соболев Н.В., Харьков А.Д. // ДАН СССР. 1980. Т. 254. – С. 175-179.
2. Agashev A. M., Orihashi Y., Pokhilenko N. P., Serov I. V., Tolstov A. V. and Nakai, S. 20016. Age of Mirny Field Kimberlites (Siberia) and application of Rutile and Titanite for U–Pb dating of kimberlite emplacement by LA-ICP-MS// Geochemical Journal, Vol. 50, pp. 431 to 43

СОСТАВ КЛИНОПИРОКСЕНА И ШПИНЕЛИДОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ КИМОЗЕРО (КАРЕЛИЯ)

Азарова Н.С.¹, Бовкун А.В.¹, Носова А.А.², Гаранин В.К.¹, Хонг Х.Л.³

¹ Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,

nadiya-azarova@mail.ru

² ИГЕМ РАН,

nosova@igem.ru

³ Факультет наук о Земле КГУ, Китай,

honghl8311@yahoo.com.cn

Раннепротеройзойские кимберлиты Кимозера, расположенные в пределах Карельского кратона, относятся к наиболее древним коренным проявлениям алмазоносных пород. Возраст их формирования соответствует 1986 ± 4 млн. лет [1]. Основные индикаторные минералы этих кимберлитов – хромшпинелиды и ильменит, в очень малых количествах присутствуют пироп и клинопироксен[2].

Изучен состав клинопироксена и хромшпинелидов (37 и 50 зерен, соответственно) из тяжелой фракции кимберлитов Кимозера. Концентрации микропримесей определены методом LA-ICP-MS в лаборатории SampleSolution (Китай, Ухань).

Клинопироксен представлен хромдиопсидом ($Mg\# = 84,6-93,7$; $Ca\# = 44,6-49,7$), содержащим (мас.%) 0,5–3,5 Cr_2O_3 , 0,3–2,2 Al_2O_3 , 1–2,6 Na_2O , до 0,4 TiO_2 , сходным по составу с хромдиопсидом из равномернозернистых лерцолитов, вебстеритов и пироксенитов ($\pm$ ильменитовых) [3]. Большинство изученных клинопироксенов имеют сходные спектры распределения редкоземельных элементов, при этом они резко обеднены тяжелыми РЗЭ относительно легких. В подавляющем большинстве зерен отношение $(La/Yb)_n$ равно 5,1–28,7 (нормировано к хондриту CI), отдельные зерна значительно более интенсивно деплетированы тяжелыми РЗЭ ($(La/Yb)_n = 88,7-233,9$, в единичных случаях 637,4). Спектры распределения РЗЭ для большинства изученных зерен в области легких элементов имеет куполовидную форму. Как правило, $(La/Ce)_n$ и $(La/Pr)_n$ отношения < 1 . Характерны высокие значения отношений $(Dy/Yb)_n$ и $(Gd/Er)_n$ (2,6–10,7 и 2,6–8,5, соответственно).

Около 12% изученных зерен хромшпинелидов ($Cr\# = 81-93$, до 0,6 мас.% TiO_2 , 10–13 мас.% MgO) соответствуют магнезиохромиту алмазоносных дунитов и гарцбургитов. Преобладают хромшпинелиды лерцолитового парагенезиса, варьирующие по составу ($Cr\# = 66-93$, до 2,6 мас.% TiO_2 , 9,7–13,5 мас.% MgO). Часть зерен (около 8%) обогащена TiO_2 (3,7–4,8 мас.%) и Fe_2O_3 при $Cr\# = 81-94$. Наиболее высокохромистые хромшпинелиды характеризуются повышенным содержанием Ni (440–1100 ppm). Более высокое содержание Ni (1100–1330 ppm) отмечается для низкохромистых разностей. Проявлена положительная зависимость между содержаниями Ni и TiO_2 , Ni и FeO, Ga и Ni. В периферических зонах большинства изученных зерен шпинелидов количество MgO резко снижается, увеличивается содержание FeO, появляется примесь MnO и ZnO.

Ссылки:

1. Самсонов А.В., Ларионова Ю.О., Сальникова Е.Б. и др. (2009) Изотопная геохимия и геохронология палеопротерозойских кимберлитов Кимозерского проявления (Карелия). В кн.: Мат. IV Росс. конф. изотоп. геохронол. СПб., С.158-161.
3. Устинов В.Н., Загайный А.К., Смит К.Б. и др. (2009) Раннепротерозойские алмазоносные кимберлиты Карелии и особенности их формирования // Геология и геофизика. Т. 50. № 9. С. 963-977.
4. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия) / Под ред. О.А. Богатикова, М.: МГУ, 1999, 524 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ГРАНАТОВ ПРИ ПОИСКАХ КИМБЕРЛИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Антонова Т.А.

НИГП АК “АЛРОСА” (ПАО)

AntonovaTA@alrosa.ru

Одним из весьма эффективных средств изучения гранатов является оптическая спектроскопия поглощения. В частности окраска, численно выраженная через колориметрические параметры (λ_k и pc), может быть использована в качестве индикатора физико-химических условий минералообразующей среды [1, 2].

Целью данной работы являлось показать с помощью метода оптической спектроскопии в видимой области всю информативность, которую мы можем получить при исследовании гранатов. Вся обработка от стадии регистрации спектров пропускания до определения парагенетической принадлежности и цвета гранатов осуществлялась с использованием специально разработанного программного пакета [3].

Проведено исследование 1188 кристаллов гранатов из 9 объектов Мало-Ботуобинского алмазоносного района методами оптической спектрометрии поглощения. Для всех разновидностей гранатов, присутствующих в выборках, по спектрам поглощения вычислялись колориметрические показатели с определением цвета по классификации МОК (в перерасчете на толщину кристалла 1 мм). Для исследуемых гранатов характерно изменение окраски от желто-оранжевой до пурпурно-красной. В выборках из трубок Мир, Интернациональная, Таёжная, россыпей Водораздельные галечники, Геофизическая, ручья Уллах и участка Ботуобинский преобладают (более 50 % от общего количества проанализированных зерен) кристаллы оранжевого и красновато-оранжевого цвета. В выборках из трубки им. XXIII съезда КПСС, ручья Широкий в 50 % от общего количества кроме указанных двух цветов, попадают гранаты красного и жёлтовато-оранжевого цвета соответственно.

В общем объеме всех изученных кристаллов Мало-Ботуобинского района преобладают гранаты из лерцолитовых парагенезисов (более 40%), в основном равномернозернистые лерцолиты, а гранатов из вебстеритов - 8,2% и из вебстеритов с пониженным ортопироксеном -7,8%. Только в исследуемой выборке из трубки Интернациональная присутствуют гранаты из потенциально алмазоносных гарцбургитов (1,1%) и из верлитов (1,7%), а в трубке Таежная - желваки гранатов (1,3%). В гранатах из алмазоносных ассоциаций преобладают кристаллы из основных глубинных пород – эклогитов, в частности, магнезиально-железистых (в трубках Мир-5%, Интернациональная -6,2%, Таежная -8,9%, им. XXIII съезда КПСС -15,3%, в россыпи Водораздельная галечники -2,6%, ручья Зимний -0,9%, участка Ботуобинский -1,1%), а гранатов из алмазоносных дистеновых эклогитов содержится: в трубках Мир -1,23%, Таежная -7,6 %, им. XXIII съезда КПСС -8,1%, в ручьях Уллах -1,9 % и Широкий -0,9% и в россыпи Геофизическая -0,6%. Содержание гранатов из алмазоносного корундового эклогита составляет в трубках Интернациональная -4%, Таежная -1,3%, им. XXIII съезда КПСС -2,7%, в россыпи Водораздельные галечники -1,3%. Гранаты из потенциально алмазоносных дунитов присутствуют в небольших количествах только в трубках Мир -1,84%, Таежная -1,3% и им. XXIII съезда КПСС -0,9%.

Использование оптической спектроскопии позволяет решать ряд важных прогнозно-поисковых задач, таких как: районирование по гранатам с определенными характеристиками, проводить сравнение выборок гранатов из различных шлиховых ореолов и россыпей, осуществлять привязку россыпей и шлиховых ореолов к конкретному известному коренному источнику, сделать объективное заключение о том, что данная выборка пиропов не принадлежит ни одному из известных коренных источников в данном районе.

Ссылки:

1. Мацюк С.С, Зинчук Н.Н. Оптическая спектроскопия минералов верхней мантии. – М.: Недра, 2001. - 426 с.
2. Мацюк С. С., Платонов А.Н., Хоменко В.М. Оптические спектры и окраска мантийных минералов в кимберлитах. – Киев: Наук. думка, 1985.
3. Макаровский И. В., Программное обеспечение обработки результатов оптико-спектроскопических исследований гранатов// В кн.: Информационные технологии в науке, образовании, обществе. Якутск, 2001. - С. 8-9.

К НОВОМУ «МИРУ ОБОЙДЕННЫХ ВЕЛИЧИН»

Асхабов А.М.

ИГ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
xmin@geo.komisc.ru

Чуть более ста лет назад профессор Лейпцигского университета Вольфганг Оствальд опубликовал книгу под названием «Мир обойденных величин» [1]. В ней по существу была заявлена программа назревшего к тому времени исследовательского прорыва в мир микроскопических частиц, обозначены основные задачи и приложения сформировавшейся на этой основе новой самостоятельной науки - коллоидной химии. Призыв В. Оствальда нашел доброжелательный отклик в умах исследователей. Уже в первые последовавшие после этого годы произошел впечатляющий прорыв в изучении коллоидных частиц. В 1925–1926 годах Р. Зигмонди («открыл доступ в мир недоступных размеров») и Т. Сведберг с Ж. Перрен (за прорыв в «мир дискретных частиц») были удостоены Нобелевской премии.

Однако программа В. Оствальда из-за инструментальных ограничений не была тогда реализована в полной мере. Новый этап вторжения в «мир обойденных величин» начался ближе к концу 20-го столетия и был связан с выдающимися открытиями 80-х годов (открытие суператов, фуллеренов, появление нового инструментария и т.д.) Главным объектом на этом этапе стали наноразмерные частицы и физико-химические процессы на наноуровне. Этот этап самым серьезным образом отразился на развитии наук о веществе, на материаловедении, кристаллографии и минералогии. В повестку дня встал вопрос о развитии новых наук, в том числе наноминералогии.

Научное сообщество признало уникальность явлений и процессов в наномире, специфичность свойств нанообъектов и резко интенсифицировало исследования в этой междисциплинарной области. Несомненно и то, что научная интервенция в наномир, особенно в части прикладных аспектов развития нанонауки (нанотехнологий) имеет и политическое сопровождение (национальные нанотехнологические инициативы) и это обстоятельство в очень важной степени определяет особенности современного этапа микро- и наноисследований вещества, возникшего на этой основе нанотехнологического бума. Не будет преувеличением сказать, что папо стало «дорожной картой» современной науки.

Значительный прогресс в понимании свойств наномира мы связываем с разработкой кватаронной концепции [2-4], которая в частности, удивительно простым образом решила проблему зарождения и роста кристаллов.

Признавая вполне успешный и многообещающий характер современного этапа минералогического вторжения «в мир обойденных величин» мы отмечаем, что теперь наступает очередь для формирования новой программы исследовательского прорыва в мир становящихся доступными для изучения объектов и процессов в интервале от размеров отдельных атомов и молекул до первых минеральных индивидов (наноиндивидов). Этот протоминеральный мир – это сегодня новый «мир обойденных величин». Что интересно, для его покорения формируется не только теоретический базис, но и создается соответствующий экспериментальный инструментарий. В частности, хорошие перспективы для изучения протоминерального мира связаны с введенным недавно в действие Европейским лазером на свободных электронах.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН (проект № 18-5-5-44).

Ссылки:

1. Оствальд В. Мир обойденных величин. Введение в современную коллоидную химию с обзором ее приложений. М.: изд-во т-во «Мир», 1923. 228 с.
2. Асхабов А. М. Кластерная (кватаронная) самоорганизация вещества на наноуровне и образование кристаллических и некристаллических материалов // Зап. ВМО. 2004. № 4. С. 108–123.
3. Асхабов А. М. Кватаронная концепция: основные идеи и некоторые приложения // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2011. № 3. С. 70–77.
4. Асхабов А. М. Кватаронные модели зарождения и роста кристаллов // ЗРМО. 2016. № 5. С. 17–24.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФОРМЫ ВКЛЮЧЕНИЙ В АЛМАЗАХ

Афанасьев В.П.¹, Логвинова А.М.¹, Угапьева С.С.², Федорова Е.Н.¹

¹ИГМ СО РАН
avp-diamond@mail.ru

²ИГАБМ СО РАН
sargylana-ugapeva@yandex.ru

На основе анализа морфологии включений оливинов в алмазах нами высказано предположение о возможности преобразования формы включений, в результате которых они могут принимать не свойственную им огранку, в частности октаэдрическую, будучи уже включенными в алмазы [1]. В развитие данного предположения проведено изучение границы алмаз-включение с использованием КР-спектроскопии, показавшее наличие флюидной фазы (рис. 1а, б), соответствующей по [2] $\text{Si}_2\text{O}(\text{OH})_6$, $\text{Si}(\text{OH})_4$ и молекулярной воде. С помощью ПЭМ на границе выявлены вакуоли с флюидом в краевой зоне включения (рис. 1в). Наличие флюида обеспечивает диффузию компонентов включения и создает предпосылки для изменения его морфологии. Но одновременно требуется массоперенос вещества алмаза, которое нерастворимо в флюидной фазе и осуществляется, вероятно, путем собственной поверхностной диффузии атомов углерода. Термодинамически процесс направлен на минимизацию поверхностной энергии на границе раздела фаз, осуществляемую через переогранку объема, занимаемого включением. Кристаллы алмазов имеют весьма большую величину поверхностного натяжения, которая для грани (110) равна 10 000 Н/м, т.е. аномально высока по сравнению с поверхностным натяжением других твердых тел (~400-500 Н/м); такое соотношение (~1/20) соответствует твердому телу и жидкости. Поэтому алмаз имеет бесспорное преимущество в оформлении объема и переограняет его в отрицательный октаэдр. Процесс может затормозиться на любой стадии, если алмаз перешел в геосферу с более низкой температурой, не обеспечивающей диффузию. Массоперенос алмаза в зоне включения можно предполагать по наличию бесструктурных ореолов вокруг включений в картинах катодоллюминесценции: ликвидируются характерные черты зональности, свойственной алмазу (рис. 1г).

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект 0330-2016-0006.

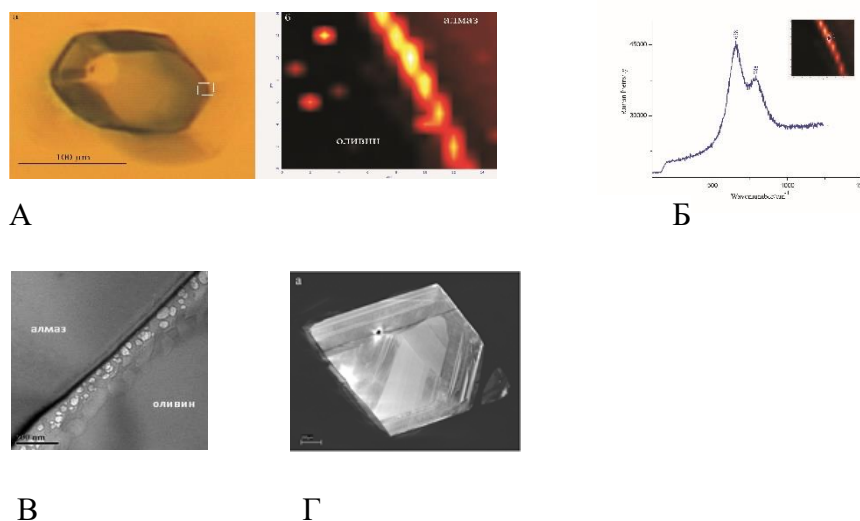


Рис. 1. А – включение оливина в алмазе и граница включение – алмаз (КР-картирование), б – спектр КР флюида на границе оливин-алмаз, в - ПЭМ изображение вакуолей с флюидом на границе оливин-алмаз, г – бесструктурная зона вокруг включения оливина в алмазе (катодоллюминесценция).

Ссылки:

1. Афанасьев В.П., Угапьева С.С. Возможно ли преобразование формы включений в алмазах? // Отечественная геология, 2017. – №5. – С. 31-36
2. Nimis P, Alvaro M, Nestola F, Angel R, Marquardt K, Rustioni G, Harris J, Marone F. First evidence of hydrous silicic fluid films around solid inclusions in gemquality diamonds // Lithos, 2016.

ВКЛЮЧЕНИЯ ШПИНЕЛИДОВ И ИЛЬМЕНИТОВ ВО ФЛОГОПИТАХ ТРУБКИ МАЛОКУОНАПСКАЯ

Бабушкина С.А.

ИГАБМ СО РАН

ssta@list.ru

Трубка Малокуонапская, расположенная в Куранахском кимберлитовом поле, характеризуется полупромышленной алмазоносностью. Слюды из неизменной кимберлитовой брекчии северного рудного столба относятся к низко- (< 1 мас.%) и высокотитанистым (2,76 – 5,66 мас.% TiO_2) разностям. Среди первых по содержанию FeO выделяются две группы флогопитов: низкожелезистая (2,48 – 3,58 мас. %) и с повышенным содержанием железа (7,08 – 8,33 мас.%). Среди высокотитанистых разностей также можно выделить две группы слюд с интервалами содержаний FeO (масс. %) 4,63 – 7,83 и 8,51 – 16,39. Максимальное содержание Cr_2O_3 достигает 1,05 мас. %.

Практически во всех зернах встречаются кристаллические включения, представленные пикроильменитами (иногда хромистыми). Безмагнезиальных или низкомагнезиальных ильменитов не диагностировано. Также широко распространены шпинелиды различного состава – от высокохромистых разностей (max Cr_2O_3 55 мас.%) до титаномagnetитов. Включения отмечены во всех группах слюд, кроме высокотитанистой и самой высокожелезистой.

В одном из зерен пикроильменита (сросток с флогопитом) установлено включение высокожелезистого оливина (рис), состав которых приведён в таблице.

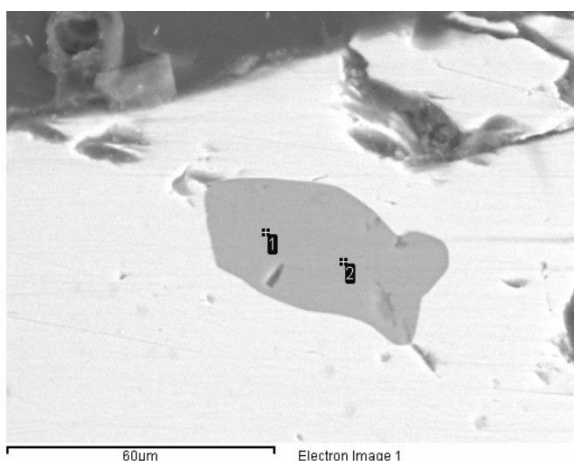


Рис. Включение оливина (тёмное) в пикроильмените (светлое).

Таблица. Микронзондовые анализы состава пикроильменита и включенного в него оливина.

Минерал	SiO_2	TiO_2	Cr_2O_3	FeO	MgO	Сумма
ильменит	—	48,75	2,40	38,97	9,19	99,32
оливин	36,65	0,76	—	17,89	43,99	99,19

Работа выполнена в рамках программы ФНИ «Эволюция земной коры Северо-Азиатского кратона, базит-ультрабазитовый и кимберлитовый магматизм, алмазоносность Якутской кимберлитовой провинции» (№ 0381-2016-0003).

КАРБИД ЖЕЛЕЗА КАК ОДИН ИЗ ИСТОЧНИКОВ УГЛЕРОДА ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ГРАФИТА И АЛМАЗА В УСЛОВИЯХ ЛИТОСФЕРНОЙ

Баталева Ю.В.¹, Пальянов Ю.Н.¹, Борздов Ю.М.¹

¹ ИГМ СО РАН
bataleva@igm.nsc.ru

Карбид железа (Fe_3C , когени́т) является наиболее вероятным минералом-концентратором углерода в условиях восстановленных доменов литосферной мантии. Экспериментальное моделирование углерод-продуцирующих процессов взаимодействия когени́та с восстановленными и окисленными флюидами, а также с мантийными силикатами, сульфидами и оксидами обусловлено, прежде всего, актуальностью проблемы определения источника углерода в процессах природного алмазообразования. Экспериментальные исследования проведены в системах карбид-сера, карбид-сульфид, карбид-оксид и карбид-оксид-карбонат, при давлении 6,3 ГПа, в интервале температур 900-1600 °С и длительностях 20-60 ч, на многопуансонной аппаратуре высокого давления «разрезная сфера» (БАРС). Установлено, что взаимодействие карбида железа с преимущественно серным флюидом или пиритом при $T \leq 1100$ °С приводит к экстракции углерода из карбида и образованию графита в ассоциации с пирротином. При более высоких температурах кристаллизация графита сопровождается генерацией сульфидного и металл-сульфидного расплавов. Установлено, что в металл-сульфидном расплаве при $T \geq 1500$ °С кристаллизуется не только графит, но и происходит рост алмаза [1].

Экспериментально продемонстрировано, что взаимодействие карбид-оксид приводит к формированию графита в ассоциации с железистыми ортопироксеном или гранатом, вюститом и когени́том (1100 и 1200 °С), а также расплава Fe-C-O (1300-1500 °С). Установлено, что основными процессами, реализующимися в системах при 1100 и 1200 °С, являются окисление когени́та, экстракция углерода из карбида и кристаллизация метастабильного графита, а также образование железистых силикатов [2]. При $T \geq 1300$ °С кристаллизация графита и рост алмаза происходят в результате редокс взаимодействия преимущественно металлического расплава (Fe-C-O) с оксидами и силикатами, а также межзерновым флюидом. В результате экспериментов в системе карбид-оксид-карбонат установлено формирование ассоциации графита и мантийных силикатов (граната или ортопироксена) с включениями расплава Fe-C и графита. Экспериментально продемонстрировано, что основные процессы взаимодействия в системе описываются реакциями декарбонатизации, а также углерод-продуцирующими редокс реакциями карбида железа и CO_2 -флюида. Данные процессы могут локально происходить в природных обстановках, при субдукции окисленного корового материала в металл-содержащие породы восстановленной мантии. Экспериментально доказано, что избирательный захват включений металлического расплава и графита силикатами, устойчивыми в присутствии CO_2 флюида, является одним из потенциальных механизмов сохранения металлической фазы и элементарного углерода в мантийных доменах, подвергающихся переработке агентами окислительного метасоматоза.

Полученные результаты позволяют рассматривать когени́т (Fe_3C) в качестве потенциального источника углерода в процессах кристаллизации графита и алмаза в условиях восстановленной литосферной мантии, а взаимодействия карбида железа с мантийными флюидами, силикатами, оксидами и сульфидами, в ходе которых реализуется экстракция углерода - как возможные процессы глобального углеродного цикла.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-35-60024), а также в рамках государственного задания (проект № 0330-2016-0007).

Ссылки:

1. Bataleva Y.V., Palyanov Y.N., Borzdov Y.M. et al. (2017): Iron carbide as a source of carbon for graphite and diamond formation under lithospheric mantle P-T parameters // *Lithos*. V. 286–287. P. 151–161.
2. Баталева Ю.В., Пальянов Ю.Н., Борздов Ю.М. и др. (2018): Образование ассоциации Fe,Mg-силикатов, Fe^0 и графита (алмаза) в результате окисления когени́та в условиях силикатной мантии // Доклады РАН. Т. 479. № 1. С. 59–62.

ОСОБЕННОСТИ РОСТОВОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ АЛМАЗОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ РАЗНЫХ РАЙОНОВ ЯКУТИИ

Богуш И.Н., Специус З.В., Помазанский Б.С.

НИГП АК «АЛРОСА»

BogushIN@alrosa.ru

Внутреннее строение и распределение структурных дефектов по объему кристаллов алмаза отражают специфику условий их образования [1, 2]. Для установления особенностей генезиса алмазов в разных районах Якутии проведено исследование 100 кристаллов из текущей добычи трубок Мир, Нюрбинская, Удачная, Юбилейная и Айхал. Отбирались визуально зональные по свечению в УФ-лучах кристаллы класса -7+6 (SITY) октаэдрического и ромбодекаэдрического габитуса I разновидности по Ю.Л. Орлову [3]. Из алмазов ориентировочно через геометрический центр были изготовлены плоскопараллельные пластинки толщиной 0,3–0,9 мм. Для выявления особенностей внутреннего строения кристаллов использовались следующие методы: катодолюминесцентная топография, поляризационно-оптический, люминесцентная спектроскопия и Фурье ИК-микроскопия с детальным картированием (шаг около 50 мкм).

По границам на катодолюминесцентных топограммах и цвету фотолюминесценции (ФЛ) в большей части изученных пластинок алмазов выделены по две ростовые зоны, но присутствуют кристаллы с тремя различными по спектральным свойствам областями. ИК-исследования пластинок показали резкое возрастание концентрации примеси водорода в начале новой области роста и последующее ее снижение до нуля почти для всех алмазов из указанных трубок. Также в кристаллах распространены зоны, в которых фиксируется постепенное понижение примеси азота в процессе роста. В то же время не наблюдается взаимосвязи между содержанием примесей азота и водорода даже для одного коренного источника на разных стадиях кристаллизации алмазов. Повышенные содержания примесей в начале процесса роста и ее понижения к завершению роста, вероятно, обусловлены постепенным обеднением алмазогенерирующей среды азотом и водородом и, на наш взгляд, свидетельствуют о смене окислительно-восстановительных условий в ходе последовательных стадий кристаллизации алмазов.

На катодолюминесцентных изображениях пластинок алмазов из разных месторождений часто встречается центральная зона с интенсивными следами растворения. В этой зоне наблюдается постепенное снижение высоко агрегированного азота от высоких значений (у некоторых кристаллов от 2500 at. ppm при более чем 90% в В-форме) до 150–200 at. ppm. Она характеризуется интенсивной синей ФЛ. Большая распространенность таких зон в алмазах из месторождений разных районов Якутии свидетельствует о масштабности этого этапа алмазообразования с последующим растворением на определенном этапе времени. В алмазах из разных месторождений также распространены малоазотистые (от 50 at. ppm с понижением до 10 at. ppm) зоны со слабой фотолюминесценцией. Для алмазов из трубок Мир и Нюрбинская это в основном небольшие центральные области, а для кристаллов из трубок Удачная, Юбилейная и Айхал – промежуточные и периферийные, имеющие большую проявленность и распространение. Нередко в кристаллах из трубок Удачная, Юбилейная и Айхал эта периферийная область нарастала на описанную выше зону с интенсивным растворением. Для кристаллов из кимберлитов трубок Мир и Нюрбинская типичны поздние генерации алмазов с повышенными концентрациями азота при малой его агрегации, с розовой или фиолетовой ФЛ, именно они в большей степени определили алмазоносность высокопродуктивных трубок этих районов.

Проведенные исследования позволили выявить схожие признаки и стадийность ростовой зональности алмазов из разных районов Якутии, подтверждающие региональную проявленность процессов алмазообразования на разных геологических этапах, а также установить различия ростовой зональности алмазов из разных источников, определяющие их типоморфизм.

Ссылки:

1. Бескрованов В.В. (2000): Онтогенез алмаза. Новосибирск: Наука, 264 с.
2. Zaitsev A.M. (2001): Optical properties of diamond: A data handbook. Springer Berlin Heidelberg, 502 p.
3. Орлов Ю.Л. (1984): Минералогия алмаза. М.: Наука, 1984, 264 с.

ЭПОХИ АЛМАЗОНОСНОГО МАГМАТИЗМА В СУПЕРКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ЦИКЛАХ

Божко Н.А.

Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
bozhko@yandex.ru

Связь между проявлениями алмазоносного магматизма и суперконтинентальными циклами в общем виде отмечалась в работах ряда исследователей, большинство которых относили эти проявления к распаду суперконтинентов. В докладе этот вопрос рассматривается на основе разработанного автором суперконтинентального цикла продолжительностью 400 млн лет, состоящего из двух стадий и четырех фаз. Стадии отражают смену двух состояний Земли: 1) один континент - один океан и 2) несколько континентов-несколько океанов. Каждая из этих стадий состоит из двух фаз. В рамках первой стадии выделена фаза аггломерации продолжительностью 90 млн лет, во время которой происходит интеграция, «слипание» частей новообразованного суперконтинента и приращение к нему последних незначительных континентальных фрагментов и фаза деструкции (70 млн лет), характеризующаяся развитием континентального рифтогенеза. Вторая стадия содержит фазу распада суперконтинента и образования «молодых» океанов (90 млн лет) и фазу его сборки (160 млн лет) в которой доминируют процессы субдукций и коллизий. Непрерывная последовательность семи указанных циклов в течение последних 3 млрд лет Земли создала цикличность в процессе которой формировались и распадались суперконтиненты. Анализ современных данных по датированным кимберлитам и лампроитам на фоне указанной цикличности обнаруживает следующие закономерности:

Алмазоносный магматизм в истории Земли контролировался суперконтинентальной цикличностью, проявляясь **неравномерно** на всех стадиях и фазах суперконтинентального цикла в различных геодинамических обстановках.

Наиболее масштабно формирование кимберлитов и лампроитов происходило в фазы распада и сборки суперконтинентов. Это же относится и к промышленной алмазности, которая может возникать в течение каждой из этих фаз. Так, алмазные месторождения Сибирской платформы формировались во время сборки Пангеи, а меловые кимберлиты кратона Каапвааль Южной Африки в фазу ее распада.

На стадии существования слитных суперконтинентов отмечается минимальное количество датированных кимберлитов и лампроитов, приуроченных, в основном, к ее, заключительной фазе, на границе со стадией распада.

Анализ мировых данных по проявлениям алмазоносного магматизма в истории Земли в свете указанной закономерности позволил выделить эпохи активного алмазоносного магматизма в млн лет - 2885-2720, 2570-2320, 2170-1920, 1720-1520, 1370-1120, 970-720, 520-320, 170- (+80); эпохи его умеренного или незначительного проявления - 2610-2570, 2230-2170, 1830-1770, 1430-1320, 1030-970, 630-570, 230-170 и эпохи практического отсутствия алмазоносного магматизма - 2720-2610, 2320-2230, 1920-1830, 1520-1430, 1120-1030, 720-630, 320-230.

Формирование алмазоносного магматизма в отдельных суперконтинентальных циклах Земли проходило на фоне общей эволюционной направленности - увеличения активности этого магматизма во времени с резким скачком в позднем протерозое, что коррелируется с изменением в ходе самой цикличности-появлении мегаконтинентов Гондваны и Лавразии при распаде Родинии.

Установленные особенности проявлений алмазоносного магматизма в суперконтинентальной цикличности могут быть использованы в качестве дополнительного критерия при прогнозировании региональной алмазности.

ГЕОХРОНОЛОГИЯ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ АЛМАЗОНОСНЫХ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД КОКЧЕТАВСКОЙ СУБДУКЦИОННО-КОЛЛИЗИОННОЙ ЗОНЫ

Буслов М.М., Травин А.В

ИГМ СО РАН

buslov@igm.nsc.ru, travin@igm.nsc.ru

“Кокчетавский массив” является субдукционно- коллизиейной зоной [1 и др.] в пределах которой тектонически совмещены фрагменты различного уровня глубинности палеосубдукционной зоны. Они являются результатом погружения в зону субдукции краевой части докембрийского Кокчетавского микроконтинента и последующих коллизийных событий, связанных с столкновением микроконтинента с островной дугой. В результате сложных геодинамических событий метаморфизованные в зоне субдукции породы континентальной коры сверхвысоких и высоких давлений (УНР-НР) были выведены на поверхность. Исследование цирконов из алмазоносных УНР- НР пород Кумдыкольского месторождения показало [2-4 и др.], что центральные части зерен характеризуют прогрессивную стадию метаморфизма и имеют возраст 537 ± 7 млн лет, а каймы, содержащая низкобарические минералы амфиболитовой фации - 507 ± 7 . В каймах цирконов, содержащих включения алмазов, выявлен возраст в 530 ± 7 млн лет, а в ядрах определены разные возраста от 558 до 1981 млн лет, характерные для детритовых цирконов осадочного чехла микроконтинента [2]. В каймах цирконов, которые несут НР - минеральные включения, определен возраст в 527 ± 5 млн лет, включения гранулитовой фации - 528 ± 8 млн лет и включения амфиболитовой фации - 526 ± 5 млн. лет. Направленная и закономерная картина зональности во всех зернах цирконов, смена состава минеральных включений, позволили предположить, что к 528-523 млн лет УНР-НР породы были эксгумированы до условий амфиболитовой фации ($P=5-8$ кбар и $T=600-650^{\circ}\text{C}$, глубины около 35 км). Из детального описания разрезов Кумдыкольского месторождения и осадочных пород Кокчетавского микроконтинента хорошо прослеживается корреляция по количественному и качественному составу пород, а также по геохимическим характеристикам [1]. С другой стороны, новое Ar-Ar датирование слюд, сформированных по породам различных частей Кумдыкольского месторождения алмазов (скважина N 42 “Юбилейная”, 1983 г., интервал 20-200 м) показало широкий разброс значений датировок (всего восемь) в пределах 562-469 млн. лет. Возрасты датировок соответствуют всем перечисленным выше субдукционно-коллизийным событиям, в том числе включают и более древнюю дату в 562 млн. лет. Полученные датировки свидетельствуют, что и алмазоносные породы Кумдыкольского месторождения, так же как и весь “Кокчетавский массив” метаморфических пород, имеют сложную тектоническую природу.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИГМ СО РАН (проекты 0330-2016-0014 и 0330-2016-0013) и при финансовой поддержки гранта РФФИ 17-05-00833

Ссылки:

1. Буслов М.М., Добрецов Н.Л., Вовна Г.М., Киселев В.И.(2015): Структурное положение, состав и геодинамическая природа алмазоносных метаморфических пород Кокчетавской субдукционно-коллизийной зоны Центрально-Азиатского складчатого пояса (Северный Казахстан) // Геология и геофизика. Т. 56. № 1-2. С. 89-109.
2. Шацкий В.С., Ягоутц И., Козменко О.А., Блинчик Т.М., Соболев Н.В. (1993): Возраст и генезис эклогитов Кокчетавского массива. //Геология и Геофизика. Т.34. №12.С. 47-58.
3. Shatsky V.S., Jagoutz E., Sobolev N.V., Kozmenko O.A., Parkhomenko V.S., Troesch M.(1999): Geochemistry and age of ultrahigh-pressure metamorphic rocks from the Kokchetav massif (Northern Kazakhstan) // Contrib. Mineral. Petrol. V.137.P. 185-205.
4. Herman J., Rubatto D., Korsakov A.V., Shatsky V.S.(2001): Multiple zircon growth during fast exhumation of diamondiferous, deeply subducted continental crust (Kokchetav massif, Kazakhstan) // Contrib. Mineral. Petrol..V.141.P.66-82.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИЙ ФЛОГОПИТИЗАЦИИ В ПРИСУТСТВИИ ФЛЮИДА H₂O-KCl ПРИ 5 ГПа В ПРИЛОЖЕНИИ К ПРОБЛЕМЕ МОДАЛЬНОГО МАНТИЙНОГО МЕТАСОМАТОЗА.

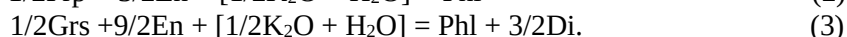
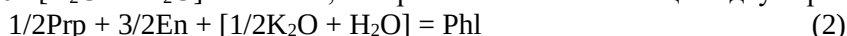
Бутвина В.Г.¹, Лиманов Е.В.¹, Сафонов О.Г.¹

¹ Институт экспериментальной минералогии им. Д.С.Коржинского РАН
valkil@yandex.ru

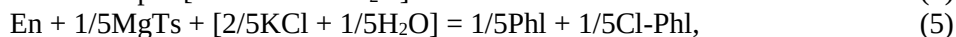
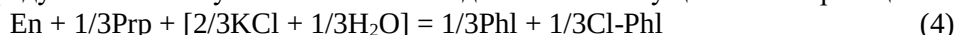
Типичным минеральным индикатором модального мантийного метасоматоза является флогопит. Появление этого минерала в мантийных перидотитах в результате их взаимодействия с калиевыми водными флюидами объясняется обобщенной реакцией [1-3]:



т.е. $5\text{En} + \text{Grt} + [\text{K}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}] = \text{Phl} + \text{Di}$, которая является комбинацией двух краевых реакций



В этих модельных реакциях щелочной компонент представлен для наглядности в виде K₂O. Однако в реальных флюидах К присутствует в виде солевых компонентов – хлоридов, карбонатов и т.д. В данной работе приведены предварительные результаты исследования при давлении 5 ГПа и температурах 900-1250°C реакций (2) и (3) в присутствии флюида H₂O-KCl с исходными X_{KCl} = KCl / (KCl + H₂O) от 0.05 до 0.4. Для воспроизведения реакции (2) в качестве исходной была использована смеси геля состава пироп, Mg(OH)₂ и SiO₂, в которой содержание H₂O составило ~ 8 мас. %. В эту смесь добавляли KCl в расчете на необходимые X_{KCl} во стартовом флюиде. Для воспроизведения реакции (3) в смесь добавлялся гель состава гроссуляра. Взаимоотношения фаз и их составы в продуктах опытов указывают на последовательное осуществление реакций:



где MgTs – Mg-молекула Чермака (MgAl₂SiO₆), а Cl-Phl – минерал твердого раствора флогопита KMg₃AlSi₃O₁₀Cl₂. Эти реакции обуславливают закономерное исчезновение граната, снижение содержания Al в ортопироксене и рост концентрации Cl в новообразованном флогопите с увеличением содержания KCl в стартовом флюиде. В Ca-содержащей системе, рост концентрации KCl ведет к дестабилизации пироп-гроссулярового граната с образованием клинопироксена и флогопита согласно реакции (3). Подобные взаимоотношения хорошо известны в верхнемантийных ксенолитах в кимберлитах и щелочных базальтах [напр. 4].

Таким образом, соотношения концентраций Al в ортопироксене и Cl во флогопите согласно реакции (5) являются хорошими показателями активности KCl во флюиде. Эти эффекты могут быть в дальнейшем использованы для количественной оценки этой активности, а, значит, и концентрации KCl в водно-солевых флюидах в процессах модального мантийного метасоматоза.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-05-00266)

Ссылки.

1. Aoki K. (1975): Origin of phlogopite and potassic richterite bearing peridotite xenoliths from South Africa // Contrib. Mineral. Petrol. V. 53. P. 145-156.
2. Сафонов О.Г., Бутвина В.Г. (2013): Взаимодействие модельного перидотита с флюидом H₂O-KCl: эксперимент при давлении 1.9 ГПа и его приложение к процессам верхнемантийного метасоматоза. // Петрология. Т. 21. № 6. С. 654 – 672.
3. Сафонов О.Г., Бутвина В.Г. (2016): Реакции – индикаторы активности К и Na в верхней мантии: природные и экспериментальные данные, термодинамическое моделирование // Геохимия. №10. С. 893 – 908.
4. van Achterbergh E., Griffin W. L., Stiefenhofer J. (2001): Metasomatism in mantle xenoliths from the Letlhakane kimberlites: estimation of element fluxes // Contrib. Mineral. Petrol. V. 141. P. 397-414.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОССТАНОВЛЕННОГО ФЛЮИДА С БАЗАЛЬТОВЫМ РАСПЛАВОМ В УСЛОВИЯХ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Персиков Э.С., Бухтияров П.Г., Некрасов А.Н.

ИЭМ РАН
pavel@iem.ac.ru

В продолжение наших ранних исследований [1] проведено экспериментальное изучение кинетики и механизмов взаимодействия в системе восстановленный флюид (H_2 , CH_4) - базальтовый расплав при давлении флюида 100 МПа и температурах 1200 - 1300 °С. Эксперименты проведены с использованием оригинальной установки высокого газового давления. Установлено в кинетических опытах, что несмотря на высокий восстановительный потенциал системы восстановленный флюид - расплав, реакции окисления флюида и полного восстановления окислов Fe в расплаве не идут до конца. В результате исходно гомогенный базальтовый расплав становится гетерогенным, в нем образуются небольшие жидкоподобные металлические обособления разной структуры. (Рис. 1)

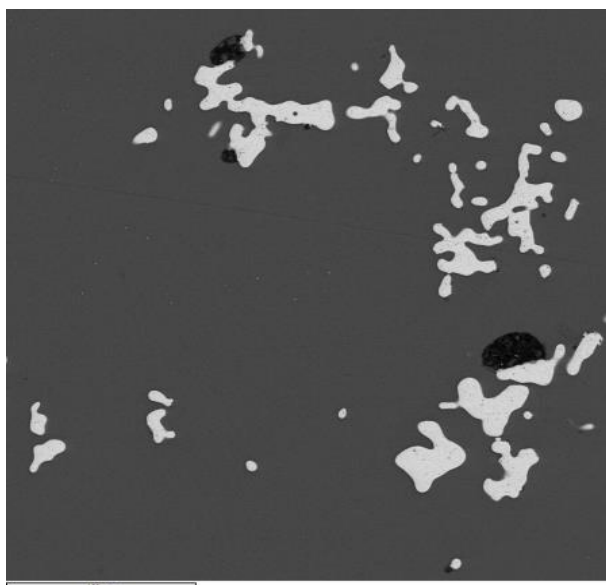


Рис. 1. Морфоструктура металлического железа в расплаве базальта как результат взаимодействия с водородом (белый цвет – металлическое железо, черный цвет – стекло базальта, опыт 2100, $P(H_2) = 100$ МПа, $T = 1250$ °С, длительность опыта 5 часов).

Такие структуры Fe очевидно не являются свидетельством плавления железа под давлением водорода при температурах на ~ 290 °С меньших температуры плавления чистого железа при атмосферном давлении. Это представляется не реальным. Не исключено, что такие структуры железа образуются путем образования коалиций восстановленных атомов железа за счет сил поверхностного натяжения в расплаве базальта. Этот установленный экспериментально факт вполне согласуется с природными данными о находках небольших количеств металлической фазы, и прежде всего железа в магматических породах разного состава и генезиса.

Работа выполнена при поддержке Президиума Российской академии наук (программа № 19).

Ссылки:

1. Э.С. Персиков, П.Г. Бухтияров, С.Ф. Польской, А.С. Чехмир (1986): Взаимодействие водорода с магматическими расплавами // Сб.: Эксперимент в решении актуальных задач геологии., М.: Наука, 437 с.

ВОЗРАСТ, РУДОНОСНОСТЬ И ГЕНЕЗИС СУПЕРРЕДКОМЕТАЛЬНОГО ЩЕЛОЧНОГО КАРБОНАТИТОВОГО ТОМТОРСКОГО МАССИВА (АРКТИКА)

Владыкин Н.В.

ИГХ СО РАН
vlad@igc.irk.ru

Томторский массив щелочных - карбонатитовых пород (площадью 250 км²) - крупнейший карбонатитовый массив мира. Расположен массив в Вост. Прианабарье на Уджинском поднятии и образует с массивом Богдо и двумя нескрытыми массивами Уджинскую провинцию щелочных пород. Ранее возраст массива оценивался от 800 до 200 млн. лет. По полученным нами датировкам по цирконам U-Pb методом и по слюдам Ar/Ar методом выделяются 2 этапа формирования Томторского массива - для интрузивных пород и карбонатитов 700 млн лет и для вулканических пород и руд - 400 млн. лет. Нами разработана новая схема магматизма Томторского массива.

Интрузивная серия. Самыми ранними породами массива являются оливин-пироксеновые породы, пироксениты и Вт-пироксениты, которые встречающиеся в скважинах в виде ксенолитов. Следующая порция магмы была мелилит-ийолитового состава, имеющая и жильные аналоги. Далее внедрялись нефелиновые и щелочные сиениты миаскитового состава, занимающие 70% площади массива, притом К-щелочные сиениты значительно преобладают над Na-нефелиновыми сиенитами. Карбонатитовая составляющая отделялась как от мелилит-ийолитовой так и от сиенитовой магмы. Выделяются кальцитовые, кальцит- доломитовые, доломитовые и анкеритовые разновидности. Апатит- магнетитовые и апатит-слюдистые породы, вероятно, являются нельсонитами и связаны с карбонатитовыми породами.

Вулканическая серия формирования массива, представленная эффузивными потоками, силами и жильными породами, диатремовыми брекчиями и рудоносными туфовыми образованиями. Наиболее ранние из них - вулканиты, силлы и дайки пикрит-лампроитовой серии пересекают ранние карбонатиты и сами секутся более поздними карбонатитами, возможно отделившиеся от лампроитовой магмы. По керну скважин эта толща имеет мощность не менее 300 м. Завершается вулканическая деятельность диатремовыми кимберлитоподобными брекчиями и извержениями лампроитовых и эксплозивных образований - рудоносных карбонатно-фосфатных туфов (Fe, P, CO₂, Nb, TR), которые сохранились в кальдере проседания в центральной части массива. Эксплозивные рудоносные породы кристаллизовались из пересыщенных редкими элементами, фосфором и железом водных и газовых продуктов, вылетая в атмосферу вместе с туфовым материалом и осаждались на поверхность в виде горизонтальных полосчатых вулканогенно-осадочных образований. Кристаллизация рудных минералов происходила быстро. Этот вывод подтверждается скрытокристаллическим характером фосфатно -редкоземельных монацитоподобных минералов, и землистой консистенцией пироксенов, которые обрастали вокруг кристаллических затравок, образовавшиеся до извержения. Большинство кристаллических минералов имеют размер менее 0.01 мм. Среди этих вулканогенных образований встречаются и участки сидеритовых карбонатитов с кристаллическим пироксеном. Руды Томторского массива комплексные и содержат: Nb- до 20%, TR- до 14%, Y- до 1,5%, Sc-до 0,1%, Zn- до 5%, V- до 0,8%, Ba- до 4%, Sr- до 7,5%, Ti- до 8%, Be - до 0,03%. Спектры TR для карбонатитов и руд имеют одинаковые конфигурации и отличаются только общими содержаниями.

Двухэтапность вулкано-плутонической деятельности, связана с циклической работой глубинного плюма, прорвавшегося в наиболее ослабленную рифтовую зону Уджинского поднятия. Данных по изотопии Б. Г. Покровского (Sr, O и C) и наши данные по изотопии Sr-Nd свидетельствуют об эндогенном происхождении всех пород и руд массива, отвергают модели осадочного переотложения и зон вторичного обогащения образования рудного комплекса массива и не противоречат его вулканогенной эксплозивно-туфогенной природе.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 18-05-70003)

ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В ХРОМАЛЮМОШПИНЕЛИ ИЗ КСЕНОЛИТА КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ ОБНАЖЕННАЯ (ЯКУТСКАЯ КИМБЕРЛИТОВАЯ ПРОВИНЦИЯ)

Воробей С.С., Бовкун А.В., Гаранин В.К.

МГУ им. М.В. Ломоносова

Patesonchic77@mail.ru, bovkun2004@mail.ru, vgaranin@mail.ru

В глубинном ксенолите метасоматически измененного гранатового лерцолита из кимберлитовой трубы Обнаженная (образец О-125) внутри хромалюмошпинели были обнаружены редкие включения из группы магнетоплюмбита (матиасит, имэнгит и его Al-аналог). Совместно с этими включениями в зернах хромалюмошпинели отмечены: кальцит, серпентин, флогопит, доломит и рутил.

Имэнгит был впервые найден в кимберлитовых дайках провинции Шаньдун, Китай [1] в ассоциации с оливином, пиропом, магнезиальным хромитом, флогопитом, ильменитом, хромдиопсидом, апатитом, цирконом, муассонитом. Также, имэнгит был найден в измененном магнезиальном хромите в кимберлитовых силлах района Гуаниамо (Венесуэла) [2]. Известны находки включений имэнгита в алмазах, где он также ассоциируется с типоморфными минералами гарцбургитовой ассоциации: хромитом, субкальциевым хромистым гранатом и энстатитом [3,4].

Состав хромалюмошпинели из неалмазоносной трубы Обнаженная соответствует главным оксидам (35,68-35,79 мас.% Cr_2O_3 ; 31,93-32,53 мас.% Al_2O_3 ; 16,1-16,39 мас.% MgO ; 0,36-1,33 мас.% TiO_2), а состав имэнгита отличается от ранее известных находок значительно высоким содержанием Al_2O_3 (20,23-20,9 мас. %) и пониженным содержанием Cr_2O_3 (30,2-30,5 мас.%). Так, имэнгит из кимберлитовых даек Китая содержит Al_2O_3 (1,30-1,61 мас.%) и (36,94-37,06 мас.%) Cr_2O_3 [1], из кимберлитовых силлов Венесуэлы имэнгит соответствует Al_2O_3 (3,61-3,95 мас.%) и (39,08-39,37 мас.%) Cr_2O_3 [2]. По результатам кристаллохимических расчетов методом кислорода состав матиасита из включений в хромалюмошпинели соответствует формуле $(\text{K}_{0,68} \text{Ca}_{0,24} \text{Ba}_{0,08} \text{Sr}_{0,06})(\text{Ti}_{14,01} \text{Cr}_{2,60} \text{Mg}_{1,88} \text{Fe}_{1,64} \text{Al}_{0,82} \text{Mn}_{0,05})\text{O}_{38}$. Флогопит содержит примеси TiO_2 (1,34 мас.%) и Cr_2O_3 (1,45 мас.%). Состав рутила: TiO_2 (99,44 мас.%), Cr_2O_3 (0,24 мас.%), FeO (0,21 мас.%).

Образование матиасита и имэнгита с высокими содержаниями алюминия и хрома предположительно связано с метасоматическим изменением породы в мантийных условиях. Также, исследования обнаруженной K-Al-Ti-Cr-содержащей фазы было выполнено методом КР-спектроскопии, что подтвердило ее принадлежность к минералам группы магнетоплюмбита.

Формирование редких включений имэнгита и матиасита связано с метасоматическим изменением алюмохромита в мантийных условиях под влиянием флюида, обогащенного Ti и K.

Ссылки:

1. Dong Z., Zhou J., Lu Q., Peng Z. Yimengite, $\text{K}(\text{Cr,Ti,Fe,Mg})_{12}\text{O}_{19}$, a new mineral from China // KexueTongbao, Bull. Sci. 1983. №15. 932–936 (in Chinese).
2. Nixon, P.H., Condcliffe, E., 1989. Yimengite of K–Ti metasomatic origin in kimberlitic rocks from Venezuela. Min. Mag. 53, 305–309.
3. Bulanova G.P., Muchemwa, D.G. Pearson, B.J. Griffin, S.P. Kelley, S. Klemme, C.B. Smith, syngenetic inclusion of yimengite in diamond from Sese kimberlite (Zimbabwe)- evidence for metasomatic conditions of growth, Lithos 77 (2004), 181-192.
4. Sobolev, N.V., Yefimova, E.S., Kaminsky, F.V., Lavrentiev, Y.G., Usova, L.V., 1988. Titanate of complex composition and phlogopite in the diamond stability field. In: Sobolev, N.V. (Ed.), Composition and Processes of Deep Seated Zones of Continental Lithosphere. Nauka, Novosibirsk, pp. 185–186.

АРХАНГЕЛЬСКИЕ АЛМАЗЫ В ИСТОРИИ ОТКРЫТИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ДОСТИЖЕНИЯХ, МОНОГРАФИЯХ

Гаранин В.К.

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН,
Научный руководитель, академик РАН, Лауреат Премии Правительства России в
области науки и техники, Премии им. А.Е. Ферсмана РАН
vgaranin@mail.ru

С именем академика Владимира Степановича Соболева связана история открытия в СССР крупнейшей в Мировой алмазоносной провинции – Якутской. В.С. Соболев – один из тех крупных ученых – геологов, кто предсказал эту провинцию на основе анализа геологических, тектонических и других знаний о закономерностях размещения крупных алмазоносных кластеров на нашей планете Земля. При этом сколько ярких и талантливых учеников он воспитал: А.П. Бобриевич, Г.И. Смирнов, А.Д. Харьков и др. И, конечно, необходимо отметить и тот факт, что первые монографии, посвященные этой новой алмазоносной провинции были написаны под его научным руководством. Мы с особым трепетом относимся к первой книге, имеющей мировое значение, «Алмазы Сибири», написанной группой его учеников (А.П. Бобриевич, Г.И. Смирнов и др.) под его руководством и вышедшей в свет в 1957 г.. Десятки монографий, в которых рассматривались разные вопросы геологии, петрологии, геохимии и минералогии месторождений алмаза Якутской провинции, было опубликовано с тех пор, но эта книга первая. Это вызывает особый трепет и особое отношение к авторам книги и к самой книге.

В конце 70-х годов – начале 80-х годов прошлого столетия в СССР была открыта новая алмазоносная провинция – Архангельская, первая в Европе. С нее пошла история алмазных месторождений в Финляндии, Канаде и др. странах. Это также было эпохальное событие, и оно запечатлено во многих трудах, в том числе и капитальных монографиях. И здесь необходимо отметить в первую очередь монографию «Архангельская алмазоносная провинция» (1999). Эта книга – первый обобщающий труд, в котором освещены вопросы геологии, петрохимии и геохимии, минералогии пород и минералов кимберлитов и родственных им пород Архангельской провинции. С 1999 г. были опубликованы несколько фундаментальных трудов, посвященных разным генетическим и практическим вопросам изучения кимберлитовых пород и поискам новых месторождений алмаза. Они самым существенным образом помогали открывать новые тела в этой провинции и расширять наши знания о генезисе алмаза и кимберлитов. Можно с гордостью отметить, что все эти книги были написаны под руководством докторов геолого-минералогических наук Г.П. Кудрявцевой и В.К. Гаранина с единомышленниками – первооткрывателями, коллегам и ученикам (В.В. Вержаком, Е.М. Веричевым, Н.Н. Головиным, В.В. Третьяченко и др.)

И вот последняя книга «Архангельские алмазы. Новые данные» (2017), в которой обобщены все новые данные об алмазе из месторождений Архангельской провинции (морфология и физические спектроскопические параметры). Это первый обобщающий труд по алмазам из месторождений Архангельской провинции. И эта книга подводит определенный итог изучения этой провинции и дает основу для новых открытий месторождений алмаза на севере Европейской части России.

И, без всякого сомнения, можно особо отметить, что влияние трудов академика В.С. Соболева, и в первую очередь, его первых монографий, посвященных алмазам Сибири, достаточно велико, и, хотя с тех пор прошло много времени (более 50 лет), можно с уверенностью отметить историческую научную ценность трудов академика В.С. Соболева на формирование алмазных научных школ в СССР и России, которые являются основой для разработки новых идей в области генезиса алмаза и его спутников и расширения минерально-сырьевой базы для успешного развития экономической мощи России.

ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЕ РАБОТЫ НА АЛМАЗЫ ГРУППЫ АЛРОСА

**Гаранин К.В., Толстов А.В., Серов И.В.,
Шмаков И.И., Ковальчук О.Е., Кошкарев Д.А.**

АК «АЛРОСА» (ПАО)
garaninkv@alrosa.ru

АЛРОСА – крупнейшая российская алмазодобывающая компания, на долю которой приходится 27% мировой и 95% российской добычи алмазов. Операционная деятельность Группы АЛРОСА сосредоточена в двух регионах Российской Федерации – в Республике Саха (Якутия) и Архангельской области, а также на африканском континенте. С 2009 года АЛРОСА – мировой лидер по объемам добычи алмазов (в каратах), добыча алмазов в 2017 г. составила 36,6 млн карат. АЛРОСА располагает крупнейшими в мире доказанными запасами алмазов (1,172 млрд карат по итогам 2017 г. в соответствии с отечественной классификацией, прирост 57,8 млн карат по итогам 2017 г.) и самой широкой ассортиментной линейкой алмазов.

Одной из стратегических целей АЛРОСА является опережающее экономически эффективное воспроизводство выбывающей минерально-сырьевой базы (МСБ). Анализ восполнения МСБ показывает, что на протяжении последнего десятилетия до настоящего времени данная задача успешно решается. Специалисты геологической службы осуществляют работы на территории восьми алмазоносных районов Республики Саха (Якутия) Российской Федерации, а также в Архангельской области, в Республике Ангола и Ботсване.

В 2017 году был завершен процесс реорганизации геологоразведочного комплекса (ГРК) АЛРОСА – созданы три новых структурных подразделения с четко определенным функционалом, ясными и понятными целями и задачами на ближайшие 10-12 лет. Общая численность работников в ГРК компании составляет сегодня 2 230 человек. Затраты на проведение ГРР составили 7,782 млрд. руб. ГРК АЛРОСА остается крупнейшим среди горнодобывающих компаний России. В рамках развития деятельности ГРК АЛРОСА актуализирована программа ГРР до 2030 г. В 2017 г. начата разведка глубоких горизонтов трубок Юбилейная и Зарница.

Проведены оценочные работы на четвертой очереди россыпи Нюрбинская. Реализованы проекты ГРР на поисковых стадиях в Малоботуобинском, Ыгыатинском, Среднемархинском, Далдыно-Алакитском, Мунском, Приленском и Анабарском районах Якутии, Зимнебережном районе Архангельской области. Решены задачи по выполнению планов инновационного развития и технической модернизации Компании.

В 2018 г. в подразделениях АК АЛРОСА продолжится работа по концентрации и оптимизации производственных процессов, направленная на повышение эффективности ГРР, рост производительности труда и качества выполняемых работ. Предстоит утверждение в ГКЗ отчетов с подсчетом запасов в размере 1,4 млн карат по россыпям рек Эбелях, Биллях-притоки-3, Очуос и Лясегер-Юрях. Будут продолжены работы по разведке трубок Юбилейная и Зарница, начнется разведка глубоких горизонтов трубки Удачная.

Предполагается старт оценочных работ на 5-й очереди россыпи Нюрбинская. Важным мероприятием будет являться совершенствование работы горно-обогачительных фабрик ВГРЭ. В апреле начнутся буровые работы на территории республики Ангола – в рамках проекта Кванго. Продолжатся поисковые работы на территории Якутии, в том числе в рамках двух новых проектов Алакит-Мархинский и Средневилуйский. Предполагается развитие работ в Малоботуобинском районе, Ыгыатинском, Алакит-Мархинском и Накынском кимберлитовых полях.

В среднесрочной перспективе ГРР будет сосредоточены на реализации поисково-оценочных и разведочных работ в Российской Федерации и за рубежом. Перед подразделениями ГРК стоит первостепенная задача – открытие новых месторождений алмаза. В этой связи большая роль в практике работ отводится их прогнозируемому, экспертному и научно-аналитическому сопровождению. Широкий перечень современных геолого-геофизических методов, используемый специалистами АЛРОСА, отвечает сложным условиям поисковых работ. В последние годы особое внимание уделяется внедрению инновационных методов поисков, выработке общегеологических, геофизических и вещественно-индикационных критериев прогнозирования, что является залогом новых открытий в ближайшее время.

МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ ЗАПАДНОГО

Гибшер А.А.¹, Мальковец В.Г.^{1,2}

¹ ИГМ СО РАН

anastasia.gibsher@igm.nsc.ru

² НИГП АК АЛРОСА,

vladimir.malkovets@igm.nsc.ru

В пределах Западного Сангилен, сложенного метатерригенными комплексами и магматическими интрузивами кислого и основного состава, распространены дайки камптонитов. Они относятся к наиболее молодому проявлению базитового магматизма в регионе ~444 млн лет [1, 2] и содержат множество нижнекоровых и мантийных ксенолитов, значительную долю среди которых занимают жильные мантийные перидотиты шпинелевой фации глубинности [3, 4].

Детальное минералогическое и геохимическое исследование ксенолитов обнаружило следы интенсивного просачивания и диффузии метасоматических флюидов/расплавов. На контакте с амфибол-флогопит-клинопироксеновой жилой сохранились диффузионные профили обогащения как по главным (TiO_2 , FeO , Na_2O и др.), так и по редким элементам (La, Ce, Zr и др.), а исходная лерцолитовая минеральная ассоциация замещена верлитовой. В зоне перехода лерцолит – верлит сохранились реликты ортопироксена в клинопироксене. Сохранившиеся диффузионные профили свидетельствуют о том, что внедрение жил произошло незадолго до захвата и выноса ксенолитов на поверхность. Изотопный состав Sr и Nd амфибол-флогопит-клинопироксеновой жилы в пределах ошибки совпадает с таковым вмещающих камптонитов, что указывает на формирование щелочно-базитового расплава при плавлении мантии, пронизанной жилами подобного состава. Данные выводы подтверждаются и экспериментальными исследованиями, указывающими на то, что образование щелочных, богатых калием расплавов, наиболее хорошо согласуется с моделью плавления ассоциации мантийный перидотит + флогопит-содержащие жилы [5].

В ксенолитах с амфиболовыми жилами наблюдаются ортопироксенитовые реакционные зоны, сопоставимые по толщине с самой жилой, но диффузионные профили во вмещающем лерцолите отсутствуют. Формирование ортопироксена является следствием реакции оливина лерцолита с водным силикатным расплавом/флюидом. Изотопные характеристики Sr и Nd данной жилы совпадают с таковыми Правотарлашкинского габброидного массива, имеющего надсубдукционные характеристики [6], что указывает об образовании сформировавших его расплавов в результате плавления мантии, обогащенной амфиболовыми жилами.

Работа выполнена в рамках государственного задания (проект № 0330-2016-0006) при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 15-05-05615).

Ссылки:

1. Изох А.Э., Поляков Г.В., Мальковец В.Г. и др. (2001): Позднеордовикский возраст камптонитов агардакского комплекса Юго-Восточной Тувы – свидетельство проявления плюмового магматизма при коллизионных процессах // ДАН. Т. 378. № 6. С. 794-797
2. Гибшер А.А., Мальковец В.Г., Травин А.В. и др. (2012): Возраст камптонитовых даек агардакского щелочнобазальтоидного комплекса Западного Сангилен на основании Ag/Ag и U/Pb датирования // Геология и геофизика, Т. 53. № 8. С. 998–1013
3. Гибшер А.А., Мальковец В.Г., Литасов К.Д. и др. (2010): Состав ордовикской литосферной мантии по данным изучения ксенолитов перидотитов из камптонитов нагорья Сангилен, Центрально-Азиатский складчатый пояс // ДАН. Т. 433. № 3. С. 369–373
4. Гибшер А.А., Мальковец В.Г., Кузьмин Д.В., Похиленко Н.П. (2014): Многостадийное метасоматическое обогащение литосферной мантии Нагорья Сангилен (на примере контактовых ксенолитов из камптонитовых даек) // ДАН. Т. 454. № 6. С. 601–605
5. Foley S. (1992): Vein-plus-wall-rock melting mechanisms in the lithosphere and the origin of potassic alkaline magmas // Lithos V. 28. P. 435-453
6. Шелепаев Р.А., Егорова В.В., Изох А.Э., Зельтманн Р. (2018): Коллизионный базитовый магматизм складчатого обрамления юга Сибири (Западный Сангилен, Юго-Восточная Тува) // Геология и геофизика (в печати).

УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИЕ ФЛЮИДЫ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА

Гибшер Н.А.¹, Томиленко А.А.¹, Рябуха М.А.¹, Бульбак Т.А.¹, Сазонов А.М.²,
Хоменко М.О.¹, Некрасова Н.А.², Сильянов С. А.²

¹ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, tomilen@igm.nsc.ru

² Институт горного дела, геологии и геотехнологии Сибирского федерального университета, sazonov_am@mail.ru

Углеродсодержащим флюидам в эндогенных процессах принадлежит важная роль. Как показал В.С.Соболев [1] в процессах рудогенеза с глубиной их значение возрастает, начиная с образования полиморфных модификаций углерода - алмаза и графита в восстановительной среде.

Восстановленные и окисленные формы углерода постоянно присутствуют во флюидах золоторудных месторождений Енисейского кряжа, залегающих в породах земной коры, метаморфизованных от зеленосланцевой, эпидот амфиболитовой до гранулитовой фаций [2, 3, 4, 5].

Исследование флюидных включений в самородном золоте, сульфидах и кварце золоторудных месторождений: Советское, Герфед, Богунайское и Панимбинское показало, что формирование золотосодержащих руд происходило при гетерогенизации водно-углекисло-углеводородных флюидов в интервале температур от 150 до 490°C и давлений от 0.2 до 3.3 кбар. Флюидные компоненты, законсервированные в самородном золоте, сульфидах и кварце, представлены обширной группой углеродсодержащих соединений (парафины, олефины, нафтенy, арены, диоксаны, фураны, альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты и соединения, содержащие галогены (Cl и F), Si, S и N. Флюиды золотоносных кварцевых жил по сравнению с незолотоносными обогащены CO₂, углеводородами, серо- и азотсодержащими соединениями, при этом степень восстановленного состояния рудообразующих флюидов возрастает с глубиной. Флюиды такого состава выступают в роли главных агентов переноса золота и других рудных элементов в концентрациях достаточных для формирования месторождений.

Таким образом, углеродсодержащие флюиды принимают активное участие не только в глубинах земных недр, где образуются алмазы, но и в земной коре, формируя золоторудные месторождения.

Работа выполнена в рамках государственного задания НИИ ИГМ СО РАН (№ 0330-2016-005)

Ссылки:

1. Соболев В.С. (1973): Строение верхней мантии и способы образования магмы. М. Наука, 134 с.
2. Гибшер Н.А., Томиленко А.А., Сазонов А.М., Рябуха М.А., Тимкина А.Л. (2011): Золоторудное месторождение Герфед: характеристика флюидов и РТ-условия образования кварцевых жил (Енисейский кряж, Россия) // Геология и геофизика, т.52, № 11, с. 1851-1867.
3. Гибшер Н.А., Рябуха М.А., Томиленко А.А., Сазонов А.М., Хоменко М.О., Бульбак Т.А., Некрасова Н.А. (2017): Характеристика металлоносных флюидов и возраст формирования золоторудного месторождения Панимба (Енисейский кряж, Россия) // Геология и геофизика, т.58, № 11, с. 1721-1741.
4. Рябуха М.А., Гибшер Н.А., Томиленко А.А., Бульбак Т.А., Хоменко М.О., Сазонов А.М. (2015): РТХ-параметры метаморфогенных и гидротермальных флюидов: изотопия и возраст формирования Богунайского золоторудного месторождения южной части Енисейского кряжа (Россия) // Геология и геофизика, т. 56, № 6, с. 1153-1172.
5. Tomilenko A.A., Gibsher N.A., Dublaynsky Y.V., Dallai L. (2010): Geochemical and isotopic properties of fluid from gold-bearing and barren quartz veins of the Sovetskoye deposit (Siberia, Russia) // Econ. Geol., V. 105, №2, P. 375-394.

МЕЗОПРОТЕРОЗОЙСКИЙ МАНТИЙНЫЙ МАГМАТИЗМ СИБИРСКОГО КРАТОНА

Гладкочуб Д.П.¹, Донская Т.В.¹, Мазукабзов А.М.¹, Писаревский С.А.², Эрнст Р. Е.^{3,4}

¹ ИЗК СО РАН

gladkochub@mail.ru

² Куртин Университет, Австралия,

Sergei.Pisarevskiy@curtin.edu.au

³ Университет Оттавы, Канада

⁴ Томский государственный университет

Richard.Ernst@ErnstGeosciences.com

Свидетельства магматической активности мезопротерозоя крайне ограниченно представлены на древних кратонах, что позволило рассматривать данный отрезок геологической истории как часть «периода глобальной неопределенности» [1], «Земли среднего возраста» [2], или «скучного миллиард лет» [3]. На площади Сибирского кратона на сегодняшний день известно лишь несколько магматических комплексов, чей мезопротерозойский возраст подтвержден надежными датировками (см. обзор и ссылки в [4]), это: дайки и силлы восточного фланга кратона (Сетте-Дабан, 1339 ± 54 млн лет), дайки Анабарского щита (1513 ± 51 и 1503 ± 5 млн лет) и Уджинского авлакогена (1074 ± 11 млн лет). Новые данные, содержащиеся в данной работе, свидетельствуют о более широком распространении базитовых комплексов мезопротерозоя на площади Сибирского кратона. В частности, в пределах Оленекского выступа фундамента отмечены базитовые интрузии с возрастом 1473 ± 24 млн лет, отвечающие составам ОИБ, образованные при непосредственном участии вещества мантийного плюма [5]. Долериты, слагающие дайки в юго-западной части побережья оз. Байкал (район пос. Листвянка и Голоустное) имеют возраст ~ 1350 млн лет [6], а их петрохимические характеристики и индикаторные геохимические отношения несовместимых элементов, также указывают на близость составов этих долеритов базальтам типа ОИБ. Среднечеремшанский массив расположенный в Шарыжалгайском выступе фундамента Сибирского кратона, сложен габброидами, имеющими возраст 1258 ± 5 млн лет [5] и составы близкие к ОИБ. При этом, возраст и составы этих габброидов близки к составам и возрасту долеритов гигантского радиального дайкового роя Макензи [6].

Таким образом можно отметить, что все перечисленные выше мезопротерозойские базитовые комплексы Сибирского кратона были сформированы в обстановках крупномасштабного внутриконтинентального растяжения при участии вещества мантийных плюмов, при том, что возрастные аналоги большинства этих событий присутствуют на северной окраине Лаврентии. Данные выводы подтверждают гипотезу о существовании на Земле долгоживущего транспротерозойского суперконтинента [1; 6].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 16-05-00642).

Ссылки:

1. Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Wingate M.T.D., et al. (2010): A one-billion-year gap in the Precambrian history of the southern Siberian Craton and the problem of the Transproterozoic supercontinent // Amer. J. Sci., V. 310. P. 812—825.
2. Cawood P.A., Hawkesworth C.J. Earth's middle age // Geology, 2014, v. 42, p. 503—506.
3. Roberts N.M.W. (2013): The boring billion? Lid tectonics, continental growth and environmental change associated with the Columbia supercontinent // Geosci. Front., V. 4. P. 681—691.
4. Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Мазукабзов А.М. и др. (2016): Мезопротерозойский мантийный плюм под северной частью Сибирского кратона // Геология и геофизика, Т. 57. № 5. С. 856-873.
5. Wingate M.T.D., Pisarevsky S.A., Gladkochub D.P. et al. (2009): Geochronology and paleomagnetism of mafic igneous rocks in the Olenek Uplift, northern Siberia: implications for Mesoproterozoic supercontinents and paleogeography // Precamb. Res., V. 170. P. 256—266.
6. Ernst R.E., Hamilton M.A., Söderlund U. Et al. (2016): // Nature Geosciences, V. 9. № 6. P. 464-469.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ И ПОИСКАМ АЛМАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СЛОЖНЫХ ГЕОЛОГО-ЛАНДШАФТНЫХ ОБСТАНОВКАХ.

Голубев Ю.К., Прусакова Н.А.

ФГБУ ЦНИГРИ
diamond@tsnigri.ru

В настоящее время задача вскрытия кимберлитовых тел, как правило, решается в первую очередь увеличением объемов бурения. Этот подход можно назвать экстенсивным. К сожалению, он является доминирующим. Кроме того, решение данной задачи связывают с разработкой, внедрением того или иного нового поискового метода, который позволит выявить кимберлитовые трубки, а зачастую выявить сразу алмазоносные трубки. Реальность же такова, что объект, который приходится искать обладает произвольными параметрами идентификации, т.е. он может быть абсолютно по разному выражен в геофизических полях, может существенно различаться по содержанию минералов-индикаторов, могут создаваться ореолы рассеяния минералов-индикаторов кимберлитов, россыпи алмазов, а может их не быть. Ореолы минералов-индикаторов и россыпи алмазов при определенных геологических условиях могут существенно удалены от своих коренных источников. В связи с тем, что поиски в настоящее время проводятся исключительно в сложных поисковых обстановках, т.е. в пределах, так называемых закрытых территорий, получение однозначных прямых признаков алмазоносности крайне затруднено. Всё зависит от особенностей формирования осадочных комплексов перекрывающих кимберлиты. Поэтому в подобных районах основной упор делается на выделение геофизических или иных аномалий, которые потенциально могут быть связаны с кимберлитовыми трубками.

В этом отношении крайне важной задачей является задача обоснованного выбора площадей под постановку поисковых работ на обнаружение новых месторождений алмазов. ЦНИГРИ в течение последних 30 лет занимается разработкой методик прогнозирования месторождений алмазов в различных поисковых обстановках.

Выбор площадей проведения поисковых работ согласно этим разработкам проводится в рамках, принятых минерагенических таксонов. Оценка прогнозных ресурсов категории P_3 соотносится с площадью, выделенной как прогнозируемое алмазоносное поле. Размеры подобных площадей составляют до 1500 - 2500 км². Площади подобных размеров выделяются при проведении работ масштаба 1:1000000 - 1:200000. На площадях с оцененными ресурсами категории P_3 ставятся собственно поисковые работы. При проведении этих работ проводится локализация участков ранга кустов тел. В пределах подобных участков сосредотачиваются работы, направленные на вскрытие алмазоносных кимберлитовых тел. Оценка ресурсов категории P_2 проводится для вскрытых алмазоносных тел. Кроме того допускается оценка ресурсов категории P_2 для участков ранга куста тел в том случае, когда непосредственно с этим участком связана россыпь алмазов. Масштаб работ 1:200000 - 1:50000.

Работы на каждом этапе в основном идут по одной технологической схеме:

1 - предварительная локализация прогнозируемого алмазоносного кимберлитового поля (локальных участков ранга кустов тел в его пределах) на основе геолого-геофизических предпосылок;

2 - выявление в пределах предварительно выделенных полей (участков) прямых признаков алмазоносности в виде ореолов рассеяния минералов-индикаторов кимберлитов, россыпей алмазов с целью решения вопроса о потенциальной перспективности площадей для постановки поисковых работ на выявление месторождений алмазов.

3 – разработка эффективного прогнозно-поискового комплекса, учитывающего геологическое строение территорий ведения поисковых работ, а также особенностей их геолого-геофизической изученности.

Крайне важной задачей, которая должна решаться на всех стадиях работ, является задача проведения палеогеографических реконструкций для решения вопросов особенностей формирования осадочных комплексов, в которых формировались ореолы рассеяния минералов-индикаторов кимберлитов и россыпи алмазов, нацеленных в первую очередь на решение вопроса о дальности их транспортировки от потенциальных первоисточников.

ХЛОРИД-СОДЕРЖАЩИЕ СЕГРЕГАЦИИ В КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКЕ УДАЧНАЯ-ВОСТОЧНАЯ

Гришина С.Н.¹, Максимович Я.Е.², Горяйнов С.В.¹, Карманов Н.С.¹, Смирнов С.З.¹

¹ ИГМ СО РАН
grishina@igm.nsc.ru

² Геолого-Геофизический факультет НГУ,
tussaa@yandex.ru

Хлориды обнаружены во многих кимберлитах мира [1]. Кимберлитовая трубка Удачная-Восточная - единственный объект, где наряду с многочисленными проявлениями хлора найдены обособленные хлорид-содержащие сегрегации. Они имеют различный состав от существенно хлоридных до хлоридно-карбонатно-силикатных. Крайние типы детально изучены и предположено магматическое происхождение для хлоридно-карбонатных сегрегаций [2] и осадочное для существенно-хлоридных [3,4]. Объектом настоящей работы являются зональные существенно хлоридные сегрегации, позволяющие установить связь между изученными ранее сегрегациями.

Резкое различие ассоциаций включений в краевой и центральной зонах позволило выделить две генерации галита. Четкая граница перехода генераций обусловлена изменением морфологии включений галита. Карбонатные включения – самый важный признак отличия краевой части от центральной. В центральной части карбонатные включения отсутствуют, в краевой встречаются в виде кальцита в ассоциации с расвумитом, а также расплавных сульфатно-карбонатных включений.

Характер изменения ассоциаций включений свидетельствует в пользу высокотемпературного преобразования галита краевой зоны. Воздействие носит как тепловой характер, так и обмен веществом, что позволяет считать краевую зону – зоной взаимодействия с кимберлитом.

Сопоставление ассоциаций включений в различных хлорид-содержащих сегрегациях позволяет предположить, что они отражают разные стадии изменения метаморфизованных эвапоритов осадочного происхождения при взаимодействии с кимберлитовым расплавом, от изохимического до образования хлорид-содержащих сегрегаций смешанного происхождения.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 18-05-00682).

Ссылки:

1. Baker D.R., Aippa A., (2018): Halogens in Mafic and Intermediate-Silica Content Magmas, Chapter 6 in: The Role of Halogens in Terrestrial and Extraterrestrial Geochemical Processes, D.E. Harlov and L. Aranovich (eds.) Springer Geochemistry, Springer International Publishing AG, https://doi.org/10.1007/978-3-319-61667-4_6
2. Kamenetsky, V.S. et al., (2014): Towards a new model for kimberlite petrogenesis: Evidence from unaltered kimberlites and mantle minerals. Earth-Science Reviews, 139: 145-167
3. Гришина С.Н., и др. (2014): Integrated paleomagnetism and U–Pb geochronology of mafic dikes of the eastern Anabar Shield region, Siberia: Implications for Mesoproterozoic paleoaltitude of Siberia and comparison with Laurentia // J. of Geol. V. 108. №3. P. 381–401
4. Шарагин В.В. и др. (2001): Минералогия и петрография хлорид-содержащих нодулей Материалы с сайта "Всё о Геологии" <http://geo.web.ru/>.

ГЕОДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ АККРЕЦИОННО-КОЛЛИЗИОННЫХ ЗОН ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ, ВКЛЮЧАЮЩИХ НР И УНР ПОРОДЫ

Добрецов Н.Л.¹, Буслов М.М.², Куликова А.В.², Травин А.В.²

¹ ИНГГ СО РАН
DobretsovNL@ipgg.sbras.ru

² ИГМ СО РАН
buslov@igm.nsc.ru, ak_cool@mail.ru, travin@igm.nsc.ru

Породы сверхвысоких и высоких давлений (УНР- НР) широко распространены в Центральной Азии и наиболее полно представлены и хорошо изучены в следующих складчатых поясах: Чаган-Узунском (Горный Алтай) и Кокчетавском (Северный Казахстан) (1-5).

Позднедокембрийская Чаган-Узунская аккреционно-коллизийная зона сформирована в результате субдукции океанической коры и столкновением палеосимаунтов с примитивной островной дугой, что привело к эксгумации разогретых в зоне субдукции тел офиолитовых перидотитов, эклогитов и гранатовых амфиболитов в составе серпентинитового меланжа. Совместно они маркируют зону палеосубдукционного канала, расположенного между крупным телом палеосимаунта и комплексами пород примитивной островной дуги.

Кембрийская Кокчетавская аккреционно-коллизийная зона сформирована в результате континентальной субдукции и последующей коллизии микроконтинента с островной дугой. Это привело к формированию сложно деформированного в изоклинальные складки пакета тектонических пластин, представленного породами микроконтинента, метаморфизованными на различных уровнях глубинности палеосубдукционной зоны. Образованные в зоне субдукции УНР-НР породы включены в тектонический матрикс пара- и ортогнейсов, включающий также мелкие и спорадически распространенные линзы ультраосновных пород. В результате сложных геодинамических событий УНР-НР породы были выведены на поверхность в составе тектонического мегамеланжа (палеосубдукционного канала), расположенного между сохранившимся фрагментом докембрийского Кокчетавского микроконтинента и аккреционным комплексом островной дуги.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИГМ СО РАН (проекты 0330-2016-0014 и 0330-2016-0013) и при финансовой поддержке гранта РФФИ 17-05-00833

Ссылки:

1. Dobretsov N.L., Buslov M.M. Serpentinic melanges associated with HP and UHP rocks in Central Asia // Intern. Geol. Rev. – 2004. – V.46 (11). – P. 957–980.
2. Ernst, W.G., Liou, J.G., Coleman, R.G.(1995). Comparative petroctectonic study of five Eurasian ultrahigh-pressure metamorphic complexes// International Geology Review. V.37. P.191–211.
3. Буслов М.М., Добрецов Н.Л., Вовна Г.М., Киселев В.И.(2015): Структурное положение, состав и геодинамическая природа алмазоносных метаморфических пород Кокчетавской субдукционно-коллизийной зоны Центрально-Азиатского складчатого пояса (Северный Казахстан) // Геология и геофизика. Т. 56. № 1-2. С. 89-109
4. Куликова А.В., Буслов М.М., Травин А.В.(2017). Геохронология метаморфических пород Курайского аккреционного клина (юго-восточная часть Горного Алтая) // Геодинамика и тектонофизика. Т. 8. № 4. С. 1049–1063.
5. Schertl H.P., Sobolev N.V.(2013). The Kokchetav Massif, Kazakhstan: type locality of diamond-bearing UHP metamorphic rocks // J. Asian Earth Sci., V. 63.P. 5—38.

РОСТ АЛМАЗА И СОПУТСТВУЮЩИХ ФАЗ В МЕТАЛЛ-СЕРО-УГЛЕРОДНЫХ СИСТЕМАХ

Чепуров А.И.¹, Жимулев Е.И.¹, Томиленко А.А.¹, Сонин В.М.¹, Чепуров А.А.¹,
Соболев Н.В.¹

¹ ИГМ СО РАН

chepurov@igm.nsc.ru, ezhimulev@igm.nsc.ru, tomilen@igm.nsc.ru, sonin@igm.nsc.ru,
achepurov@igm.nsc.ru, sobolev@igm.nsc.ru

Сульфиды являются наиболее распространенными включениями в алмазах из кимберлитов, при этом состав сульфидов по содержанию Ni четко связан с главными типами парагенезисов включений: ультраосновным и эклогитовым [1-3].

В настоящей работе представлены экспериментальные результаты по росту алмаза в металл-серо-углеродных системах с доэвтектическим содержанием серы в системах Fe-Ni-S-C и Fe-S-C [4,5] при давлении 5.5 ± 0.2 ГПа и температурах 1300 и 1350 ± 25 °С, соответственно. В экспериментах с содержанием серы менее 14 мас.% в системе Fe-Ni-S-C были выращены светло-желтые кристаллы алмаза весом до 0.8 карат. В продуктах опытов были идентифицированы моносульфидный твердый раствор, высокотемпературный пентландит, тенит, (Fe,Ni)-карбид и перекристаллизованный графит. В системе Fe-S-C выращены алмазы при содержании серы по отношению к металлу в количестве 5 мас.%. Установлено, что алмаз при давлении 5.5 ГПа может кристаллизоваться в очень узком температурном диапазоне – от 1300 до 1370 °С [6]. Основными фазами, обнаруженными в продуктах опытов были твердый раствор углерода в железе, сульфид железа (пирротин), карбиды железа (Fe₃C и Fe₇C₃) и перекристаллизованный графит. Как известно, пирротин – один из наиболее распространенных сульфидов во включениях в природных алмазах [2,3]. Был изучен состав флюидной фазы из включений в выращенных алмазах, где установлено присутствие широкого спектра углеводородов.

В пионерской работе Н. В. Соболева [7] с соавторами показано, что включения гарцбургитового парагенезиса типичны для октаэдрических алмазов из кимберлитов Якутии. Такие кристаллы содержат включения самородного железа совместно с субкальциевым Ст-пиропом, Mg-оливином, хромитом и пентландитом. При этом отсутствуют признаки генезиса этих алмазов в сверхглубинных условиях, на что указывает отсутствие майджоритового компонента в гранатах из включений [7]. Таким образом, генезис части природных алмазов может быть связан с металл-сульфидными расплавами.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект № 17-17-01154)

Ссылки:

1. Ефимова Э.С., Соболев Н.В., Поспелова Л. Н. (1983): Включения сульфидов в алмазах и особенности их парагенезиса // Зап. ВМО. Ч.112. Вып. 3. С.300–310.
2. Буланова Г.П., Специус З.В., Лескова Н.В. (1990): Сульфиды в алмазах и ксенолитах из кимберлитовых трубок Якутии. Новосибирск: Наука, 120 с.
3. Shirey S.B., Cartigny P., Frost D.J., et al. (2013): Diamonds and the Geology of Mantle Carbon // Revie. Mineral. Geochem. V. 75. P. 355–421.
4. Zhimulev E. I., Chepurov A. I., Sinyakova E. F. et al. (2012): Diamond crystallization in the Fe–Co–S–C and Fe–Ni–S–C systems and the role of sulfide–metal melts in the genesis of diamond // Geochemistry International. V. 50. № 3. P. 205–216.
5. Zhimulev E. I., Shein M. A., Pokhilenko N. P. (2013): Diamond crystallization in the Fe-S-C system // Doklady Earth Sciences. V. 451. Part 1. P. 729–731.
6. Zhimulev E. I., Sonin V. M., Mironov A. M., Chepurov A. I. (2016): Effect of Sulfur Concentration on diamond crystallization in the Fe-C-S System at 5.3-5.5 GPa and 1300-1370C // Geochemistry International. V. 54. № 5. P. 415–422.
7. Соболев Н. В., Ефимова Э. С., Поспелова Л. Н. (1981): Самородное железо в алмазах Якутии и его парагенезис // Геология и геофизика. №12 . С. 25–29.

ПЕТРОЛОГИЯ КИМБЕРЛИТОВ ТРУБКИ ЧУКУКСКАЯ

Иванов Д.В.¹, Толстов А.В.², Иванов В.В.¹

¹ Вилуйская ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО), п. Айхал,
ivanovdv@alrosa.ru

² НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный,
tolstov@igm.nsc.ru

Кимберлитовая трубка Чукукская находится на востоке Алакит-Мархинского кимберлитового поля Западно-Якутской Алмазоносной провинции и имеет неправильную форму, близкую к овальной. Длинная ось ее ориентирована в северо-восточном направлении (СВ-60°). Размер поверхности трубки на уровне поверхности карбонатного цоколя составляет 180x150 м, площадь – 20866 м², что, согласно «Инструкции по применению классификации запасов к коренным месторождениям алмазов» [Инструкция..., 1984], позволяет отнести ее к классу мелких тел.

В верхней части трубка имеет приповерхностный раструб. Поверхность рудного тела под перекрывающими породами пологоволнистая, с перепадом высот до 20-25 м. Трубка сложена, в основном, автолитовыми кимберлитовыми брекчиями, в которых иногда отмечаются крупные (до 20-25 м) ксенолиты карбонатных пород ордовика. Гораздо реже отмечаются порфиновые кимберлиты.

Автолитовые кимберлитовые брекчии (АКБ) трубки Чукукская представляют собой плотную породу голубовато- и зеленовато-серого цвета, характерной автолитовой текстуры, с порфировой структурой основной массы. Ксеногенный материал представлен обломками глинисто-карбонатных пород цоколя (до 40-60%), значительно реже (1-5%) – обломками метаморфических пород фундамента. Основная масса породы мелко-тонкозернистая, серпентин-карбонатного состава. Порфиновые выделения составляют до 15-25% объема породы и представлены, в основном, псевдоморфозами серпентина и кальцита по оливину размером от первых мм до 3-7 см.

По данным петрографического анализа АКБ трубки Чукукская содержит автолиты округлой и овальной формы, размером 0,4-10 мм.

Порфиновые кимберлиты (ПК) имеют характерный зеленовато-серый или голубовато-серый цвета. Структура пород порфировая, текстура массивная. Содержание ксеногенного материала в ПК, представленного, как правило, обломками глинисто-карбонатных пород, не превышает 1-2% от объема породы, изредка возрастая до 5-7%. В незначительном количестве (до 1-3%) отмечаются обломки метаморфических пород кристаллического фундамента, размером 0,1-3 см, изредка до 7-8 см, представленные гнейсами и сланцами. Основная масса породы тонкозернистая, серпентин-карбонатного состава. Преобладает кальцит, образующий зерна удлиненной формы, отмечается также заметное количество хлорита и флогопита в виде тонких табличек и пластинок [2]. Порфиновые вкрапленники, представленные, главным образом, псевдоморфозами серпентина и кальцита по оливину, иногда с примесью окисно-рудного минерала, составляют до 20-25% объема породы.

Изучение минералого-петрографических особенностей петрологии кимберлитов позволяет констатировать, что трубка Чукукская – типичный представитель Алакит-Мархинского алмазоносного района, перспективы которого к настоящему времени далеко не исчерпаны [3].

Ссылки:

1. Инструкция по применению классификации запасов к коренным месторождениям алмазов. М.: ГКЗ СССР, 1984.
2. Иванов Д.В., Иванов В.В., Толстов А.В. Особенности индикаторных минералов кимберлитов новой трубки Январская (Западная Якутия). Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2017, №5. с. 20-26.
3. Иванов Д.В., Толстов А.В., Иванов В.В. Петрология пород и особенности химического состава минералов-индикаторов кимберлитов нового тела Январское (Западная Якутия) //Новое в познании процессов рудообразования: Седьмая Российская молодежная научно-практическая Школа- М.: ИГЕМ РАН, 2017. – С. 134-136.

МАГМАТИЗМ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ КРУПНЫХ ИЗВЕРЖЕННЫХ ПРОВИНЦИЙ АЗИИ

Изох А.Э.^{1 2 3}, Поляков Г.В.¹, Р. Ернст³, А.С.Борисенко^{1 2}, И.Ф.Гертнер³,
В.В.Врублевский³, Н.Д.Толстых¹

¹ ИГМ СО РАН izokh@igm.nsc.ru

² Новосибирский государственный университет

³ Томский государственный университет

В.С. Соболев большое внимание уделял изучению петрологии траппов Сибирского кратона [1]. Он показал основные особенности петрографического и петрохимического состава формации траппов и ее связь с другими формациями и провел сопоставление с другими трапповыми провинциями. В настоящее время траппы рассматриваются как неотъемлемая составная часть крупных изверженных провинций (LIP), связанных с глубинными мантийными плюмами [2,3].

В последние годы большое внимание уделяется изучению магматизма LIP и их металлогении. Эти вопросы нами рассмотрены на примере пермо-триасовых LIP Азии — Сибирской, Эмейшаньской, Таримской [3], а также докембрийских LIP Сибирского кратона [4]. На юге Сибирского кратона широко проявлены разновозрастные Cu-Ni-ЭПГ месторождения, ассоциирующие с ультрамафит-мафитовым магматизмом LIP. Чинейское месторождение (1880 млн лет) связано с Сьюперior LIP (Канада). Йоко-Довыренский интрузив и Кингашское Cu-Ni-ЭПГ месторождение отвечают Франклинской LIP. Уникальные Cu-Ni-ЭПГ месторождения Норильского района приурочены к наиболее высокотемпературной области проявления траппов Сибирского кратона (250 млн лет), которая рассматривается как центральная часть головы глубинного мантийного плюма. Приуроченность платиноносных Cu-Ni месторождений к центральным частям плюмов хорошо проявлена для Эмейшаньского и Таримского плюмов.

Главными чертами, определяющими специфику магматизма и металлогении LIP, являются: 1) отчетливая корреляция разных типов оруденения с определенными этапами проявления базитового, щелочно-базитового и гранитоидного магматизма; 2) развитие своеобразного комплекса оруденения, включающего — магматическое Cu-Ni-Pt и Fe-Pt; гидротермальное Ni-Co-As, Au-As, Ag-Sb, Au-Hg, Sb-Hg и стратиформное Cu; 3) зональное распределение разных типов оруденения относительно центров LIP: преимущественная локализация Cu-Ni-Pt, Fe-Pt в центральных их зонах, а гидротермального — в периферических частях LIP; 4) ареально-очаговый характер размещения оруденения; 5) единая последовательность формирования разных типов оруденения; 7) зависимость масштабов развития оруденения от объемов LIP и мощности плюмов.

Работа выполнена за счет средств мегагранта РНФ (проект No 2016- 220-05- 135);

Ссылки:

1. В.С.Соболев Петрология траппов Сибирской платформы // Труды Всесоюзного Арктического института, т. XLIII. Геология Л.: изд-вл Главного управления Севморпути, 1936.
2. Добрецов Н.Л., Борисенко А.С., Изох А.Э., Жмодик С.М. Термохимическая модель пермотриасовых мантийных плюмов Евразии как основа для выявления закономерностей формирования и прогноза медно-никелевых, благородно- и редкометалльных месторождений // Геология и геофизика, 2010, т. 51 (9), с. 1159—1187.
3. R.E. Ernst (2014) Large igneous Provinces. Cambridge University Press, 653 p.
4. Mekhonoshin, A.S., R.E. Ernst, U. Söderlund, M. A. Hamilton, T.B. Kolotilina, A.E. Izokh, G.V. Polyakov, N.D. Tolstykh (2016) Relationship between platinum-bearing ultramafic–mafic intrusions and large igneous provinces (exemplified by the Siberian Craton). Russian Geology and Geophysics, v. 57, p. 822-833.

ЭВОЛЮЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУППЫ ПЛАТИНЫ В ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ СИБИРСКОГО КРАТОНА (ПО ДАННЫМ ИЗ КСЕНОЛИТОВ ТРУБКИ УДАЧНАЯ, ЯКУТИЯ)

Ильина О.В.¹, Похиленко Л.Н.¹, Агашев А.М.¹

¹ ИГМ СО РАН
olgailyina88@igm.nsc.ru

В работе представлены данные по содержанию элементов группы платины (ЭПГ) в уникально свежих ксенолитах кимберлитовой трубки Удачная: мегакристаллических дунитах (оливинах), зернистых и деформированных перидотитах. Мегакристаллические дуниты, самые деплетированные из перидотитов верхней мантии [1], располагаются в мантийном разрезе, предположительно, на глубинах 140-180 км [2, 3]. Деформированные перидотиты представляют корневые части литосферной мантии (180-220 км [2], 200-230 км [3]). Равномернозернистые перидотиты распространены по всему диапазону глубин. Распределение ЭПГ в изученных типах перидотитов различно (Рис. 1). Мегакристаллические дуниты и зернистые перидотиты имеют широкий диапазон по Ir, Os, Ru (И-ЭПГ). Деформированные перидотиты наоборот характеризуются близкими спектрами распределения ЭПГ в интервале Os-Pt. Только содержания Pd и Re показывают широкие вариации, в отличие от дунитов и зернистых перидотитов. Зернистые перидотиты характеризуются схожими с дунитами распределениями И-ЭПГ. Мы предполагаем, что обеднение Pt и Pd в мегакристаллических дунитах происходило во время высокой степени частичного плавления, так как эти элементы являются несовместимыми. Зернистые перидотиты имеют положительную корреляцию между ЭПГ и Fe₂O₃ и отрицательную корреляцию ЭПГ с Al₂O₃+CaO. Возможно, обогащение ЭПГ в зернистых перидотитах происходило за счет железистой фазы во время мантийного метасоматоза. В деформированных перидотитах нет хорошей корреляции между главными элементами и ЭПГ, но если брать крайние значения трендов, то зависимость наблюдается. Мы предлагаем сложную модель эволюции ЭПГ в деформированных перидотитах: на начальной стадии во время мантийного метасоматоза породы обеднялись И-ЭПГ в результате увеличения мода количества граната и клинопироксена. На заключительной стадии обогащение Pd и Re возможно являлось результатом отсадки субмикронных сульфидных фаз в межзерновое пространство.

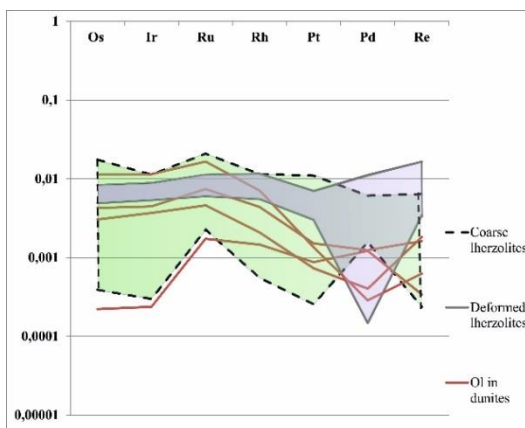


Рис.1 – Распределение ЭПГ в перидотитовых ксенолитах трубки Удачная (Якутия).

Ссылки:

1. Pokhilenko N.P., Pearson D.G., Boyd F.R., et al. (1991): Megacrystalline dunites: sources of Siberian diamonds // Carnegie Institution of Washington Yearbook. V. 90. P. 11-18.
2. Griffin W.L., Sobolev N.V., Ryan C.G., et.al. (1993): Trace elements in garnets and chromites: diamond formation in the Siberian lithosphere // Lithos. V. 29. P. 235-256.
3. Pokhilenko N.P., Sobolev N.V., Kuligin S.S., et.al. (1999): Peculiarities of distribution of pyroxenite paragenesis garnets in Yakutian kimberlites and some aspects of the evolution of the Siberian craton lithospheric mantle//Proceedings of the VIIth international kimberlite conference, University of Cape Town, South Africa, 11-17 april, 1998. Vol. II. - Cape Town, 1999. - P. 689-698.

ОСОБЕННОСТИ ПОЛИГЕНЕЗА АЛМАЗОВ ИЗ РОССЫПЕЙ СЕВЕРО-ВОСТОКА ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

Ковальчук О.Е., Богущ И.Н.

НИГП АК “АЛРОСА” (ПАО)

oleg.kovalchuk@mail.ru

Изучение морфологических особенностей алмазов и их физических свойств из коренных и россыпных месторождений севера Сибирской платформы позволило по комплексу характеристик алмазов, в частности по данным инфракрасной спектроскопии (Рис.1), определить их типы и уже по ним проводить анализ выборок, районирование территории, делать прогнозные выводы для северо-востока Сибирской платформы.

Выделены следующие типы алмазов:

I тип алмазов. Алмазы в основном с малыми и средними концентрациями примеси азота, имеющие небольшие концентрации В2-центров средних и больших размеров, утяжеленный изотопный состав углерода. По морфологии это ламинарные, реже – округлые алмазы I разновидности по Ю.Л. Орлову, при присутствии IV и II разновидности. Коренные источники – кимберлитовые тела с низкой или средней алмазоносностью.

II тип алмазов. Общее содержание азота в этих алмазах высокое – обычно более 600 at. ppm, концентрация пластинчатых образований В2 повышена при их малом (в среднем 20-25 нм) размере ($\nu B2 \geq 1370$ см⁻¹); облегченный изотопный состав углерода алмазов (обычно менее -15‰ $\delta^{13}C$). По морфологии это кристаллы I разновидности в основном округлые, редко ламинарные, бесцветные, серые, лилово-коричневые, а также индивиды V, VII разновидностей по Ю.Л. Орлову, причем содержание кристаллов I разновидности в среднем в 3 раза больше, чем V и VII разновидностей. Коренные источники – месторождения не выясненного генезиса с предположительно высокой алмазоносностью.

III тип алмазов – алмазы импактного генезиса. Коренные источники – породы Попигайской астроблемы. Относятся кристаллы XI разновидности по Ю.Л. Орлову со специфическими морфологическими и оптико-спектроскопическими характеристиками.

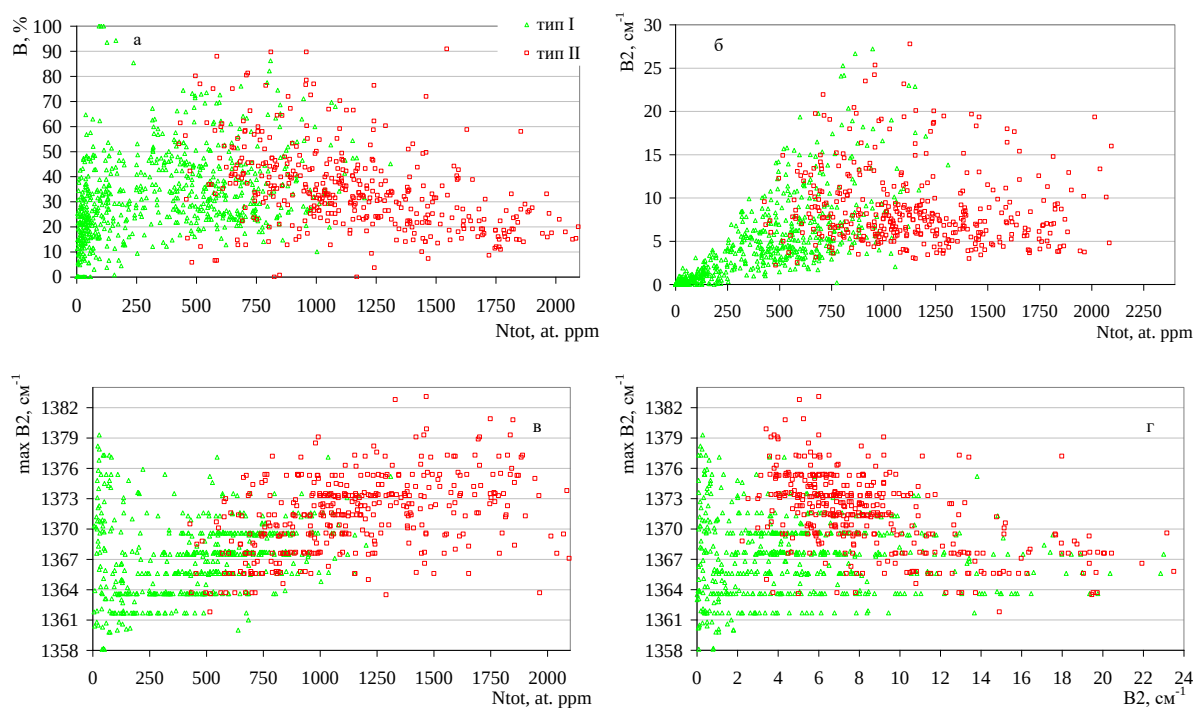


Рис.1 – Содержание азота и его агрегация (а), коэффициент поглощения В2-центра (б), положение максимума полосы поглощения В2-центра (в) и характеристики В2-центров (г) в алмазах I и II выделенных типов.

ЧАРНОКИТИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ И УЛЬТРАОСНОВНЫХ ГРАНУЛИТОВ: РОЛЬ ФЛЮИДНЫХ РАССОЛОВ, МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТРЕНДЫ, МОДЕЛЬ ЭВОЛЮЦИИ

Кориковский С.П.

ИГЕМ РАН
korikovsky@yandex.ru

Изучение последовательности чарнокитизации основных и ультраосновных бескварцевых $\text{Orx-Crx}\pm\text{Grt-Hbl-Pl}_{\text{Ca}}$ гранулитов [1,2,3], трансформирующихся в лейкократовые $\text{Orx}\pm\text{Grt-Bt-Hbl-Pl}_{\text{Na}}\text{-Kfs-Qz}$ анатектические эндебочарнокиты, с максимальной наглядностью доказывает, что процесс невозможен в рамках традиционной модели частичного субзохимического плавления пород («ультраметаморфизма»), поскольку чарнокитизация и гранитизация подобных пород, как выясняется, сопровождаются интенсивными проявлениями интерстициального $\text{Si-Na-K}\pm\text{Al-H}_2\text{O-Cl(F)}$ метасоматоза. В гранулитах при этом формируются лейкократовые Anz- , Kfs- и Qz- реакционные каймы вокруг Orx , Crx , Grt , Hbl , являющиеся продуктом инфильтрации кремнещелочных рассолов глубинного происхождения, формирующих также сеть метасоматических Olg-Qz- , Kfs-Bt-Qz , Orx-Olg-Kfs-Qz и др. жил с повышенным содержанием Cl или F в обогащенных Ti Bt и Hbl . Метасоматоз приводит к нарастающей дебазификации metabазитовых гранулитов, выносу из них Mg , Fe , Ca , Ti , V , Cr , Zr и HREE , и привносу Si , Na , K , Al , Sr , Ba , Cl(F) , что хорошо видно на вариационных диаграммах для чарнокитизированных основных гранулитов. Лишь в затронутых предварительной метасоматической лейкократизацией подобных породах, обычно с приближением к флюидопроницаемым каналам и трещинам, в них начинается частичное плавление, постепенно превращающее их *in situ* сначала в теньевые мигматиты со скIALитами гранулитов, а затем - в анатектические чарнокитоиды.

Отличным индикатором неизохимичности процесса является систематический рост железистости (X_{Fe}) пород и минералов первичных гранулитов в ходе чарнокитизации, иногда в 2-2.5 раза. И что важно - железистость меланосомы (рестита) и лейкосомы сопряженно возрастают по ходу процесса, что еще раз доказывает ошибочность модели ультраметаморфизма в закрытой системе. Метасоматическая доанатектическая дебазификация гранулитов происходит на пике гранулитового метаморфизма или вблизи него, при T 750-900° и P 5-12 кб. Кроме термобарометрии об этом говорит новообразование асс. Orx+Kfs+Qz , и ряда реакционных структур, связанных с частичным проградным разложением Bt и Hbl . Расчеты, составы жидких включений, и способность рассолов растворять даже основные и ультраосновные гранулиты доказывают, что чарнокитизирующие флюиды – это агрессивные хлоридные или фторидные рассолы с суммарной концентрацией солевых компонентов до 0.45 [1,2,3]. Выносимые при дебазификации Mg , Fe , Ca и часть Al обычно рассеиваются за пределами ореола чарнокитизации. Но при быстрой нейтрализации рассолов они могут переотлагаться внутри ореола в виде секущих меланократовых базификатных $\text{Orx-Crx-Grt-Hbl-Pl}_{\text{Ca}}$ -жил, или тонких меланократовых оторочек вокруг возникающих анатектоидных чарнокитов. P - T параметры образования и парагенезисы таких жил идентичны P - T параметрам пика метаморфизма и чарнокитизации. Подобная связанная с влиянием флюидов модель фиксируется при чарнокитизации (гранитизации) высоко- T° пород любого состава, но ярче всего она выражена на трансформации основных/ультраосновных пород.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 15-05-04956)

Ссылки:

1. Аранович Л.Я. (2017): Роль рассолов в высокотемпературном метаморфизме и гранитизации// Петрология. Т. 25. № 5. С. 491-503.
2. Кориковский С.П., Аранович Л.Я. (2010): Чарнокитизация и эндебитизация основных гранулитов Лапландского гранулитового пояса (юж. часть Кольского п-ва, район Порьей губы): I. Петрология и геотермобарометрия// Петрология. Т. 18. N 4. С. 340-368.
3. Кориковский С.П., Аранович Л.Я. (2015): Чарнокитизация ортопироксен-клинопироксен-флогопитовых бесполовошпатовых метаультрамафитов в Лапландском гранулитовом поясе (юг Кольского п-ва): изменение состава пород и минералов, P - T параметры, флюидный режим// Петрология. Т. 23. № 3. С. 211-250.

ВОЗРАСТНЫЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КИМБЕРЛИТОВ ЯКУТСКОЙ ПРОВИНЦИИ ПО ЦИРКОНАМ

Костровицкий^{1,2} С.И., Sun³ Jing, Яковлев¹ Д.А., Liu⁴ Chuan-Zhou, Wu⁴ Fuyuan,
Мацюк⁵ С.С.

¹Институт геохимии, СО РАН, Иркутск, 664033, Россия serkost@igc.irk.ru

²Институт земной коры, СО РАН, Иркутск, 664033, Россия

³College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing, 102249, China

⁴Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029, China

⁵Институт геохимии, минералогии и рудообразования, ГП, Украина, Киев

Проведено обобщение новых (97 определений) и литературных U-Pb возрастных данных по цирконам для кимберлитов и родственных пород Якутской провинции (ЯКП). С большой степенью достоверности подтверждено существование в пределах ЯКП четырех эпох активности кимберлитового вулканизма (in Ma) – 1) 429-408, 2) 369-344, 3) 228-217, 4) 175-147. Сопоставление концентраций некогерентных элементов (НЭ) в цирконах и во вмещающих кимберлитах (изученных ранее [1]) из разных полей указывает на прямую их корреляцию. Более высокий уровень содержания НЭ отмечается в цирконах из кимберлитов и родственных пород ряда северных полей (Ары-Мастахское, Староречинское, Куойкское). Обращается внимание на пространственную и временную связь кимберлитового и щелочно-базальтоидного вулканизма. Обсуждаются причины возникновения кимберлитового вулканизма. Акцентируется внимание на приуроченности разновозрастных проявлений кимберлитов к протяженным зонам – коридорам, которое дает основание говорить о существенной, возможно, решающей роли долгоживущих трансформных разломов, достигающих астеносферы в иницировании кимберлитового вулканизма. Нередкая синхронность формирования кимберлитов в разных провинциях, на разных материках позволяют предположить, что одной из причин активизации кимберлитового вулканизма служили импактные события катастрофического для всей Земли масштаба. По-видимому, не случайно, эпохи проявления кимберлитов на Сибирской платформе приурочены к границам смены крупных стратиграфических единиц (эр, периодов), в частности, силур-девон, девон-карбон, средний триас-нижний триас, юра-мел.

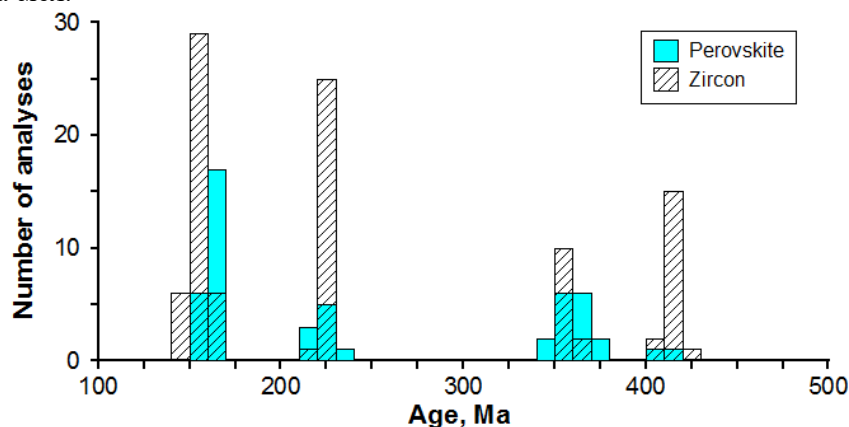


Рис. 1. Гистограмма распределения U-Pb возрастов кимберлитового вулканизма, определенных по цирконам [2,3] и цирконам (настоящее исследование).

Ссылки:

1. Костровицкий С.И., Морикио Т., Серов И.В., Яковлев Д.А., Амиржанов А.А. Изотопно-геохимическая систематика кимберлитов Сибирской платформы. Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 3. С. 350-371.
2. Sun J., Liu C.-Z., Tappe S., Kostrovitsky S. I., Wu Fu-Yuan, Yakovlev D., Yang Yue-Heng, Yang Jin-Hui. (2014) Repeated kimberlite magmatism beneath Yakutia and its relationship to Siberian flood volcanism: insights from *in situ* U-Pb and Sr-Nd perovskite isotope analysis. Earth and Planetary Science Letters. V. 404. P. 283–295.
3. Девис Г.Л., Соболев Н.В., Харьков А.Д. Новые данные о возрасте кимберлитов Якутии, полученные уран-свинцовым методом по цирконам. //ДАН СССР, 1980, т. 254, с. 175-179.

ПЯТИКООРДИНИРОВАННЫЙ КРЕМНИЙ В СИЛИКАТАХ: НОВЫЕ ДАННЫЕ

Горелова Л.А.¹, Пахомова А.С.², Кривовичев С.В.³, Дубровинский Л.С.⁴

¹ Кафедра кристаллографии СПбГУ

² Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY), Hamburg, Germany

³ Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр РАН», Апатиты
krivovichev@admksk.apatity.ru, skrivovi@mail.ru

⁴ University of Bayreuth, Bayreuth, Germany

В 2019 году исполнится 70 лет со дня выхода в свет монографии акад. В.С. Соболева «Введения в минералогию силикатов», в которой был проанализирован широкий спектр данных по природным силикатам и сделан ряд глубоких обобщений, касающихся особенностей их строения, образования и преобразования. Изложение материала в этой книге пронизано кристаллохимическим содержанием – кристаллохимические рассуждения красной нитью проходят через всю ткань книги и привлекаются для объяснения самых разнообразных особенностей силикатов, будь то оптические свойства, устойчивость или генезис. В 1949 году было известно немногим более 100 структурных типов силикатов, подавляющее большинство из которых имели своих представителей в царстве минералов. Практически во всех из них (за исключением SiP_2O_7) атомы Si имели тетраэдрическую координацию, а структура была образована объединением тетраэдров SiO_4 либо между собой, либо с координационными полиэдрами других катионов. С тех пор кристаллохимия силикатов с тетраэдрическими анионами бурно развивается, причем новые топологические типы силикатных анионов продолжают открываться и до сего дня [2]. Вместе с тем, с начала 1960-х годов одна за другой стали появляться работы по высокобарическим силикатам с шестикоординированным кремнием. Число таких силикатов невелико сравнительно с числом фаз с $^{\text{IV}}\text{Si}$, но их значение для минералогии и геохимии трудно переоценить, – согласно последним подсчетам, большая часть мантии Земли представлена перовскитоподобными фазами с $^{\text{VI}}\text{Si}$. Неоднократно высказывались обоснованные подозрения, что переход от тетра- к гексакоординированному кремнию ($4 \rightarrow 6$) происходит не скачком, а через промежуточное пентакоординированное состояние ($4 \rightarrow 5 \rightarrow 6$). Исследования силикатных расплавов и стекол методом ЯМР при условиях верхней мантии показали, что пятерная координация кремния в этих средах должна быть преобладающей [3]. Первой неорганической структурой, для которой удалось определить присутствие $^{\text{V}}\text{Si}$, была высокобарическая фаза CaSi_2O_5 [4], в которой часть атомов кремния имеет тетрагонально-пирамидальную координацию. Последние исследования силикатов при высоких давлениях с использованием синхротронного излучения показали, что пятерная координация кремния характерна для метастабильных модификаций многих силикатов, включая пироксены [5,6], каркасные и слоистые силикаты [7,8]. Эти данные представляют собой новую страницу в кристаллохимии силикатов и могут привести к заметным коррективам существующих представлений о состоянии силикатного вещества в глубинных геосферах Земли.

Ссылки:

1. Соболев В.С. (1949): Введение в минералогию силикатов, Львов: Изд-во ЛьвГУ, 230 с.
2. Puscharovsky D.Yu., Zubkova N.V., Pekov I.V. (2016): Structural chemistry of silicates: new discoveries and ideas // Struct. Chem. V. 27. P. 1593-1603.
3. Farnan I., Stebbins J.F. (1994): The nature of glass transition in a silica-rich oxide melt // Science. V. 265. P. 1206–1209.
4. Angel R.J., Ross N.L., Seifert F., Fliervoet T.F. (1996): Structural characterization of pentacoordinate silicon in a calcium silicate // Nature. V. 384. P. 441–443.
5. Finkelstein G.J., Dera P.K., Duffy T.S. (2015): Phase transitions in orthopyroxene (En_{90}) to 49 GPa from single-crystal X-ray diffraction // Phys. Earth Planet. Inter. V. 244. P. 78–86.
6. Hu Y., Kiefer B., Bina C.R., Zhang D., Dera P.K. (2017): High-pressure γ - $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$: does penta-coordinated silicon exist in the Earth's Mantle? // Geophys. Res. Lett. V. 44(22). P. 11340–11348.
7. Pakhomova A.S., Bykova E., Bykov M., Glazyrin K., Gasharova B., Liermann H.-P., Mezouar M., Gorelova L.A., Krivovichev S.V., Dubrovinsky L. (2017): Closer look into close packing: pentacoordinated silicon in the high-pressure polymorph of danburite // IUCrJ. V. 4. P. 671–677.
8. Gorelova L.A., Pakhomova A.S., Aprilis G., Dubrovinsky L.S., Krivovichev S.V. (2018) Pentacoordinated silicon in the high-pressure modification of datolite, $\text{CaBSiO}_4(\text{OH})$ // Inorg. Chem. Front., in press.

ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗОВ ЮЖНОЙ ОКРАИНЫ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Логвинова А.М.^{1 2}, Меньшагин Ю.В.³, Данилова Ю.В.³, Гладкочуб Д.П.³

¹ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН
logv@igm.nsc.ru

² Новосибирский государственный университет

³ Институт земной коры СО РАН
dima@crst.irk.ru

Южная окраина Сибирской платформы (Присяняе) является перспективным регионом в отношении обнаружения месторождений алмазов различных генетических типов. В целом по региону алмазоносные и потенциально алмазоносные высококальциевые магматиты приурочены к Урикско-Туманшетской перикратонной зоне раннепротерозойского заложения. Наиболее перспективной территорией для обнаружения коренных источников алмазов является Удинская площадь (Нижнеудинский, Чунский и Тайшетский районы). На этой территории обнаружены минералы-спутники алмаза - пиропы с высоким содержанием Сг и низким содержанием Са, а также хромшпинелиды и пикроильмениты (размер отдельных зерен до 4 мм, хорошей сохранности), которые по составу близки пикроильменитам из промышленно алмазоносных кимберлитов Якутии. Важным критерием для определения перспективности данной территории явились находки алмазов в аллювиальных отложениях левобережья р. Уда.

Комплексными методами впервые исследованы 17 алмазов размером около 1мм. По морфологии, большинство кристаллов отнесены к I разновидности по классификации Ю.Л. Орлова [1], представлены ламинарными кристаллами октаэдрического, ромбододекаэдрического и переходного между ними габитуса, образующими непрерывный ряд кристаллов с ламинарным строением граней, на которых практически отсутствуют признаки механического износа. Пять кристаллов имели бесформенные очертания с явно выраженными признаками износа и следами удара. На двух кристаллах отмечены зеленые пятна пигментации, связанные с радиационным поражением в россыпях. Исследования дефектно-примесного состава аллювиальных алмазов с ярко выраженной леденцовой скульптурой, показало невысокое содержание азота в их составе. В одном безазотном алмазе обнаружены минеральные субмикроскопические включения, представленные Са-карбонатом, в периферической зоне которых идентифицированы К, Fe, Ba, Sr - содержащие карбонаты. По ранее опубликованным данным, тип коренного источника связан с алмазоносными лампроитами Присяня (Ингашино поле), в которых доминируют округлые алмазы [2, 3]. Полученные ранее данные свидетельствуют о полигенности алмазов в пределах южной окраины Сибирской платформы [4]. Однако морфологические особенности большинства изученных кристаллов алмаза, отсутствие механического износа на их поверхности, присутствие характерных минералов-спутников алмаза дает возможность предположить существование кимберлитового коренного источника в пределах Удинской алмазоносной площади.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 18-17-00101) и Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-05-00841).

Ссылки:

1. Орлов Ю.Л. (1984): Минералогия алмаза. Наука, Москва, 264 р.
2. Секерин А.П., Меньшагин Ю.В., Лашенов В.А. (1995): Присянская провинция высококальциевых щелочных пород и лампроитов // Доклады РАН. Т. 342. № 1. С. 82—86.
3. Гладкочуб Д.П., Костровицкий С.И., Донская Т.В. и др. (2013): Возраст цирконов из алмазоносных лампроитов Восточного Саяна как индикатор известных и ранее не установленных эндогенных событий на юге Сибирского кратона // Доклады Академии наук. Т. 450. № 5. С. 567-572.
4. Егоров К.Н., Киселев А.И., Меньшагин Ю. В., Минаева Ю.А. (2010): Лампроиты и кимберлиты Присяня: состав, источники, алмазоносность // Доклады Академии наук. Т. 435. № 6. С. 779 - 783.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕЗИСА ЗЮВИТОВ ПОПИГАЙСКОГО МЕТЕОРИТНОГО КРАТЕРА

Малыгина Е.В.¹, Щукина Е.В.¹, Николенко Е.И.¹, Афанасьев В.П.¹

¹ ИГМ СО РАН

malygina@igm.nsc.ru

Попигайский метеоритный кратер - крупная кольцевая структура диаметром 100 км, образовавшийся 35,7 млн. лет назад, расположен в северо-восточной части Анабарского щита, в пределах бассейна р. Попигай. Зювиты и тагамиты - это основные высоко алмазоносные импактные породы Попигайского кратера [1]. Образование алмазов произошло в результате твердофазного перехода графита пород мишени под действием ударной компрессии [2]. Данное исследование проведено на ряде образцов зювитов, отобранных в период экспедиционных работ 2014 года.

В отношении состава основных и редкоземельных элементов зювиты идентичны тагамитам и внутрикратерным гнейсам кратера Попигай [3]. Зювиты представлены: 1) до 70 об.% моно- и полиминеральными стеклами плавления; 2) 5-7 об.% диаплектовыми стеклами; 3) до 25 об.% - фрагменты пород мишени и их минералы; 4) 3-5 об.% аккреционные лапилли [2,4]. Стекля плавления характеризуются гладкой, пористой, «вспененной» текстурой, нередко со следами течения, имеют апогнейсовый состав $Qz+kfs/Qz+Pl/Kfs+plag$. Среди диаплектовых стекол преобладают маскеленит (от $Ab_{60}An_{31}Or_9$ до $Ab_{21}An_3Or_{76}$) и лешательерит, реже «апо-Ту» и «апо-grt». Выявлено более 25 разновидностей минералов [6]. Породообразующими являются Qz, Kfs ($Or_{91-98}Ab_{2-9}$), Pl ($Ab_{33-48}An_{65-43}Or_{9-2}$), Ap, Chlt, Mica. К акцессорным относятся Grt ($Alm_{48-70}Sps_{0-28}And_{0-3}Gro_{1-18}Pyr_{2-40}$), Ilm ($Cri_{75-100}Gei_{0-9}Pyr_{0-16}Hem_{0-8}$), Px ($Di_{0-1}Hd_{0-1}En_{53-65}Fs_{34-46}$; $Di_{59-73}Hd_{19-27}En_{5-8}Fs_{2-4}$), Amf, Zr, Mnz, Sphen, Crt, Baddeleyite, Scheelite, Britholite, Sulf. Выявлены самородное Fe, Ru-nigrin, Armalcolite и Zhanghengite (CuZn). Минералообразование сопровождалось метасоматозом с привносом/выносом ряда элементов (K, Na, Fe, Si, Mg, Ca, Al и Ti). В большинстве минералов зювитов регистрируются следы ударного (шок-) метаморфизма: линейные трещины и планарные деформации, в породах - диаплектические стекла и стекла плавления [5]. Максимальный параметр импактного события по T ($>1700^{\circ}C$) может быть оценен по наличию лешательеритовых шпиров.

Результаты настоящего минералого-петрологического изучения полностью подтверждают гипотезу образования зювитов из взрывного облака, перемешавшихся в процессе кратерообразования путем баллистического или сравнительно свободного разлета [6].

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № № 0330-2016-0006).

Ссылки:

1. Масайтис В. Л., Кириченко В. Т., Машак М. С., и др. (2013): Коренные месторождения и россыпи импактных алмазов Попигайского района (Северная Сибирь) // Региональная геология и металлогения. № 54. С. 89–98.
2. Вишневский С.А., Райтала Й., Гибшер Н.А., и др. (2007): Импактные туффизиты Попигайской астроблемы // Геология и геофизика. №6. Т. 47. С. 715–733.
3. Щукина Е.В., Афанасьев В.П., Лобов К.В., и др. (2017): Новые данные о составе тагамитов Попигайской астроблемы // ДАН. Т. 473. № 2. С. 1–5.
4. Вишневский С.А. (2007): Астроблемы. Новосибирск, ООО «Нонпарекль», 288с.
5. Malygina E., Shchukina E., Afanas'ev V., et al. (2018): Mineralogy of suivites from the Popigai impact crater, Russia, in EGU General Assembly, Geophysical Research Abstracts, Vol. 20, EGU2018-2248. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2018/EGU2018-2248.pdf>
6. Вишневский С.А. (1994): Зювитовые мегабрекчи – новый тип отложений взрывного облака Попигайской астроблемы. 1. Общая характеристика. Новосибирск., (Препр. / Институт минералогии и петрографии СО РАН. №). С. 66.

ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕГАКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЕРИДОТИТОВ С СУБКАЛЬЦИЕВЫМ ГРАНАТОМ ИЗ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ УДАЧНАЯ, СИБИРСКИЙ КРАТОН

Мальковец В.Г.^{1,2,3,4}, Похиленко Л.Н.², Похиленко Н.П.², Griffin W.L.⁴,
Tretiakova I.G.⁵, Костровицкий С.И.⁶, Belousova E.A.⁴, O'Reilly S.Y.⁴

¹ НИГП АК АЛРОСА, Мирный vladimir.malkovets@igm.nsc.ru

² ИГМ СО РАН, Новосибирск

³ Геолого-Геофизический факультет НГУ, Новосибирск

⁴ ARC CoE CCFS/GEMOC, Macquarie University, Australia

⁵ ЦНИГРИ, Москва

⁶ ИГХ СО РАН, Иркутск

На основании сравнительных минералогических исследований ксенолитов мегакристаллических гарцбургит-дунитов (МГД) с субкальциевым хромистым пиропом и минеральных включений в алмазах было установлено, что МГД являются материнскими породами Сибирских перидотитовых алмазов [1,3,4]. Исследование новой коллекции ксенолитов МГД из уникально свежего блока кимберлитов трубки Удачная также подтвердило близость химических составов минералов МГД и минеральных включений в алмазах [2].

В результате проведенных детальных минералогических и геохимических исследований ксенолитов МГД мы обнаружили следы многостадийного метасоматического обогащения с участием флюидов/расплавов разного состава. Наиболее поздний эпизод метасоматического преобразования связан с кимберлитовыми и предкимберлитовыми флюидами/расплавами. Взаимодействие с такими флюидами фиксируется по образованию келифитовой каймы на гранатах, замещению ортопироксена клинопироксеном и формированием жильной интерстиционной ассоциации джерфшерит+магнетит+монтичеллит, неустойчивой при высоких давлениях. Методом вторично ионной масс-спектрометрии было проведено исследование распределения редких и редкоземельных элементов в гранатах для выявления внутренней зональности. В результате исследований установлено, что в подавляющем количестве исследованных зерен (>90%) обнаруживается зональность как по главным, так и по редким элементам (Ca, LREE, Sr, и др). Большая часть гранатов имеет S-образные спектры распределения REE, которые образовались при воздействии карбонатитового флюида/расплава на деплетированный по REE гранат.

In situ Re-Os датирование сульфидов в МГД обнаруживает два возрастных этапа в эволюции МГД: T_{RD} 3,51-3,0 млрд лет и T_{RD} 2,12-1,87 млрд лет. Наиболее древние возраста отражают время формирования МГД в деплетированной литосфере Сибирского кратона. Палеопротерозойские возраста отражают метасоматическое преобразование алмазоносной литосферной мантии во время амальгамации отдельных архейских террейнов в современную структуру Сибирского кратона. Наличие сохранившейся зональности в гранатах по главным и редким элементам свидетельствует о самом последнем этапе преобразования МГД, связанном с кимберлитовыми или предкимберлитовыми флюидами/расплавами.

Минералогические исследования были выполнены в рамках государственного задания (проект № 0330-2016-0006), при поддержке гранта РФФИ №16-05-01052. Геохимические и изотопные исследования были выполнены при поддержке проекта РНФ №18-17-00249.

Ссылки:

1. Похиленко Н.П., Соболев Н.В., Бойд Ф.Д., Пирсон Г.Д., Шимизу Н. Мегакристаллические пироповые перидотиты в литосфере Сибирской платформы: минералогия, геохимические особенности и проблема происхождения // Геология и геофизика. 1993. №1. С.71-84.
2. Похиленко Л.Н., Мальковец В.Г., Кузьмин Д.В., Похиленко Н.П. Новые данные по минералогии мегакристаллических пироповых перидотитов из кимберлитовой трубки Удачная, Сибирский кратон, Якутская алмазоносная провинция // Доклады РАН. 2014. Т. 454. № 5. С.583-589.
3. Соболев Н.В., Похиленко Н.П., Ефимова Э.С. Ксенолиты алмазоносных перидотитов и проблема происхождения алмазов // Геология и Геофизика. 1984. Т.25. №12. С. 63-80.
2. Pokhilenko N.P., Sobolev N.V., Lavrent'ev, Yu.G. Xenoliths of diamondiferous ultramafic rocks from Yakutian kimberlites // II Intern. Kimberlite Conf. Abstr. 1977. Santa Fe. No. 71.

ТИТАНСОДЕРЖАЩИЕ ФАЗЫ В МАНТИИ ЗЕМЛИ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В СИСТЕМЕ $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2$ ПРИ 7–24 ГПА)

Матросова (Сироткина) Е.А.^{1 2}, Бобров А.В.^{1 2}, Бинди Л.³, Ирифуне Т.⁴

¹ ГЕОХИ РАН

ekaterina.a.sirotkina@gmail.com

² Геологический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова,

³ Университет Флоренции, Италия

⁴ Университет Эхиме, Япония

Важное значение для установления химического и фазового состава глубинных оболочек Земли имеет изучение поведения примесных элементов. Растворимость микроэлементов в фазах высокого давления мало изучена, хотя даже небольшие количества этих элементов могут существенно повлиять на физико-химические параметры важнейших мантийных равновесий и на кристаллохимические особенности мантийных фаз [1; 2]. Для титана характерны невысокие валовые концентрации в мантии Земли (~0,2 мас.% TiO_2 в пиролите) [3], однако богатые титаном фазовые ассоциации могут возникать в результате погружения океанической коры в мантию.

Для того чтобы установить максимальную растворимость титана в мантийных фазах, а также его влияние на параметры фазовых превращений было проведено экспериментальное изучение системы энстатит-гейкелит в широком диапазоне давлений (10 – 24 ГПа) и постоянной температуре 1600°C. Было установлено влияния титана на физико-химические параметры мантийных равновесий, а также установлены кристаллохимические особенности (параметры элементарной ячейки) некоторых участвующих в реакциях фаз.

Эксперименты по исследованию поля стабильности Na-Ti-пироксена были проведены в Университете Эхиме (Мацуяма, Япония) при $P = 10\text{--}24$ ГПа и $T = 1000\text{--}1300^\circ\text{C}$ на многопуансонном аппарате высокого давления. В зависимости от P - T условий основными фазами, полученными в опытах, являются Na-Ti-пироксен (при 10 ГПа) и Na-пироксен в ассоциации с фазой $\text{Na}(\text{Ti}_{1.5}\text{Mg}_{0.5})\text{O}_4$ со структурой кальциоферрита (при 16 ГПа). С увеличением давления до 24 ГПа образуется MgSiO_3 бриджманит с высоким содержанием натрия и титана. Содержание перечисленных фаз в экспериментальных образцах не ниже 90 об.%.

Фазовые ассоциации, полученные в опытах при 10 ГПа, включают Na-Ti-пироксен. Для данного пироксена характерны мелкие идиоморфные кристаллы призматического облика размером до 30 мкм. Электронно-зондовые анализы минерала (мас. %: SiO_2 57.23, MgO 9.52, Na_2O 14.39, TiO_2 17.41, сумма 98.55) указывают на его близость к идеальному стехиометрическому составу $\text{Na}_{0.99}(\text{Mg}_{0.51}\text{Ti}_{0.47})\text{Si}_{2.03}\text{O}_6$. Установлено уменьшение содержания титана с увеличением температуры от 1000 до 1300°C. При давлении 16 ГПа фазовые ассоциации включают Na-пироксен ($\text{NaMg}_{0.5}\text{Si}_{2.5}\text{O}_6$) в ассоциации с фазой $\text{Na}(\text{Ti}_{1.5}\text{Mg}_{0.5})\text{O}_4$ со структурой кальциоферрита и стишовитом. Na-пироксен представляют собой идиоморфные кристаллы призматического облика размером до 30 мкм. Кристаллы кальциоферрита мелкие и достигают 10 мкм. При давлении более 24 ГПа появляется MgSiO_3 бриджманит с 17 мол.% MgTiO_3 . Минерал образует массивные трещиноватые агрегаты с размерами отдельных зерен до 70 мкм. Интересно, что содержание натрия в данной фазе достигает 3.8 мас.% Na_2O .

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых кандидатов наук (МК-1277.2017.5) и Российского Фонда Фундаментальных Исследований (№17-55-50062).

Ссылки:

1. Panero W.R., Akber-Knutson S., Stixrude L. (2006): Al_2O_3 incorporation in MgSiO_3 perovskite and ilmenite. // Earth Planet. Sci. Lett. V. 252. P. 152–161.
2. Andrault D. (2007): Properties of lower-mantle Al-(Mg,Fe) SiO_3 perovskite. // Geological Society of America. Special Papers. V. 421. P.15–36.
3. Ringwood A.E. (1966): The chemical composition and origin of the Earth. In: Advances in Earth science. Hurley, P.M. (Editors), M.I.T. Press, Cambridge., p. 287–356.

ПРОБЛЕМЫ ПОИСКОВОЙ МИНЕРАЛОГИИ НА ЗАКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Серов И.В, Никифорова А.Ю.

АК АЛРОСА (ПАО)
seroviv@alrosa.ru, nikiforovaay@alrosa.ru

Для поддержания минерально-сырьевой базы для алмазодобывающих предприятий, необходимо ее постоянное восполнение. Фонд легко открываемых тел в настоящее время практически исчерпан. С повышением сложности геологических обстановок и увеличением мощности перекрывающих пород эффективность применения дистанционных геофизических методов поиска снижается. В этой требуются новые методические подходы к осуществлению геологоразведочных работ (ГРП) на алмазы.

Метод / Геотип	I ГЕОТИП. Маломощный элювиально- дельтовый покров до 3м	II ГЕОТИП. Терригенные отложения до 20м	III ГЕОТИП. Терригенные отложения и продукты кор выветривания мощностью 20-200м	IV ГЕОТИП. Породы трапповой формации залегающие на терригенных отложениях	V ГЕОТИП. Породы трапповой формации на кимберлитомещающем цоколе	VI ГЕОТИП. Терригенные отложения с преобладанием в основании прибрежно- морских и дельтовых фаций
Аэромагнитная съемка-10				Районирование пластовых интрузий, градиентометрическая съемка системами DAARC500, Jessy Star		
Сейсморазведка 2D-3D		Площадные съемки	Площадные съемки, просвечивание	Просвечивание, среднечастотная Картирование мектрапповых окон	Просвечивание, среднечастотная	Просвечивание
Магниторазведка-5		Производство	Производство	Неинформативен	Опытные работы	
Космофотометрия		до 100 м	Опытные работы			
Электроразведка-5				Опытно-производственные работы		
Радиоволновая геоинтроскопия			Предел возможности	Предел возможности	Предел возможности	
Георадарная съемка						
Электротомография						
Тектонофизика			+ телевьюер	+ телевьюер	+ телевьюер	+ телевьюер
Поисковая минералогия	Первичный поток	Базальный горизонт	Базальный горизонт	Базальный горизонт	Неинформативен	Неинформативен
КАГС-5			Опытно-производственные работы			
Аэромагнитотеллурическая съемка			Опытные работы	Опытные работы	Опытные работы	
Межскважинное сейсмическое просвечивание			Опытные работы	Опытные работы	Опытные работы	
Комплексирование методов			Важно	Важно	Важно	Важно

Традиционными направлениями ГРП при поисках месторождений алмазов являются геологические и геофизические работы, осуществление горно-буровых работ, лабораторные исследования. Среди этих направлений на ранних стадиях ГРП широко применяются прогнозные построения, минерагеническое районирование, структурно-тектонический анализ территорий поисков, комплекс аэрогеофизических работ, минералогическое опробование и минералого-геохимические исследования.

Минералого-геохимические исследования связаны с изучением индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) – алмаза, оливина, граната, клинопироксена, ильменита и хромитов. Развитие аппаратного комплекса расширяет возможности изучения морфологии и химизма этих минералов с применением различных методов исследований: микроскопии, спектрометрии, дифрактометрии и электронно-зондового микроанализа.

Важнейшим направлением при этом является выработка минералогических критериев оценки потенциальной алмазоносности кимберлитов, что в свою очередь требует применения известных генетических классификаций ИМК, установления факторов, влияющих на потенциальную и реальную алмазоносность кимберлитов и родственных им пород.

Кроме этого, подключение к поисковому комплексу исследований ИМК микроалмазов (менее 1 мм): исследование морфологии, гранулометрического состава, прогноз по выходу крупных классов алмазов – даст методическую основу для разработки и совершенствования минералогических критериев потенциальной и реальной алмазоносности кимберлитов для работ стадии оценки и разведки, а также прогнозной оценки новых территорий.

ВЛИЯНИЕ ПЕТРОГЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ НА ТОПОЛОГИЮ ЛИКВИДУСА ХРОМШПИНЕЛИДА (МОДЕЛЬ SPINMELT-2.0) И НЕКОТОРЫЕ СООБРАЖЕНИЯ О ГЕНЕЗИСЕ ХРОМИТИТОВ

Николаев Г.С.¹, Арискин А.А.², Бармина Г.С.¹

¹ ГЕОХИ РАН им. В.И. Вернадского

gsnikolaev@rambler.ru

² Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

Используя модель SPINMELT-2.0 [1,2], проведено исследование топологии ликвидусной поверхности и состава шпинелида для серии расплавов, производных от модельного состава B1, аппроксимирующего родоначальную магму Бушвельдского комплекса (Wilson, 2012). Варьирование состава модельных систем проводилось путем последовательного добавления или вычитания из исходного расплава минералообразующих компонентов (Fo, Fa, En, Fs, Di, An, Ab).

Установлено, оливиновые миналы (Fo, Fa) практически не влияют на температуру ликвидуса хромшпинелида, значимо сказываясь на магнезиальности хромита (mg#). Добавление к расплаву En- и Fs-компонентов оказывает незначительный эффект на состав кристаллизующегося шпинелида, и вызывает слабое понижение его ликвидусной температуры. Увеличение количества Di в расплаве приводит к понижению температуры ликвидуса, практически не влияя на состав шпинелида. Добавление плагиоклазовых миналов (An, Ab) приводит к увеличению температуры, причем вариации первого компонента оказывают значимое влияние на состав шпинелида, вариации альбита - нет.

В условиях фильтр-прессинга расплавов при компакции расслоенных кумулятивных толщ магматических камер стратиформных интрузивов следует предположить переуравновешивание фильтрующегося расплава с окружающим его кумулятом. Установленные особенности топологии ликвидуса хромшпинелида возможно обеспечивают соответствующие изменения растворимости шпинелида в фильтрующемся расплаве и его перераспределение, в частности сброс шпинелида на своего рода геохимическом барьере при реакции расплава с полевошпатовой матрицей протоанортозитовых прослоев.

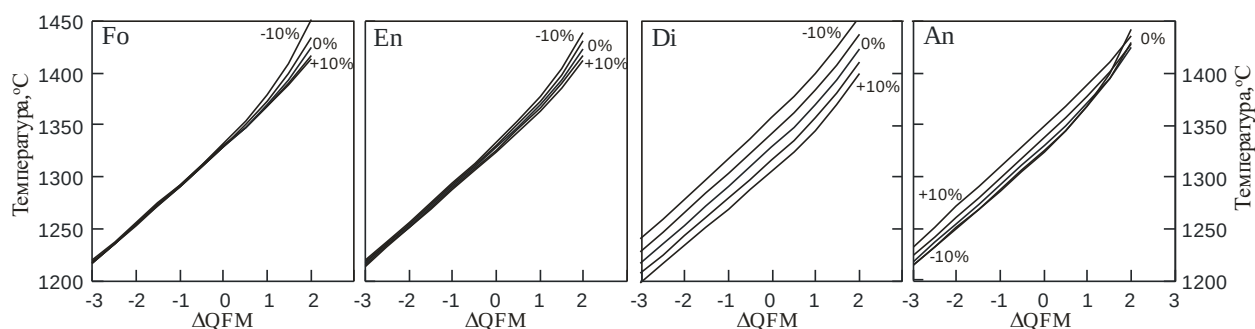


Рис.1 – Влияние вариаций петрогенных компонентов расплава на температуру ликвидуса шпинелида на примере модельного состава B1. Изоплеты проведены через 5 мас.%

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект № 16-17-10129).

Ссылки:

1. Николаев Г.С., Арискин А.А., Бармина Г.С. (2018) SPINMELT-2.0: Численное моделирование равновесия шпинелид – расплав в базальтовых системах при давлениях до 15 кбар. I. Формулировка, калибровка и тестирование модели. *Геохимия*, (1), 28–49.
2. Николаев Г.С., Арискин А.А., Бармина Г.С. (2018) SPINMELT-2.0: Численное моделирование равновесия шпинелид – расплав в базальтовых системах при давлениях до 15 кбар. II. Описание программы, топология модельной системы хромшпинелид-расплав и её петрологические приложения. *Геохимия* (2), 135–146.

МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ОБСТАНОВОК АКТИВНОГО ТЕКТОГЕНЕЗА (НА ПРИМЕРЕ КОМПЛЕКСОВ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА)

Лиханов И.И., Ревердатто В.В., Ножкин А.Д., Полянский О.П., Крылов А.А.

ИГМ СО РАН
likh@igm.nsc.ru

Метаморфизм является следствием и индикатором геодинамики и магматизма, а корреляция этих процессов позволяет реконструировать последовательность событий при развитии литосферы. Для выяснения тектоно-магматических причин развития разных типов метаморфизма весьма перспективно исследование *P-T-t* трендов. Их интерпретация представляет достаточно сложную проблему в областях полициклического развития подвижных поясов, где разные типы метаморфизма сочетаются друг с другом [1]. Эти сочетания свидетельствуют о разных геодинамических обстановках и отражают определенные геолого-тектонические закономерности в эволюции земной коры. В докладе эти вопросы обсуждаются на примере докембрийских метаморфических комплексов Енисейского кряжа [2], характеризующихся проявлениями контактового [3] и зонального LP/HT [4] метаморфизма, обусловленными магматическим теплом, и коллизионного MP/HT [5] и HP/LT [6] метаморфизма, связанными с надвигами, и субдукцией, а также проявлениями стресс-метаморфизма в результате деформационных процессов в сдвиговых зонах [7] и ультравысокотемпературного УНТ гранулитового метаморфизма [8]. В результате реконструкции *P-T-t* трендов эволюции метаморфических комплексов установлены индикаторные признаки основных типов метаморфизма в различных тектонических обстановках. Анализ геологических явлений в сочетании с математическим моделированием использовался для построения тектоно-термальных моделей эволюции процессов метаморфизма. Интерпретация новых данных позволила выявить важные петрологические и геодинамические следствия [2, 6, 7, 9, 10].

Ссылки:

1. Ревердатто В.В., Лиханов И.И., Полянский О.П., Шеплев В.С., Колобов В.Ю. (2017): Природа и модели метаморфизма. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 331 с.
2. Лиханов И.И., Ножкин А.Д., Савко К.А. (2018): Аккреционная тектоника комплексов западной окраины Сибирского кратона // Геотектоника. Т. 52. № 1. С. 28-51.
3. Likhonov I.I., Reverdatto V.V., Sheplev V.S., Vershinin A.E., Kozlov P.S. (2001): Contact metamorphism of Fe- and Al-rich graphitic metapelites in the Transangarian Region of the Yenisey Ridge, eastern Siberia, Russia // Lithos. V. 58. P. 55-80.
4. Likhonov I.I., Reverdatto V.V. (2011): Neoproterozoic collisional metamorphism in overthrust terranes of the Transangarian Yenisey Ridge, Siberia // Int. Geol. Review. 2011. V. 53. No.7. P. 802-845.
5. Likhonov I.I., Polyansky O.P., Reverdatto V.V., Memmi I. (2004): Evidence from Fe- and Al-rich metapelites for thrust loading in the Transangarian Region of the Yenisey Ridge, eastern Siberia // J. Metamorph. Geol. V. 22. P. 743-762.
6. Likhonov I.I., Régnier J.-L., Santosh M. (2018): Blueschist facies fault tectonites from the western margin of the Siberian Craton: Implications for subduction and exhumation associated with early stages of the Paleo-Asian Ocean // Lithos. V. 304-307. P. 468-488.
7. Likhonov I.I., Reverdatto V.V., Kozlov P.S., et al. (2015): P-T-t constraints on polymetamorphic complexes of the Yenisey Ridge, East Siberia: implications for Neoproterozoic paleocontinental reconstructions // J. Asian Earth Sci. V. 113. P. 391-410.
8. Лиханов И.И., Ножкин А.Д., Ревердатто В.В., и др. (2016): Метаморфическая эволюция ультравысокотемпературных железисто-глиноземистых гранулитов Южно-Енисейского кряжа и тектонические следствия // Петрология. Т. 24. № 4. С. 423-440.
9. Лиханов И.И., Ревердатто В.В., Козлов П.С., и др. (2015): *P-T-t* реконструкция метаморфической истории южной части Енисейского кряжа (Сибирский кратон): петрологические следствия и связь с суперконтинентальными циклами // Геология и геофизика. Т. 55. № 6. С. 1031-1056.
10. Likhonov I.I., Santosh M. (2017): Neoproterozoic intraplate magmatism along the western margin of the Siberian Craton: implications for breakup of the Rodinia supercontinent // Precambrian Res. V. 300. P. 315-331.

КИМБЕРЛИТЫ ТРУБОК БАРЫЛАЙСКОГО КУСТА ХОМПУ-МАЙСКОГО ПОЛЯ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ)

Олейников О.Б.¹, Опарин Н.А.¹

¹ИГАБМ СО РАН
olei-oleg@yandex.ru

В южной части Якутского поднятия в результате геофизических и буровых работ, проведенных в 2014–2015 гг. геологами Государственного унитарного горно-геологического предприятия Республики Саха (Якутия) "Якутскеология", были открыты кимберлитовые трубки Дабан и Апрельская, образующие Барылайский куст ранее открытого Хомпу-Майского кимберлитового поля [1]. Трубки прорывают карбонатные отложения верхнего кембрия и перекрыты (105–140 м) юрскими терригенными отложениями. Они сложены кимберлитовой брекчией и порфировым кимберлитом, вещественный состав которых в целом однотипен. Основными крупными компонентами пород тел являются карбонатизированные псевдоморфозы серпентина по макрокристаллам и вкрапленным оливина ксенолиты осадочных пород и серпентинитов, а также макрокристы пиропы, хромшпинелидов и пикроильменита. Основная масса наименее измененных микроучастков кимберлитов этих тел микрозернистая сложена преимущественно мелкопластинчатым флогопитом, с ксеноморфными выделениями карбоната и редкими реликтами серпентина. Кроме того, видовой набор первичных минералов мезостазиса представлен: хромшпинелидами, апатитом, флогопитом, Ва-флогопитом. Следует отметить редкое присутствие микрозерен циркона и бадделеита. Для обоих тел характерна наложенная интенсивная карбонатизация. Изученные трубки сформированы однотипным кимберлитовым субстратом. Пост- и позднемагматические процессы, определившие окончательный эндогенный минеральный состав пород также во многом идентичны. Выводы, полученные по результатам петрографо-минералогического изучения пород, подтверждаются результатами полуколичественного рентгенофазового анализа проб кимберлитовых пород. Данное исследование показывает, что в целом для пород трубок характерен однотипный состав, а некоторые отличия обусловлены различиями в интенсивности проявления поздне-, постмагматических и гипергенных процессов в пределах каждого кимберлитового тела.

Изучение петрохимических особенностей пород показало, что они подвергались поздне-, постмагматическим и гипергенным изменениям. По содержанию главных петрогенных элементов кимберлиты трубок Дабан и Апрельская являются умеренно- и высокотитанистыми. Присутствие неизмененных кимберлитовых пород на глубоких горизонтах трубки Апрельская (Mg–Fe, высоко-Ti и низко-K петрохимический тип) может свидетельствовать о ее потенциальной минералогической алмазоносности, что подтверждается находкой двух микрокристаллов в трубке Апрельская.

Работа выполнена в рамках государственного задания проект (№ 0381-2016-0003)

Ссылки:

1. Смелов А. П., Андреев А. П., Алтухова З. А., Бабушкина С. А., Бекренев К. А., Зайцев А. И., Избеков Э. Д., Королева О. В., Мишнин В. М., Округин А. В., Сурнин А. А. Кимберлиты трубки Манчары: новое кимберлитовое поле центральной Якутии // Геол. и геофиз. 2010. № 1. С. 153–159.

АНАЛИЗ СИММЕТРИИ ИСКАЖЕННОЙ ФОРМЫ КРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА И ОЦЕНКА ЕЕ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВОГО ЗНАЧЕНИЯ

Павлушин А.Д.¹, Степенщиков Д.Г.²

¹ ИГАБМ СО РАН,
pavlushin@diamond.ysn.ru

² ГИ КНЦ РАН,
stepen@geoksc.apatity.ru

Форма кристалла алмаза несет на себе отпечаток анизотропии кристаллообразующей среды и при использовании четких методических приемов измерения и анализа симметрии искаженной формы кристаллов может являться дополнительным источником информации об условиях алмазообразования. Как правило, реальная форма кристалла далека от совершенной в силу различных скоростей роста его граней. Такие искаженные формы можно описывать несколькими характеристиками, из которых наиболее информативной является видимая симметрия формы кристалла. Её визуальное определение осложнено в случае малых искажений формы кристалла и чревато субъективными оценками, а также неэффективно в случае обработки большого количества образцов для получения статистической информации.

Для анализа искаженных форм кристаллов алмаза кубического, октаэдрического и додекаэдрического габитусов разработана специальная методика, основанная на измерении ложных ребер кристалла и расстояний между его параллельными гранями. Авторами создано программное приложение, позволяющее в интерактивном режиме вносить результаты измерений, моделировать по ним трехмерное изображение формы кристалла и оценивать ее видимую симметрию с помощью модифицированного метода И.И.Шафрановского [1] (рис. 1). В результате проведенного авторами анализа реальных форм кристаллов алмаза получены индивидуальные симметричные характеристики, отражающие типоморфные особенности октаэдрических кристаллов алмаза из кимберлитовых трубок и россыпей Якутской алмазоносной провинции. Выявлены индивидуальные особенности статистического распространения комбинаторных разновидностей октаэдра и видов визуальной симметрии октаэдрических кристаллов.

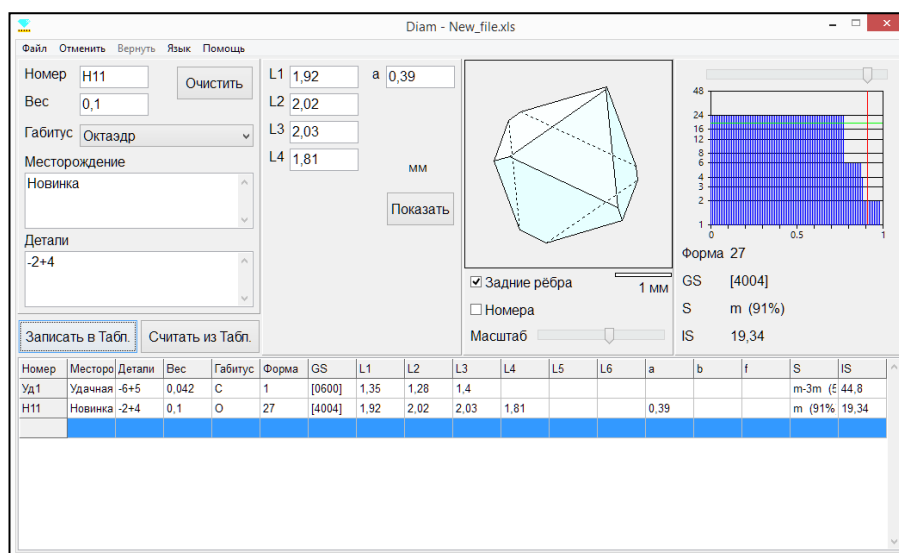


Рис.1 – Внешний вид программного приложения для анализа видимой симметрии кристаллов алмаза.

Работа выполнена по договору с НИГПАК «АЛРОСА» (ПАО) №02-НИР-В-17 от 13.03.2017 г.

Ссылки:

1. Шафрановский И.И., Корень Р.В., Дубов П.Л. (1971) К методике изучения искаженных форм на кристаллах минералов // ЗВМО, т. 100. вып. 1. С. 42-48.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГЕНЕЗИСА АЛМАЗА

Пальянов Ю.Н.¹

¹ ИГМ СО РАН
palyanov@igm.nsc.ru

Исторически первый анализ проблемы генезиса алмаза, основанный на петрологических исследованиях и результатах экспериментов по синтезу алмаза, сделан В.С. Соболевым [1]. При разработке современных моделей генезиса алмаза в различных геодинамических обстановках принципиально важными вопросами являются составы алмазообразующих сред, источники углерода и возможные механизмы кристаллизации алмаза. Экспериментальное моделирование позволяет определить какие из предполагаемых сред могут действовать в качестве алмазообразующих в области Р-Т параметров, характерных для генезиса большинства природных алмазов (Р=4-6 ГПа, Т=900-1500°C) [2].

Сравнительный анализ алмазообразующей способности различных сред проведен на многопуансонной аппаратуре БАРС на основе количественного определения степени трансформации графита в алмаз в зависимости от состава при постоянных Р, Т, t параметрах. Установлено, что в зависимости от состава среды условия кристаллизации алмаза существенно различны. Как правило, минимальные Р-Т параметры синтеза алмаза не лимитируются температурой соответствующих эвтектик, а соответствие Р-Т параметров термодинамической стабильности алмаза является необходимым, но не достаточным условием. По экспериментальным данным в интервале температур 900-1500°C в диапазоне давлений 4-6 ГПа образование алмаза не установлено во флюидах системы С-Н-N-S, а также в силикатных и сульфидных расплавах. Эффективными алмазообразующими средами при Р-Т параметрах литосферной мантии являются ультращелочные карбонатные расплавы, содержащие Н₂О и СО₂, флюиды Н₂О-СО₂ и расплавы переходных металлов. При добавлении Н₂О, азота и серы металл-углеродные расплавы трансформируются из алмазообразующих в графит-продуцирующие.

Наиболее сложные вопросы проблемы генезиса алмаза связаны с выявлением механизмов кристаллизации алмаза в литосферной мантии. Экспериментально изучены механизмы кристаллизации алмаза в процессе синтеза из графита, перекристаллизации в градиентном поле, в результате эволюции состава среды, при снижении температуры, а также за счет окислительно-восстановительных реакций. Оценены граничные условия действия различных механизмов кристаллизации алмаза и возможность их реализации в процессах генезиса алмаза. В качестве потенциальных источников углерода при образовании алмаза рассмотрены графит, углеродсодержащие флюиды (углеводороды и СО₂), карбиды и карбонаты. На основе экспериментального моделирования обоснован наиболее вероятный механизм образования алмаза в результате редокс взаимодействий [3]. В рамках предложенной модели карбонатные расплавы и СО₂ флюид, образующийся за счет реакций декарбонатизации, рассматриваются как среды кристаллизации и как источники углерода, а в качестве восстанавливающих агентов экспериментально обоснованы самородные металлы, карбиды, сульфиды и водород.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-27-00054)

Ссылки:

1. Соболев В.С. (1960): Условия образования месторождений алмаза // Геол. и Геофиз. №1. С.7-72.
2. Shirey S.B., Cartigny P., Frost D.G., et al. (2013): Diamond and the geology of mantle carbon // Rev. Min. Geochem. V. 75. P.355-421.
3. Palyanov Yu.N., Bataleva Yu.V., Sokol A.G., et al. (2013): Mantle-slab interaction and redox mechanism of diamond formation // PNAS. V. 110. № 51. P. 20408-20413.

ПРОЦЕССЫ РОСТА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ.

Пальянов Ю.Н.¹, Борздов Ю.М.¹, Хохряков А.Ф.¹, Куприянов И.Н.¹, Сокол А.Г.¹

¹ИГМ СО РАН palyanov@igm.nsc.ru

Наиболее актуальной задачей в области роста кристаллов алмаза является получение алмазов с заданным набором и концентрацией дефектно-примесных центров [1]. Экспериментальные исследования проведены в широком диапазоне Р-Т параметров и составов на беспрессовой аппаратуре БАРС, разработанной в ИГМ СО РАН. Наиболее крупные (до 6 карат) высококачественные монокристаллы получены в ростовых системах на основе Fe, Ni и Co. Определено влияние основных ростовых условий (температура, давление, скорость роста, состав среды кристаллизации, тип и концентрация легирующей примеси) на формирование реальной структуры кристаллов алмаза (дефектно-примесные центры, напряжения, линейные и планарные дефекты). В результате воспроизведены основные типы кристаллов, существующих в природе, а также получены алмазы, не имеющие природных аналогов: низкодислокационные, полупроводниковые с р- и n-типом проводимости, а также кристаллы, легированные одновременно бором и азотом.

В качестве эффективных методов модифицирования дефектно-примесной структуры и изменения свойств алмаза применены высокобарический отжиг (до 2650°C), радиационные воздействия (облучение электронами) и ионная имплантация. Показаны перспективы применения кристаллов с заданными свойствами в качестве элементов рентгеновской и инфракрасной оптики, детекторов ионизирующих излучений, sp²-sp³ гетероструктур для микроэлектроники и алмазных наковален.

В последние годы особый интерес к алмазу определяется возможностью создания в его решетке оптически активных центров, перспективных для квантовых технологий и других высокотехнологических применений. В настоящее время идет активный поиск новых ростовых сред для синтеза. Нами проведены исследования по кристаллизации алмаза в новых и малоизученных системах Р-С [2], S-С [3], Sb-С [4], Sn-С [5], Ge-С [6], Cu-С [7] и в расплавах на основе Mg [8]. Определены граничные условия и механизмы кристаллизации алмаза. Доказано вхождение примесей Cu и Ge в решетку синтезированных алмазов. Спектроскопическими методами (ФЛ и ЭПР) обосновано формирование германий-вакансионных оптических и парамагнитных центров. Показана перспективность GeV центров для использования в качестве ячеек квантовой памяти [9] и температурных датчиков [10].

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-27-00054), а также в рамках государственного задания (проект № 0330-2016-0007).

Ссылки:

1. Palyanov Y.N., Kupriyanov I.N., Khokhryakov A.F., Ralchenko V. Crystal Growth of Diamond, in: P. Rudolph (Ed.) Handbook of Crystal Growth (Second Edition). Volume 2a. Elsevier, 2015, pp. 671–713.
2. Palyanov Yu.N., Kupriyanov I.N., Sokol A.G., Khokhryakov A.F., Borzdov Yu.M. (2011): Diamond Growth from a Phosphorus-Carbon System at HPHT Conditions // Cryst. Growth Des. 2011. V.11. P. 2599–2605.
3. Palyanov Yu.N., Kupriyanov I.N., Borzdov Yu.M. et al. (2009): Diamond crystallization from a sulfur-carbon system at HPHT conditions // Cryst. Growth Des. V. 9. №6. P. 2922-2926.
4. Palyanov Yu.N., Borzdov Yu.M., Kupriyanov I.N. et al. (2015): Diamond Crystallization from an Antimony–Carbon System under High Pressure and Temperature // Cryst. Growth Des. N 15 (5). P. 2539–2544.
5. Palyanov Yu.N., Borzdov Yu.M., Kupriyanov I.N., Bataleva Yu.V., Khokhryakov A.F. (2015): Diamond crystallization from a tin-carbon system at HPHT conditions // Diam. Relat. Mater. 2015. V. 58. P. 40-45.
6. Palyanov Yu.N., Kupriyanov I.N., Borzdov Yu.M., Surovtsev N.V. (2015): Germanium: a new catalyst for diamond synthesis and a new optically active impurity in diamond // Sci. Rep. 5. 14789.
7. Kupriyanov I.N., Borzdov Yu.M., Palyanov Yu.N. (2016): HPHT growth and characterization of diamond from a copper-carbon system // Diam. Relat. Mater. V. 69. P. 198–206.
8. Palyanov Yu.N., Kupriyanov I.N., Borzdov Yu.M. et al. (2016): High-pressure synthesis and characterization of Ge-doped single crystal diamond // Cryst. Growth Des., 2016. V. 16. Iss. 6. P. 3510–3518.
9. Siyushev P., Metsch M.H., Ijaz A. et al. (2017): Optical and microwave control of germanium-vacancy center spins in diamond // Physical Review B. 96. 081201(R).
10. Fan J.W., Cojocaru I., Becker J. et al. (2018): Germanium-Vacancy Color Center in Diamond as a Temperature Sensor // ACS Photonics. 5 (3). P. 765–770.

ДЖЕРФИШЕРИТ В ПОРОДАХ КРЕСТОВСКОЙ ИНТРУЗИИ (ПОЛЯРНАЯ СИБИРЬ) И ЕГО ГЕНЕЗИС

Панина Л.И., Исакова А.Т.

ИГМ СО РАН

panina@igm.nsc.ru, atnikolaeva@igm.nsc.ru

Джерфишерит в Крестовской интрузии был обнаружен в первичных расплавных включениях, моно- и полисульфидных глобулах, а также и в джерфишерит-гидрогранатовых обособлениях мотичеллитовых пород. Включения были представлены тремя типами. I тип присутствовал в ядрах вкрапленников перовскита и зернах монтичеллита и соответствовал одной из ранних стадий кристаллизации материнской ларнит-нормативной щелочно-ультраосновной магмы, обогащенной водой и другими летучими компонентами [1]. Среди дочерних фаз включений отмечались: клинопироксен (Cpx), серпентин (Srp), флогопит (Phl), апатит (Ap), нефелин (Ne), гидрогранат (hGrt), магнетит (Mgt), джерфишерит (Dj), пектолит (Pct), кальцит (Cal). II тип включений отмечался в перовските и монтичеллите, а III – в перовските, монтичеллите и мелилите. Появление II и III типов расплавных включений было связано с проявлением около 1230-1250°C несмесимости и отделением от магмы высокофлюидизированного водосодержащего малокремнистого расплава, обогащенного щелочами и сульфидами, сопровождавшегося тектоническими подвижками и дроблением кристаллизующихся минералов. В составе включений II типа присутствовали: hGrt, Srp, Dj, Phl, Cal, Mgt. III тип включений был представлен Cpx, Ne, Ap, Mgt, Dj, Cal, Pct. Джерфишерит-гидрогранатовые обособления были приурочены к вкрапленникам титаномагнетита и перовскита и отходящим от них трещинам в монтичеллите. Минеральный состав джерфишерит-гидрогранатовых обособлений совместно с их окружением был аналогичен составу включений II типа: в нем отмечается hGrt, Dj, Srp, Phl, Cal, Mgt. Подобная идентичность дает основание связывать образование джерфишерит-гидрогранатовых обособлений, как и включений II типа, с пространственным отделением и кристаллизацией высокофлюидизированного малокремнистого расплава, обогащенного водой, щелочами и сульфидами. Кристаллизация расплава сопровождалась многократным проявлением силикатно-сульфидной несмесимости и возникновением глобулярных, эмульсиевидных и мирмекитовых структур в джерфишерит-гидрогранатовых обособлениях, а также образованием джерфишеритовых глобул и полисульфидных выделений в гидрогранат-кальцит-серпентиновом субстрате. Иногда в джерфишерит-гидрогранатовых обособлениях отмечается укрупнение джерфишеритовых выделений с образованием каемок, полосок, жилок, что объясняется большой подвижностью и малой вязкостью сульфидов. Присутствующие в джерфишерит-гидрогранатовых обособлениях редкие зерна хизлевудита, годлевскита, пентландита часто имеют ту же форму выделений, что и джерфишерит, что говорит об их одновременной и совместной кристаллизации из одного и того же расплава. Химический состав джерфишерита из моно- и полисульфидных глобул, джерфишерит-гидрогранатовых обособлений и включений I типа характеризуется, как и в большинстве кимберлитов Якутии, высоким (12.1-16.7 мас. %) Ni и низким (0.1-0.9 мас. %) Cu. Состав же джерфишерита из включений II и III типа отличается пониженными (3.3-1.6 мас.%) концентрациями Ni и повышенными (40.9-52.2 мас.%) Fe и существенными в III типе включений количествами Cu: от 7.6 до 10.6 мас. %.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-05-00285а) и РНФ (проект №14-17-00602П).

Ссылки:

1. Панина Л.И., Исакова А.Т., Сазонов А.М. (2018): Оливиниты Крестовской интрузии – продукты кристаллизации ларнит-нормативной щелочно-ультрамафитовой магмы: данные изучения расплавных включений // Петрология, Т. 26. №2. С. 163-177.

ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ЭКСГАЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ТИПА – МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ И ГЕОХИМИЧЕСКИЙ УНИКУМ

Пеков И.В.^{1 2}, Агаханов А.А.³, Зубкова Н.В.¹, Кошлякова Н.Н.¹, Щипалкина Н.В.¹,
Сандалов Ф.Д.¹, Япаскурт В.О.¹, Турчкова А.Г.¹, Сидоров Е.Г.⁴

¹ Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,
igorpekov@mail.ru

² Институт геохимии и аналитической химии (ГЕОХИ) РАН

³ Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана РАН

⁴ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

Активные фумарольные поля вулкана Толбачик на Камчатке – самый яркий пример эксгаляционных минералообразующих систем окислительного типа. В фумаролах Толбачика на сегодня достоверно установлено более 250 минеральных видов, 106 из которых впервые открыты здесь, в т.ч. 61 – авторами настоящей работы. Разнообразие и своеобразие этой минерализации обусловлено уникальным для природных объектов сочетанием физико-химических условий и механизмов ее формирования: это высокие температуры (надежно зафиксированные – до 750°C), атмосферное давление, очень высокая фугитивность кислорода (что обусловлено смешением вулканического газа с воздухом), газовый транспорт большинства компонентов, прямое осаждение из газовой фазы многих высокотемпературных минералов, специфическая геохимия газов, в т.ч. их резкая обогащенность щелочными металлами и халькофильными элементами. Это приводит к сильным отличиям по сравнению с другими природными системами в поведении многих химических компонентов, особенно в распределении их между фазами, к проявлению необычных схем изоморфизма в минералах, к реализации очень своеобразных кристаллических структур. В настоящем сообщении сделана попытка на примере Толбачика осветить некоторые специфические геохимико-минералогические черты современных фумарольных минералообразующих систем этого типа.

Так, в толбачинских фумаролах установлено 55 арсенатов, причем все безводородные – это новый химико-генетический тип мышьяковой минерализации. Арсенаты дают здесь "ураганно" богатые скопления, и среди них – самые богатые щелочами (>17 мас.% Na₂O+K₂O) и титаном (до 28 мас.% TiO₂) минералы этого химического класса. Большая часть ванадия сконцентрирована в составе арсенатно-ванадатных гранатов ряда берцелиит–шеферит. Силикатная минерализация оказалась широко развита в высокотемпературных фумарольных отложениях. Она представлена в основном полевыми шпатами, слюдами, пироксенами, форстеритом, андрадитом, фельдшпатоидами, часто необычными по химическому составу. В них типичными замещающими Si компонентами выступают As⁵⁺ [содержание As₂O₅ достигает 42 мас.% в полевых шпатах (филатовит) и 3 мас.% в форстерите] и P, а на место Al, Mg, Fe входят Cu, Zn, Sn. Гаюин содержит до 3.7 мас.% MoO₃ и до 1.7 мас.% WO₃. Характерный компонент фумарольных шпинелидов – медь, вплоть до образования купрошпинели и фазы CuAl₂O₄ (до 27 мас.% CuO). Сурьма концентрируется в оксидах ряда рутил–трипугиит (до 53 мас.% Sb₂O₅). Широко распространен эксгаляционный касситерит, но главный носитель олова здесь – Sn-содержащий гематит (до 7 мас.% SnO₂). Важнейшими концентраторами W, Mo и V оказались новые фторбораты ряда рабдоборита (до 20 мас.% WO₃). В эксгаляциях фумарол Толбачика развита сульфатная и хлоридная цезиевая минерализация, в т.ч. обнаружено самое богатое Cs природное соединение – Cs₂ZnCl₄ (44 мас.% Cs). Трехвалентный таллий выступает видообразующим компонентом в хлоридах (до 40 мас.% Tl в калиталлите). Фтор демонстрирует четкую связь формы нахождения с температурой: выше 300–350°C формируются только оксосоли с дополнительным анионом F⁻ (фторсиликаты, фторсульфаты, фторарсенаты, фторбораты и др.), а ниже – только фториды. Водород и углерод вообще не фиксируются в минералах, кристаллизующихся в этих системах при t > 150–200°C.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект № 14-17-00048) в части минералогических исследований и Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 17-05-00179) в части изучения кристаллохимии эксгаляционных арсенатов.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ РАСПРОСТРАНЁННОСТИ В ЗЕМНОЙ КОРЕ МАСС ИНТРУЗИВНЫХ И ЭФФУЗИВНЫХ ПОРОД В РЯДУ КИСЛОЕ-ОСНОВНЫЕ С ЗАКОНОМЕРНОСТЯМИ ВЯЗКОСТИ МАГМ

Персиков Э.С.

ИЭМ РАН, persikov@iem.ac.ru

Много лет назад В.С. Соболев предложил обосновать причину относительной распространённости масс интрузивных и эффузивных пород кислого, среднего и основного составов в земной коре на основе понимания закономерностей вязкости водных магм в переменном поле температур и давлений. Увы, в те годы решить эту проблему было не реально, т.к. экспериментально-теоретические исследования вязкости таких расплавов при высоких давлениях только начинались. Прошло почти полвека таких исследований, главным результатом которых стала разработанная физико-химическая модель достоверных прогнозов и расчетов вязкости гетерогенных магм практически любого состава в переменном поле температур и давлений земной коры и верхней мантии [1, 2]. Тем самым появилась реальная возможность решения упомянутой проблемы. На рисунке 1 для примера приведены закономерности вязкости водосодержащих гранитных магм при T, P – параметрах солидуса (синий цвет) и ликвидуса (красный цвет) в условиях практически полного диапазона глубин земной коры.

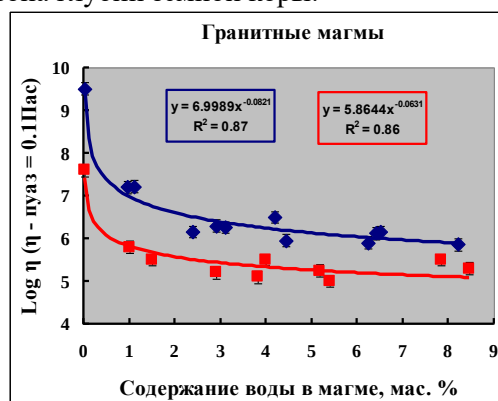


Рис. 1. Закономерности вязкости водно-гранитных магм в условиях земной коры ($P(\text{H}_2\text{O}) = 100$ атм – 3 Кбар, Р.лит. - до 10 Кбар, $T = 650 - 1100$ оС)

Сравнительный анализ результатов, представленных на Рис. 1, показывает, что гранитные магмы с содержанием воды 2 - 8 мас. % являются высокоподвижными расплавами в широком диапазоне термодинамических параметров и глубин земной коры (1 – 30 км). Их вязкость ($\sim 10^5$ пуаз) соизмерима с вязкостью базальтовых эффузивов и этим объясняется в частности, однородность огромных массивов гранитоидов батолитовой формации. Напротив, теряя эту воду при дегазации в условиях эффузивной и субвулканической фаций земной коры, субликвидусные гранитные магмы становятся столь вязкими ($\sim 10^8 - 10^9$ пуаз), что они по существу теряют способность к излияниям на дневную поверхность и извергаются сравнительно редко в виде экструзий или взрывных катастрофических извержений. Их становление и кристаллизация происходит в основном в плутонической фации. Именно такой закономерностью вязкости обезвоженных гранитных магм можно объяснить существенно большее распространение в земной коре масс интрузивных гранитов по сравнению с эффузивными риолитами.

Работа выполнена при поддержке программы № 19 Президиума РАН.

Ссылки:

1. Persikov E.S. (2007): Structural chemical model to calculate and predict the viscosity of magmatic melts in full range of composition and conditions. General Assembly EGU-2007. Vienna. Geophysical Research Abstracts, V. 9. A-02262. SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2007-A-02262.
2. Persikov E.S. & Bukhtiyarov P.G. (2009): Interrelated structural chemical model to predict and calculate viscosity of magmatic melts and water diffusion in a wide range of compositions and T - P parameters of the Earth's crust and upper mantle. // Russian Geology & Geophysics. V.50. No 12. P. 1079–1090.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАСОМАТОЗА В СУПРАСУБДУКЦИОННОЙ МАНТИИ: РОЛЬ СУБСТРАТА И РЕЖИМА МИГРАЦИИ КОМПОНЕНТОВ

Перчук А.Л.^{1,2}, Япаскурт В.О.¹, Гриффин В.З.,

Шур М.Ю.¹, Гейн С.³, Зиновьева Н.Г.¹

¹ Кафедра петрологии, Геологический ф-т МГУ им. Ломоносова, Москва

alp@geol.msu.ru

² ИЭМ им. Д.С. Коржинского РАН, Черноголовка

³ Национальный исследовательский центр «ГЕМОС»,
Университет Маккуори, Сидней, Австралия.

Приводятся результаты двух экспериментальных серий, моделирующих корово-мантийное взаимодействие в зоне субдукции, выполненных на установке поршень-цилиндр с природными образцами и смесями минералов при 750-900 °С и 2.9 ГПа. В первой серии изучались особенности метасоматического изменения дунита и лерцолита (аналоги мантии), а также переноса микроэлементов, выделяемых из карбонатизированного амфиболита (аналог субдуцирующей коры) во время его эклогитизации [1]. Перенос элементов из корового в мантийные субстраты происходил в режимах пропитывающего, фокусированного и диффузионного потоков, которые выносили расплав, углерод и воду из метабазитового слоя. Пропитывающий поток приводил к растворению клинопироксена и образованию парагенезиса $\text{Opx} \pm \text{Grt} \pm \text{Mgs} \pm \text{Chl}$ в перидотитах. Миграция одинаковых по составу жидкостей через дунит и лерцолит приводила к образованию грацбургита. Фокусированный поток вдоль боковых стенок капсул создавал парагенезис $\text{Omp} \pm \text{Phn} \pm \text{Qz}$ в метабазите и сегрегации расплава, отделенные от слоев перидотита хозяина с новообразованным парагенезисом $\text{Omp} \pm \text{Grt} \pm \text{Phl} \pm \text{Opx} \pm \text{Mgs}$. Диффузионный поток приводил к образованию реакционных зон, сложенных парагенезисом $\text{Opx} \pm \text{Mgs} \pm \text{Grt}$ на границах слоев контрастного состава (метабазит-перидотит, расплав-перидотит). Геохимические особенности расплавов указывает на их сходство с высокоглиноземистыми адакитами. Метасоматоз в дунитовом слое изменил спектры РЗЭ в дуните, демонстрируя эффект хроматографического фракционирования при пропитывающем потоке расплава. Метабазит при взаимодействии метабазит-лерцолит постепенно обогащался LREE в то время как лерцолит, наоборот, обеднялся LREE относительно исходных содержаний, отражая перенос элементов против направления потока жидкости. Во второй серии моделировалось взаимодействие глаукофанового сланца с гарцбургитом и вебстеритом с целью установления влияния мантийного субстрата на привнос-вынос компонентов и характер метасоматоза на границе кора-мантия в зоне субдукции [2]. Эксперименты демонстрируют, что существенно водный флюид (с растворенными в нем компонентами и CO_2), выделившийся из глаукофанового сланца, создает в мантийных субстратах разные минеральные парагенезисы, отличающиеся по химизму – Na-содержащий в вебстерите и K-содержащий в гарцбургите. При этом комплементарные для вебстеритового слоя калий и CO_2 , а для гарцбургитового – натрий, остаются в метабазитовом слое.

Таким образом, восходящие потоки жидкостей из субдуцирующей плиты не всегда "фертилизуют" породы мантийного клина, а на границе субдуцирующей коры и мантии создаются условия для разнонаправленной миграции компонентов, что может отражаться на характере метасоматоза в мантийном клине, составе первичных магм и эволюции состава пород субдуцирующей плиты.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 16-05-00495).

Ссылки:

1. Perchuk A.L., Yapskurt V.O., Griffin W.L., Shur M.Yu. and Gain S.E.M. (2018): Three types of element fluxes from metabasite into peridotite in analogue experiments: Insights into subduction-zone processes // *Lithos*. V. 302-303. P. 203-223.
2. Перчук А. Л., Япаскурт В. О., Зиновьева Н.Г., Шур М.Ю. (2018) Разнонаправленная миграция натрия, калия и CO_2 при взаимодействии глаукофанового сланца с гарцбургитом и вебстеритом в аналоговых экспериментах при P-T условиях зоны субдукции // *Петрология*, Т.26, N 6.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ В РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ АЛМАЗОВ В МЕТАМОРФИЧЕСКОМ СУБСТРАТЕ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДЕТАЛЬНОЙ РАЗВЕДКИ НА КУМДЫКОЛЬСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ)

Печников В.А.

ФГБУ ЦНИГРИ
pechnikov56@mail.ru

С момента первой публикации [1] о включениях микроалмазов в гранатах метаморфических пород прошло 30 лет. За это время наши представления об алмазоносности метаморфических пород существенно расширились. Тем не менее, говорить о том, что эта проблема решена – преждевременно. Ниже приводятся данные, в которых акцент делается не на отдельные факты, а на выявленные закономерности на Кумдыкольском месторождении (эталонный объект).

Кумдыкольское м-е расположено на Кокчетавском массиве, вблизи оз. Кумдыколь. Прослеживается в СВ-ЮЗ направлении более чем на 1 км и варьирует по ширине от 250 м на СВ фланге до 50 м на ЮЗ.

Структура Кумдыкольского м-я обусловлена разновозрастными и разномасштабными процессами [2,3]. ЗСЗ фланг месторождения ограничен гранат-мусковитовыми гранитами, БЮВ – мигматитами. Вмещающий алмазы метаморфический субстрат на 80% состоит из гранат-биотитовых гнейсов, в толще которых расположены будины эклогитов и гранат-пироксеновых пород (5%), а также линзовидные прослои силикатно-карбонатных и биотит-кварцевых пород (15%). Все породы имеют ЮЗ-СВ простирание с крутыми углами (60-70°) падения на ЮВ. Кроме этого в границах месторождения, преимущественно в гнейсовом субстрате, выделяются узкие (шириной до 15 м), ветвящиеся по простиранию, зоны метасоматитов с графитовой и сульфидной минерализацией, сопряженные с ССВ системой разломов. Породы интенсивно хлоритизированы. Дайки диабазов, сосредоточенные на СВ фланге м-я, секут все перечисленные выше породные разности. Самая молодая субширотная система разломов разбивает структуру м-я на отдельные блоки, которые смещены относительно друг друга (взбросо-сдвиги) на первые десятки метров.

Детальное опробование всех пород в объеме м-я выявило, что рудное (алмазоносное) тело имеет линейно-ветвящееся строение, сопряжено с метасоматическими породами и занимает секущее положение по отношению к метаморфическим породам. Выдержанные максимальные содержания алмазов по простиранию и на глубину контролируются линейными зонами метасоматитов.

Алмазная и графитовая минерализации имеют тесные парагенетические связи [4]. Микронные размеры кристаллов алмаза и все изложенное выше заставляет по-новому взглянуть на процесс алмазообразования в земной коре.

Ссылки:

1. Соболев Н.В., Шацкий В.С. (1987): Включения минералов углерода в гранатах метаморфических пород // Геол. и геоф. № 7. С. 77-80
2. Лаврова Л.Д., Печников В.А., Плешаков А.М. и др. (1999): Новый генетический тип алмазных месторождений. М.: Научный мир. 221 С.
3. Pechnikov, V.A. & Kaminsky, F.V. (2008): Diamond potential of metamorphic rocks in the Kokchetav Massif, northern Kazakhstan // Eur. J. Mineral. V. 20. P. 395-413.
4. Pechnikov V.A. & Kaminsky F.V. (2011): Structural and microstructural regularities of the distribution of diamond in metamorphic rocks of the Kumdy-Kol and Barchi-Kol deposits, Kokchetav massif, Northern Kazakhstan // The Canadian Mineralogist. V. 49. P. 673-690

ВЛАДИМИР СТЕПАНОВИЧ СОБОЛЕВ КАК ДИРЕКТОР МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО МУЗЕЯ ИМ.А.Е.ФЕРСМАНА

Плечов П.Ю.¹

¹ МинМузей РАН
pplechov@gmail.com

Владимир Степанович Соболев (30 мая 1908 – 1 сентября 1982) – выдающийся ученый и организатор, один из создателей львовской, а затем сибирской научной школы. Ярким страницам биографии В.С.Соболева посвящено значительное количество публикаций [1-4]. Последний год своей жизни (с 9 апреля 1981 по 1 сентября 1982 года) он являлся директором минералогического музея им.А.Е.Ферсмана АН СССР (ныне РАН). Сохранившиеся архивные документы, каталоги образцов музея и воспоминания сотрудников позволяют дополнить биографию еще одной, трагически оборвавшейся страницей.

АВТОБИОГРАФИЯ

академика **СОБОЛЕВА ВЛАДИМИРА СТЕПАНОВИЧА**

Фамилия, имя, отчество

Родился в 1908 году в г. Луганске в семье артиллерийского офицера.

Отец умер в 1916 г. в г. Киеве, мать убита бандитами в 1920 г. в г.

Купянске. Жил в семье деда, Острякова Николая Яковлевича, адвоката в

Рис.1 – Фрагмент автобиографии В.С.Соболева из МинМузея РАН.

В архиве хранится личное дело академика В.С.Соболева (рис.2), отзывы-рекомендации академиков А.А.Трофимука и Д.С.Коржинского, копии дипломов и справок. Список научных трудов и изобретений содержит 231 публикацию (по 1977 год).

ЛИЧНАЯ КАРТОЧКА № _____

I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Фамилия <u>Соболев</u>	11. <u>минералог</u> основная профессия (специальность)
имя <u>Владимир</u> отчество <u>Иванович</u>	
2. Год рождения <u>1908</u> месяц <u>май</u> число <u>30</u>	12. Общий стаж работы <u>60 лет</u>
3. Место рождения <u>г. Луганск</u>	13. Непрерывный стаж <u>52</u>
4. Национальность <u>русский</u>	14. последнее место работы, должность
5. Партийность <u>член ВКП(б)</u>	
6. Состоит ли членом ВЛКСМ <u>да</u> с какого года _____	15. Семейное положение <u>женат</u>
7. Член профсоюза <u>да</u>	состав семьи _____
8. Образование <u>высшее</u>	с указанием года рождения _____
а) _____	

Рис.2 – Фрагмент личной карточки В.С.Соболева из МинМузея РАН.

Всего за год пребывания на посту директора, В.С. Соболев организовал строительство лабораторного корпуса и реконструкцию экспозиции музея, законченную его учеником А.А.Годовиковым, инициировал новые научные исследования.

Ссылки:

1. Владимир Степанович Соболев (1908–1982). М.: Наука, 1990. 114 с. (Материалы к биобиблиографии ученых. Сер. геол. наук; Вып. 38).
2. Выдающийся исследователь, блестящий педагог. 100 лет со дня рождения академика В.С. Соболева //Вестн. РАН. 2009. Т. 79, № 4. С. 335–340.
3. Соболев Владимир Степанович // Академическая когорта Института геологии и геофизики СО (АН СССР – РАН). Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2011. С. 55–71.

КСЕНОЛИТЫ ПОЛИМИКТОВЫХ БРЕКЧИЙ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Похиленко Л.Н.¹, Афанасьев В.П.¹, Похиленко Н.П.^{1,2}

¹ ИГМ СО РАН, ² НГУ

lu@igm.nsc.ru, avp-diamond@mail.ru, chief@igm.nsc.ru

Полимиктовая брекчия представляет собой сложный редкий тип глубинных мантийных пород. В международной литературе описано около десяти аналогичных образцов из Южной Африки и Якутии [1-3]. Фактически, это конгломерат фрагментов пород разных парагенезисов и одноименных минералов широкого спектра составов (примеры составов гранатов и слюд см в Таблице 1, компоненты в мас.%; для сравнения приведен гранат из S-2 – полимиктовой брекчии трубки Сытыканская [3]).

Таблица 1 – Вариации составов одноименных минералов из полимиктовых брекчий UV162/09 (трубка Удачная, центральная часть Сибирского кратона) и SH-18/20 (трубка Ноябрьская, северо-восточная часть Сибирского кратона)

образец	UV162/09	SH18/20	S-2	UV162/09	SH18/20
минерал	гранат	гранат	гранат	флогопит	флогопит
SiO ₂	40.6-42.4	41-41.7	41.3-42.2	39-41	38.6-44
TiO ₂	0.7-2.21	0-1.3	0.3-1.19	1.7-8.4	2.4-4.7
Al ₂ O ₃	19-21.7	19.3-21.7	18.6-21.4	7.8-13.9	9.7-15.1
Cr ₂ O ₃	0.55-2.04	0.76-5.32	0.13-5.33	0-1.1	0.8-1.3
FeO	10.85-13.19	8-10.4	7.3-12.4	4.8-9.6	4.4-5.7
MgO	14.68-20.89	18.5-20.3	17.2-21.1	20.1-23.3	20.4-25.6
CaO	2.23-6.16	4.7-6.4	4.31-7.36	0-1.6	-
Na ₂ O	н.о.	н.о.	0.01-0.15	0.1-0.4	0.3-0.7
K ₂ O	н.о.	н.о.	н.о.	9-10.4	6.8-9.9

Оливин и ильменит в изученных образцах тоже неоднородны: 1) UV162/09: Ol Mg# 85.6-88, Plm Mg# 24.2-50.2, Cr₂O₃ 0.3-3.9; 2) SH-18/20: Ol Mg# 87.5-91.6; Plm Mg# 39.5-42.9, Cr₂O₃ 0.9-7.3. Равновесие минеральных ассоциаций отдельных участков позволяет определить P-T условия некоторых этапов формирования этих сложных пород: UV162/09: 1) grt+opx – 1200°C-6 ГПа; 2) Al-opx-Al-cpx – 1100°C-2 ГПа. Нормализованные по хондриту образцы PЗЭ в гранатах SH18/20 проявляют различную степень и характер обогащения, указывая на разные источники метасоматоза и (или) на несколько этапов этого процесса. В целом, большое разнообразие минеральных составов и химических составов одноименных минералов, наличие мелкозернистых минералов наряду с крупными их выделениями, зональность минералов, структуры распада, келифитовые каймы – все это свидетельствует о крайне неравновесных условиях и быстром формировании пород, полученных перемешиванием контрастных составов на большой глубине в мантии до внедрения кимберлитового расплава.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 16-05-00811) и в рамках проекта № 0330-2016-0006.

Ссылки:

1. Lawless P.J., Gurney J.J., Dawson J.B. (1979): Polymict peridotite from the Bultfontein and De Beers Mines, Kimberly, South Africa. In: Boyd, F.R., Meyer, H.O.A. (Eds.), The Mantle Sample: Inclusions in Kimberlite and Other Volcanics. American Geophysical Union. Washington. P. 145–155.
2. Zhang H.-F., Menzies M.A., Matthey D.P., Hinton R.W., Gurney J.J. (2001): Petrology, mineralogy and geochemistry of oxide minerals in polymict xenoliths from the Bultfontein kimberlites, South Africa: implication for low bulk-rock oxygen isotopic ratios // Contributions to Mineralogy and Petrology. V. 141. P. 367–379.
3. Pokhilenko N.P. (2009): Polymict breccia xenoliths: Evidence for the complex character of kimberlite formation. // Lithos. V. 112S. P. 934-941.

ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ МОЗАИЧНО-БЛОЧНЫХ АЛМАЗОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ ЗАРНИЦА

Рагозин А.Л.^{1,2}, Зедгенизов Д.А.^{1,2}, Шацкий В.С.^{1,2,3}, Купер К.Э.⁴

¹ ИГМ СО РАН,
ragoz@igm.nsc.ru

² Новосибирский государственный университет

³ ИГХ СО РАН

⁴ ИЯФ СО РАН

Кимберлитовая трубка Зарница – первая трубка, открытая Л.А. Попугаевой в 1954 г. [1] в Далдынском поле Далдыно-Алакитского района Якутской алмазонасной провинции, в 14 км на восток от г. Удачный. Большинство кристаллов алмаза (>95%) из трубки Зарница относится к I разновидности по классификации Орлова [2], также встречаются серые поликристаллические агрегаты (VIII разновидность), кристаллы с оболочкой IV и кубы II разновидности. Однако, в трубке встречаются также темно-серые вплоть до черных алмазы, по морфологическим признакам близкие к V и VII разновидностям.

В настоящей работе приведены результаты исследования мозаично-блочных алмазов из кимберлитовой трубки Зарница. По ряду морфологических признаков и специфическому внешнему облику эти алмазы близки к широко распространенным в россыпях северо-востока Сибирской платформы темно-серым мозаично-блочным алмазам V и VII разновидностей, коренные источники которых до настоящего времени неизвестны. Несмотря на сходное внутреннее строение исследованных алмазов из трубки Зарница и алмазов из россыпей, формирование такой специфической внутренней структуры происходит по различным механизмам. В отличие от алмазов V и VII разновидностей, внутренняя структура которых образовалась в результате процессов расщепления кристаллов [3], кристаллизация алмазов из кимберлитовой трубки Зарница происходила по иному механизму [4]. Укрупнение субиндивидов от ядерных частей, имеющих отчетливое поликристаллическое строение, к периферийным, и образование радиальной внутренней структуры происходило в результате развития индивидов на первично поликристаллических затравках согласно закону геометрического отбора [5]. Проведенные исследования показали, что различия этих двух групп кристаллов отражаются не только в механизмах формирования внутренней структуры, а также в парагенезисе включений, дефектно-примесном составе и изотопном составе углерода. В отличие от россыпных мозаично-блочных алмазов V и VII разновидностей, изученные кристаллы из трубки Зарница содержат включения перидотитового парагенезиса (оливины и субкальциевые хромсодержащие пиропы), имеют типичные для природных кимберлитовых алмазов содержания азота (0-1761 ppm) и распределения примесных центров в объеме образцов (в соответствии с «отжиговой» моделью степень агрегации азотных дефектов понижается от центральных частей к периферийным), а также характеризуются обычным «мантийным» изотопным составом углерода от -1.9 до -6.2 ‰ $\delta^{13}\text{C}$ (среднее -4.2‰).

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № 0330-2016-0007 при поддержке РФФИ № 16-05-00614.

Ссылки:

1. Моор Г.Г., Соболев В.С. (1957): К вопросу о сибирских кимберлитах // Мин. сборник Львовского геол. об-ва. №11. С. 369-371.
2. Орлов Ю.Л. (1984): Минералогия алмаза. Москва, Наука, 264 с.
3. Ragozin A.L., Zedgenizov D.A., Kuper K.E., Shatsky V.S. (2016): Radial mosaic internal structure of rounded diamond crystals from alluvial placers of Siberian platform // Mineralogy and Petrology. V. 110. P. 861-875.
4. Ragozin A., Zedgenizov D., Kuper K., Palyanov Y. (2017): Specific Internal Structure of Diamonds from Zarnitsa Kimberlite Pipe // Crystals. V. 7. P. 133.
5. Шубников А.В. (1946): О законе геометрического отбора при образовании кристаллического агрегата // Докл. АН СССР. Т. 51. С. 679-681.

ИЗОТОПНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛМАЗОВ, ОБРАЗОВАННЫХ ПО МЕХАНИЗМУ ОКИСЛЕНИЯ-ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Реутский В.Н.¹, Пальянов Ю.Н.¹, Борздов Ю.М.¹, Сокол А.Г.¹, Виденбек М.²

¹ ИГМ СО РАН
reutsky@igm.nsc.ru
² GFZ Potsdam

В результате экспериментальных исследований окислительно-восстановительного взаимодействия металлического железа с карбонатом магния и кальция при высоких температурах и давлениях [1] получены свидетельства формирования алмазов с широкими вариациями $\delta^{13}\text{C}$. Нами получены данные об изотопном составе 10 кубооктаэдрических кристаллов алмаза (27 определений), которые были извлечены из ампулы после эксперимента при 6.5 ГПа и 1550°C. Несмотря на единственный источник углерода, представленный карбонатом с $\delta^{13}\text{C} = +0.2\text{‰}$ VPDB, кристаллы алмаза варьируют по $\delta^{13}\text{C}$ от -0.5 до -17.1‰. Величина $\delta^{13}\text{C}$ остатка карбоната после эксперимента выросла до +1.4‰. Образованный на месте металлического железа карбид напротив, обеднён тяжёлым изотопом до -6.5‰. Общее распределение изотопов углерода между фазами в эксперименте соответствует недавним результатам теоретических и экспериментальных исследований фракционирования изотопов углерода при высоких РТ-параметрах [2,3].

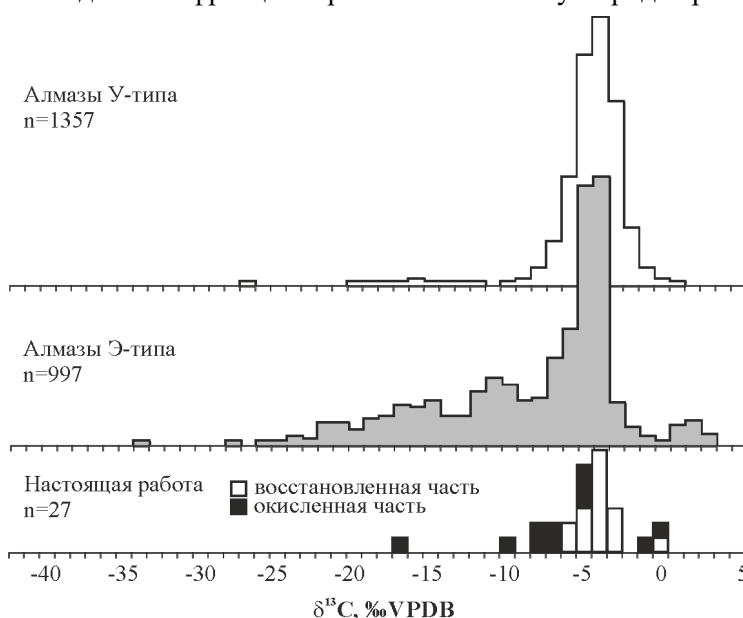


Рис. 1.—Сравнение распределений $\delta^{13}\text{C}$ природных алмазов с включениями различных типов и кристаллов алмаза, полученных в результате взаимодействия металлического железа с чистым карбонатом.

Алмазы, кристаллизовавшиеся в восстановленной части системы сравнительно однородны по изотопному составу углерода с $\delta^{13}\text{C}_{\text{ср}} = -4.55\text{‰}$ ($\text{sd} = 1.33$, $n = 16$). Кристаллы, извлечённые из карбоната, имеют более широкие вариации и существенно более низкое значение $\delta^{13}\text{C}_{\text{ср}} = -7.10\text{‰}$ ($\text{sd} = 4.58$, $n = 11$). Общее распределение полученных изотопных составов углерода хорошо соответствует распределению $\delta^{13}\text{C}$ природных алмазов с перидотитовыми и эклогитовыми минеральными включениями (Рис. 1).

Полученное в эксперименте распределение $\delta^{13}\text{C}$ алмазов, кристаллизовавшихся из единственного источника углерода, соответствующего по изотопному составу морским осадочным карбонатам, имеет значительное сходство с распределением $\delta^{13}\text{C}$ мантийных алмазов. Наши данные указывают на то, что при окислительно-восстановительном взаимодействии субдуцируемого морского карбоната с восстановленным веществом мантии возможна кристаллизация алмазов с изотопными характеристиками углерода, идентичными мантийным.

Исследования выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда № 14-27-00054

Ссылки:

1. Palyanov Y.N., Bataleva Y.V., Sokol A.G., et al. (2013): Mantle–slab interaction and redox mechanism of diamond formation // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. V. 110. №51. P. 20408-20413.
2. Horita J., Polyakov V.B. (2015): Carbon-bearing iron phases and the carbon isotope composition of the deep Earth // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. V. 112. №1. P. 31-36.
3. Реутский В.Н., Пальянов Ю.Н., Борздов Ю.М., Сокол А.Г. (2015): Изотопное фракционирование углерода при кристаллизации алмаза в модельных системах // *Геол. Геофиз.* Т.56, №1-2, стр. 308-315.

Рябов В.В.

ИГМ СО РАН
trapp@igm.nsc.ru

Графит с кубическим габитусом кристаллов в природе встречается крайне редко. Минерал был обнаружен в метеоритах в ассоциации с алмазом и назван клифтонитом. В земных породах наиболее представительные проявления кубических графитов описаны в мафит-ультрамафитовом массиве Бени-Бушер в Марокко и в самородном железе из трапповых интрузий Сибирской платформы. Относительно происхождения клифтонита нет полной ясности. В метеоритах и породах Бени-Бушера предполагается, что клифтонит является псевдоморфозой по какому-то кубическому минералу или параморфозой по алмазу, а в траппах формирование ассоциации клифтонита с самородным железом происходило в верхней мантии с последующим выносом их в гипабиссальную камеру [1].

В трапповых интрузиях с самородным железом связаны Pt-Fe-металльные месторождения, которые имеют повышенные содержания Ni, Co, Cu, Pt, Pd [2]. В рудоносных породах наблюдаются включения графита, который образует пластинки, мелкочешуйчатые агрегаты, радиально-лучистых сфероиды, кольца, микро- и нанотрубки, конусы, ежи, луковичи и т.д.. Кубические кристаллы графита находятся только в богатых губчатых рудах самородного железа. Они образуют одиночные мелкие (0,1-0,5 мм) кристаллы, сростки и реже поликристаллические агрегаты (до 0,5х0,9 см), которые нарастают на силикатную подложку (рис.1). Количество кубиков графита в рудах широко варьирует. В пробе весом 200-300 г количество индивидов клифтонита может достигать нескольких сотен [1]. В породах с бедной вкрапленностью самородного железа клифтонит не встречается. В самородном железе часто отмечается когенит в виде фенокристов, структур распада и каёмок на границе с клифтонитом и породой. В железе богатым структурами распада когенита клифтонит не встречается и, наоборот, при большом количестве выделений клифтонита находки когенита представляют редкость.

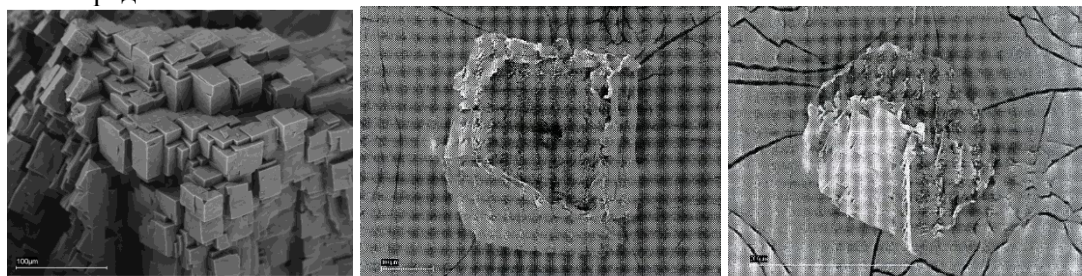


Рис. 1. Поликристаллический агрегат кубиков графита (слева) и кубические кристаллы графита с повреждёнными вершиной и гранями кубических «футляров», которые вскрыли внутренний структурированный графитовый наполнитель (в центре и справа).

Кубические кристаллы графита имеют различное внутреннее наполнение. В срезах кристаллов в шлифах можно видеть плотно упакованные тонкочешуйчатые графитовые агрегаты, которые образуют сферокристаллы с секториальным погасанием, или рыхлые по виду на изломе срастания пластинчатых и структурированных форм графита (см. рис. 1). На гранях куба часто отмечаются структуры роста, в виде прямоугольных ступенчатых наросов.

У клифтонита кубическую форму имеет только тонкий внешний футляр кристалла, внутри которого находится структурированный графитовый наполнитель. Относительно происхождения внешних кубических форм графитового футляра можно предполагать, что при взаимодействии углеводородов с рудными компонентами возникали своеобразные комплексы графита с переходными металлами, под влиянием которых происходил каталитический распад углеродной сетки и создание кубической структуры графита [3].

Ссылки:

1. Левашов В.К., Олейников Б.В. (1984): Земной клифтонит в ассоциации с самородным железом габбродолеритов горы Озерной (Сибирская платформа) // Докл. АН СССР. Том 278, № 3, с.719-722.
2. Ryabov V.V., Lapkovsky A.A. (2010): Native iron(-platinum) ores from the Siberian Platform trap intrusions // Australian Journal of Earth Sciences. 57. P. 707-730.
3. Вольпин М.Е. (1980): Комплексы графита с переходными металлами – новый класс металлоорганических соединений // Вестник Академии наук СССР. № 3. стр. 21-27.

КРУПНОМАСШТАБНЫЙ ПРОГНОЗ ПОИСКОВЫХ ОБЪЕКТОВ РАНГА «КИМБЕРЛИТОКОНТРОЛИРУЮЩИЙ РАЗЛОМ» - «КУСТ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК» В ГИС-ТЕХНОЛОГИЯХ В РАЙОНАХ РАЗВИТИЯ ТРАППОВ

Салихов Р.Ф.¹, Толстов А.В.²

¹АК «АЛРОСА» (ПАО), Вилуйская ГРЭ, SalikhovRF@alrosa.ru

² АК «АЛРОСА» (ПАО), НИГП, TolstovAV@alrosa.ru

Выделение элементов структуры кимберлитового поля на основе комплекса геолого-геофизических исследований в комплексе с палеогеографическим анализом и результатами минералогического анализа позволяет провести крупномасштабный прогноз поисковых объектов в ранге «кимберлитоконтролирующий разлом» - «куст кимберлитовых трубок» в ГИС-технологиях в траппонасыщенных районах. При оценке остаточных перспектив участка в основу положены структурно-тектонические признаки фундамента и осадочного чехла, определённые по геофизическим данным (магнито-, грави- и сейсморазведка), шлихоминералогические данные, восстановленный палеорельеф карбонатного цоколя, достигнутая плотность поисковой сети.

Итоговый прогноз алмазности участка был выполнен на основе ГИС-технологий в системе «ArcView», применяемой при среднемасштабной прогнозной оценке территории на алмазы для листа Госгеолкарты-200 Q-49-XXI, XXII [1]. Эталонными объектами являлись известные кимберлитовые тела на площади участка: 21 трубка и 9 даечных тел, в том числе два месторождения (тр. Юбилейная и Краснопресненская). В качестве перспективной рассматривалась зона динамического влияния (ЗДВ) выбранного критерия, которая обеспечивала 100% «захват» всех известных кимберлитовых тел.

Контроль проявлений кимберлитового магматизма – достаточно многофакторный. Большинство исследователей придерживается мнения, что на участках, относимых к перспективным на поиски кимберлитовых тел, должны проявляться максимальное количество критериев прогноза и признаков кимберлитового магматизма. Последовательными ГИС-процедурами (создание буферной зоны, клипирование и «взрывание») определялись участки, перспективные на кимберлиты, как площади, на которых проявлены все участвующие в прогнозе структурные критерии – индикаторы систем рудоподводящих каналов, рудораспределяющей системы и вторичных (зависимых) признаков («демаскирующих систем»). Данные участки рассматриваются нами как потенциальные структурные ловушки, благоприятные для локализации кимберлитового оруденения. Степень их перспективности (ранжирование для определения очередности поисковых работ) усиливалась шлихоминералогическими критериями.

Минералогические ореолы индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) по содержанию в пиропсах хрома и наличию в них алмазов разделялись на высоко-, умеренно- и слабоперспективные.

Для древних высокоперспективных ореолов ИМК «зона влияния» до 1000 м [2], распространялась в сторону ближайшего водораздела нижнепалеозойского погребённого рельефа.

В качестве участков второй очереди оставлены перспективные участки за пределами шлиховых ореолов, выделенные на основе сочетания только структурных критериев (обстановки, в которых долериты залегают на карбонатном цоколе, участки слабо расчленённого рельефа и т.д.).

Таким образом, из полученных перспективных участков последовательными ГИС-процедурами были исключены площади с высокой степенью опосредованности горно-буровыми методами. При дальнейшем рассмотрении исключались участки с площадью менее 1 га, в результате чего выделены наиболее перспективные участки для заверки буровыми работами.

Ссылки:

1. Салихов Р.Ф. и др. (2005): Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000, Верхневилуйская серия (издание второе). Лист Q-49-XXI, XXII (Айхал). Объяснительная записка. С.-Пб.: http://geo.mfvsegei.ru/200k/q-49/q-49-21,22/Download/Zap_Q-49-XXI,XXII.pdf
2. Салихов Р.Ф. (2004): Применение показателя поперечной продуктивности в россыпях для целей крупномасштабного прогнозирования коренных месторождений алмазов // Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: прошлое, настоящее и будущее (АЛМАЗЫ-50). М-лы науч.-практ. конф., посв. 50-летию открытия первой алмазодобывающей кимберлитовой трубки «Зарница». МПР РФ, ВСЕГЕИ, «АЛРОСА». – С.-Пб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. – С. 298 – 300

Р-Т УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ МАФИЧЕСКИХ ГРАНУЛИТОВ ИЗ КСЕНОЛИТОВ В КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ УДАЧНАЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФАЗОВЫХ РАВНОВЕСИЙ

Сапегина А.В.^{1 2}, Перчук А.Л.^{1 2}, Сафонов О.Г.^{1 2}, Мальковец В.Г.³

¹ Институт экспериментальной минералогии им. Д.С. Коржинского РАН

² Кафедра петрологии, Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
ann-sapegina@yandex.ru

³ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН

Ксенолиты коровых метаморфических пород в кимберлитах - ключ к познанию строения, эволюции и образования континентальной коры. В данной работе приводятся результаты детального петрологического изучения ксенолитов мафических гранулитов из кимберлитовой трубки Удачная, расположенной в Далдын-Алакитском кимберлитовом поле в Якутии. Ксенолиты представлены породами с гранобластовой крупнозернистой структурой, сложенной идиоморфными и субидиоморфными зёрнами клинопироксена, граната и плагиоклаза, а в одном из образцов – скаполита. Рудные минералы представлены титаномagnetитом, ильменитом и сульфидами железа. Во всех образцах развиты регрессивный метаморфический амфибол, а также более поздние продукты взаимодействия гранулитов с кимберлитовой магмой.

Зёрна граната ($x_{Mg} = 0.31$ и $x_{Ca} = 0.17$) и плагиоклаза ($x_{Ca} = 0.30$) гомогенны. Локальная неоднородность их состава на отдельных краевых участках связана с метасоматическими реакциями с кимберлитовым расплавом. В клинопироксене же наблюдается отчётливая зональность. Внутренние части кристаллов имеют выдержанный состав ($x_{Mg} = 0.74$) и содержат ламели распада (рис. 1, b), выполненные оксидами железа и ортопироксеном. Ранее сообщалось [2, 3], что в ламеллях распада присутствует инвертированный пижонит, указывающий на температуру кристаллизации выше 1000°C. Краевые зоны кристаллов, свободные от структур распада, обладают более высокой магнезиальностью, зависящей от контактирующего минерала: $x_{Mg} \sim 0.78$ на границе с гранатом, $x_{Mg} \sim 0.73$ - с плагиоклазом. И каймы, и ядра пироксенов содержат 1-2 мол. % жадеитового и 8-10 мол. % эгириновоего миналов. Скаполит относится к силвиалит-мейонитовому ряду.

Для восстановления Р-Т условий метаморфизма для двух представительных образцов был рассчитан эффективный химический состав с учетом ядерных частей клинопироксена и без них. Для этих составов с помощью программного комплекса Perple_X [1] были построены фазовые диаграммы (псевдосечения), а по положению изоплет составов минералов, соответствующих природным, оценены искомые Р-Т условия ~0.8 ГПа и ~680-700°C для парагенезиса Gt + Crx + Pl ($\pm$ Scp). Оценки температуры согласуются с результатами Gt – Crx геотермометрии.

Моделирование показывает, что гранулиты были сформированы на границе нижней и средней коры. При этом ядерные части кристаллов клинопироксена не относятся к метаморфическому парагенезису, а, вероятно, представляют неперевывравненные реликты ювенильной коры, сформированной из магм основного состава [3] - продуктов декомпрессионного плавления поднимающейся астеносферы.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект № 18-17-00206).

Ссылки:

1. Connolly J.A.D. (2005): Computation of phase equilibria by linear programming: A tool for geodynamic modeling and its application to subduction zone decarbonation. // Earth and Planetary Science Letters. V. 236. P. 524-541.
2. Стенина Н. Г., Шацкий В. С. (1985): Структуры распада в клинопироксенах эклогитоподобных пород // Геология и геофизика. №. 3. С. 51-64.
3. Шацкий В. С. и др. (2005): Строение и эволюция нижней коры Далдын-Алакитского района Якутской алмазоносной провинции (по данным изучения ксенолитов) // Геология и геофизика. Т. 46. №. 12. С. 1273-1289.

МЕТАМОРФИЧЕСКАЯ НР-УНР ЭВОЛЮЦИЯ GRT ЛЕРЦОЛИТОВ И GRT-OL ВЕБСТЕРИТОВ КОМПЛЕКСА МАРУН-КЕУ, ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ

Селятицкий А.Ю.¹, Куликова К.В.²

¹ ИГМ СО РАН

selya@igm.nsc.ru

² ИГ Коми НЦ УрО РАН,

fopolina1@yandex.ru

Эклогит-гнейсовый комплекс Марун-Кеу – один из ключевых для Полярного Урала и рассматривается как индикатор Pz субдукционно-коллизийных процессов [1 и ссылки там]. Он расположен в палеоконтинентальном секторе Полярного Урала и вытянут ~ на 70 км. с севера на юг вдоль зоны Главного уральского разлома. В южной его части: будины и линзы эклогитов, Grt ультрамафитов и эклогитизированных габброидов в метаморфизованных вулканогенно-осадочных породах [2]. Ранее внимание уделялось в основном эклогитам [ссылки в 3]. Максимальные давления для них: 21-23 кбар, 660-690 °C [1]. По данным Grt-Орх геотермобарометрии ультрамафитов [3, первые данные по трём образцам] породы комплекса испытали УНР метаморфизм. В настоящее время нами изучено 14 образцов Grt лерцолитов и Grt-Оl вебстеритов. По 7 из них получены УНР оценки пика метаморфизма с максимальными P-T параметрами 38-39 кбар, 830-850 °C, что соответствует субдукции блока Марун-Кеу на глубину до 117 км. P-T параметры регрессивного этапа (24.5-14 кбар, 695-575 °C) совпадают с данными по эклогитам.

Выделено несколько минеральных ассоциаций отражающих многостадийные изменения при метаморфизме магматического протолита во время субдукции и эксгумации.

1. Минералы магматического этапа, сохранившие реликтовую кумулятивную структуру: кумулюсный Ol-1, интеркумулюсные Орх-1 и Срх-1, включения CrSpl-1 в них. По данным Удовкиной [2] и нашим полевым наблюдениям 2017 г. в телах Grt ультрамафитов сохраняются реликтовые участки Pl перидотитов (до первых метров).

2. Минералы прогрессивного метаморфизма: Grt-1 (low-Mg; редкие реликтовые ядра), резорбированные включения Spl-герцинита в гранате.

3. Минералы пика метаморфизма: Grt-2 (high-Mg), low-Al-Opx-2 (реликтовые ядра в порфиробластах); включение Срх-2 в Grt-2.

4. Минералы регрессивного метаморфизма: Grt-3 (low-Mg), high-Al-Opx-3 (середина и края порфиробластов, зёрна матрикса), Grt-4 (low-Mg high-Ca; домены и вдоль трещин в Grt-3), Срх-3, Ol-2, Amp-паргасит, CrSpl-2, Mgs, Dol, Cal. Они формируют основной текстурно-структурный облик пород. Последние испытали сильные регрессивные преобразования, на что указывает преобладание Grt-3, карбонаты и широкое развитие амфибола, что свидетельствует об активном участии флюида на этом этапе. Эволюция состава граната при метаморфизме описана в [4].

Реликты плагиоперидотитов в будинах Grt ультрамафитов, габброидов в эклогитах, петрохимические сопоставления, особенности состава граната [5] свидетельствуют о том, что протолиты эклогитов и Grt ультрамафитов Марун-Кеу представляли собой базит-ультрабазитовый массив, сформированный в земной коре ещё до субдукции. Впоследствии породы массива были субдуцированы в мантию, испытали УНР метаморфизм и эксгумированы к земной поверхности.

Ссылки:

1. Куренков С.А., Симонов В.А., Шацкий В.С., и др. // Труды геол. Ин-та. Вып. 561. Очерки по региональной тектонике. Т. 2.: Казахстан, Тянь-Шань, Полярный Урал. М.: Наука. 2005. С. 130-157.
2. Удовкина Н.Г. (1971): Эклогиты Полярного Урала. М.: Наука, 191 с.
3. Селятицкий А.Ю., Куликова К.В. (2017): Первые данные о проявлении УНР метаморфизма на Полярном Урале // Доклады РАН. Т. 476. № 6. С. 681–684.
4. Селятицкий А.Ю., Куликова К.В. (2017): Эволюция химического состава граната при метаморфизме перидотитов УНР комплекса Марун-Кеу, Полярный Урал // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. № 8. С. 36–43. (<http://geo.komisc.ru/images/stories/vestnik/2017/272/36-43.pdf>)
5. Селятицкий А.Ю., Куликова К.В. (2018): Состав граната как отражение корового генезиса протолитов УНР-перидотитов комплекса Марун-Кеу (Полярный Урал) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. № 2. С. 38–47. (<http://geo.komisc.ru/images/stories/vestnik/2018/278/38-47.pdf>)

ПЕРВАЯ НАХОДКА КАМАФОРИТОВ В АССОЦИИ С АЛМАЗОНОСНЫМИ КИМБЕРЛИТАМИ ТРУБКИ КАТОКА (СВ АНГОЛА)

Скляр Е.В.¹, Кошкарёв Д.А.^{1,2}, Гладкочуб Д.П.¹, Лунина О.В.¹, Гладков А.С.¹,
Жоао Ф.³, Карпенко М.А.³, Первов В.А.³

¹ ИЗК СО РАН skl@crust.irk.ru

² АК "АЛРОСА" KoshkarevDA@alrosa.ru

³ Горнорудное общество Катока francisco_joao@catoca.com

Кимберлитовое поле Катока расположено в пределах системы глубинных разломов, называемой «коридором Лукапа» шириной 50-90 км и протяженностью более 1200 км [2]. В пределах этого коридора фиксируются многочисленные кимберлитовые трубки и тела карбонатитов, причем последние присутствуют только в юго-западной части [3]. Присутствие кальцита в кимберлитах поля Катока, расположенного в северо-восточной части коридора, обычно объясняется поздней гидротермальной проработкой кимберлитов углекислыми флюидами глубинного генезиса [1].

Камафориты в пределах карьерного поля Катока представлены серией из трех даек мощностью от 0.25 до 0.6 м, приуроченных к кимберлитовмещающей дизъюнктивной зоне восток-северо-восточного простирания. Все дайки приурочены к зонам дробления и милонитизации в гнейсах, часто имеют невыдержанную мощность и извилистые, согласно сланцеватости, контакты.

Порода сложена тонкозернистым агрегатом доломита, кальцита (мало), апатита, смектита и магнезиального титаномагнетита, в котором хаотично распределены псевдоморфозы по оливину (серпентин и гидроокислы железа), реже вкрапленники пикроильменита (рис. 1). Размер вкрапленников 0,1 – 0,3 мм. Из аксессуаров встречаются бадделлит, монацит и редкий редкоземельный ванадат – уэксиллит-(Ce).

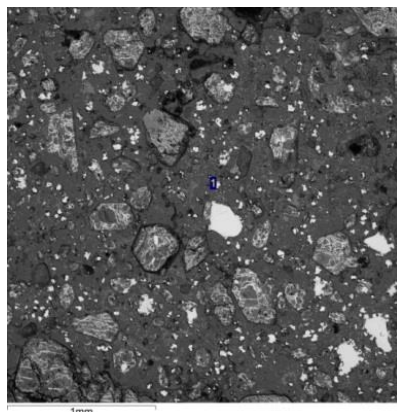


Рис.1. Камафорит: псевдоморфозы по оливину и пикроильменит в доломит-кальцит-апатит-титаномагнетитовом матриксе

Исходя из вышеизложенного можно констатировать факт, что присутствие карбонатитовых пород в структурно-тектоническом узле, вмещающем кимберлитовые трубки на северо-востоке Анголы не является отрицательным признаком промышленной алмазности, как это считалось ранее. Последнее позволяет переоценить перспективы алмазности территорий с совместным нахождением карбонатитов и кимберлитов в пределах как северо-восточной, так и юго-западной частях коридора «Лукапа».

Ссылки:

1. Егоров К.Н., Ротман А.Я., Зинчук Н.Н., Носыко С.Ф. (2005) Петрогеохимический состав кимберлитов северо-восточной части Анголы // Доклады Академии наук. Т. 403, № 4. С. 507-511
2. Первов В.А., Сомов С.В., Коршунов А.В., Дулапчий Е.В., Феликс Ж.Т. (2011) Кимберлитовая трубка Катока (республика Ангола): палеовулканологическая модель формирования // Геология рудных месторождений. Т. 53. № 4. С. 330-345
3. Woolley A.R. (2001) Alkaline rocks and carbonatites of the World. Part 3: Africa. Geol. Soc. London Publishing House. 372 P.

ГЕОДИНАМИКА АРХЕЯ: НА ПРИМЕРЕ ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО И ИНДИЙСКОГО ЩИТОВ

Слабунов А.И.

ИГ КарНЦ РАН
slabunov@krc.karelia.ru

Геодинамика ранней Земли, несмотря на огромный прогресс в области изучения докембрия в последние годы, остается предметом острых дискуссий [1]. Дело в том, что, с одной стороны, архейские комплексы и сложенные ими части литосферы имеют определенное своеобразие: а) по особенностям строения (гранит-зеленокаменные и гранулит-гнейсовый области, архейские кратоны характеризуются мощной литосферой с мантийными киями), б) по набору входящих в их состав пород (гранитоиды тоналит-трондемит-гранодиоритовой ассоциации, коматииты, санукитоиды, полосчатые железистые кварциты), в) по отсутствию ряда комплексов (например, пока не найдены архейские глаукофановые сланцы), г) петрологические исследования древнейших океанических комплексов показывают, что архейская океаническая кора была более мощной: 25-30 км, против современных 7 км.

С другой стороны, результаты палеомагнитных исследований архея уверенно указывают на движение литосферных плит в это время, причем со скоростями близкими к современным [2 и ссылки там]. Кроме того, в строении многих архейских структур, например, Карельской и Беломорской провинциях Фенноскандинавского щита [3] и Бунделкхандского кратона Индийского [4] ведущую роль играют покровные, аккреционные структуры, широкое развитие имеют индикаторные магматические и метаморфические комплексы: вулканы известково-щелочной, бонинитовой, адакитовой серий, метаморфические комплексы эклогитовой фации - для субдукционных процессов; S-граниты, метаморфические комплексы кианитовой фации глубинности, тектонические покровы - для коллизионных. Принципиально важно для палеогеодинамических реконструкций, что в рассматриваемых регионах породы, метаморфизованные в условиях эклогитовой фации, и субдукционные вулканы близки по возрасту. Установлены на Фенноскандинавском щите и архейские супрасубдукционные офиолиты [3 и ссылки там]. Базальт-коматиитовые комплексы - индикаторы плюмовых процессов - широко развиты в архейских зеленокаменных поясах, в том числе, Фенноскандинавского и Индийского щитов. Архейские структуры, сопоставимые с континентальными рифтами, также известны на этих щитах [3, 4 и ссылки там].

Таким образом, мезо-неоархейские геологические комплексы Фенноскандинавского и Индийского щитов указывают на то, что начиная с 3 млрд лет на Земле были проявлены субдукционные, коллизионные, плюмовые, континентально-рифтогенные и спрединговые (по крайней мере, в задуговых бассейнах) геодинамические процессы. Они имели значительные черты сходства с фанерозойскими, но, по-видимому, реализовывались в условиях более горячей мантии, предопределившей, в том числе, и большую мощность океанической литосферы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 17-55-45005 ИИД-а).

Ссылки:

1. Moyen J.-F., Laurent O. (2018): Archaean tectonic systems: A view from igneous rocks // *Lithos*. V. 302–303. P. 99–125.
2. Lubnina N.V. & Slabunov A.I. (2017): The Karelian Craton in the Structure of the Kenorland Supercontinent in the Neoarchean: New Paleomagnetic and Isotope Geochronology Data on Granulites of the Onega Complex // *Moscow Univ. Geology Bull.* V. 72 (6). P. 377–390
3. Slabunov A.I., Lobach-Zhuchenko S.B., Bibikova E.V. et al, (2006): The Archaean nucleus of the Fennoscandian (Baltic) Shield. In *Gee D. G. and Stephenson R. A.(Eds.)*, *European Lithosphere Dynamics: Geol. Soc., London, Memoirs*, 32. P. 627–644.
4. Singh V.K., Slabunov A. (2016): Two types of Archaean supracrustal belts in the Bundelkhand craton, India: geology, geochemistry, age and implication for craton crustal evolution // *J. of the Geol. Soc. of India*. V. 88. P. 539–548.

СОСТАВ ЛЕТУЧИХ КОМПОНЕНТОВ В ЯКУТСКИХ И УРАЛЬСКИХ АЛМАЗАХ И АССОЦИИРУЮЩЕМ ГРАНАТЕ

Соболев Н.В., Томиленко А.А., Бульбак Т.А., Логвинова А.М.

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск
sobolev@igm.nsc.ru

В статье, открывшей журнал «Геология и геофизика», представлявшей собой доклад на одном из первых годовичных общих собраний СО АН СССР, было впервые высказано предположение о возможном участии глубинных углеводородов в образовании алмазов [1].

Изучение включений в алмазах выявило два главных геохимических типа алмазообразующей среды субкратонной литосферы – ультраосновной (перидотитовый) и эклогитовый [2]. Условия природного образования алмаза: $P = 5,7$ ГПа, $T = 1150^\circ\text{C}$ воспроизведены экспериментально для карбонатного флюида [3]. Для Якутских алмазов любых размеров, от микро (< 1 мм) до крупных кристаллов ($> 10,8$ кар. до 200 кар.) как ювелирного так и технического качества [4, 5] У-тип преобладает для кимберлитов ($> 90\%$), но существенно более низок для Северных и Уральских россыпей ($< 30\%$). В поликристаллических агрегатах (ПА), известных, преимущественно, в трубках Мир и Удачная, это соотношение, приблизительно одинаково. Большинство алмазов Э-типа характеризуются широким интервалом значений $\delta^{13}\text{C}$: от -34% до 3% PDB [6].

Анализ газовой смеси, извлеченной из флюидных включений при ударном разрушении кристаллов алмаза из кимберлитов трубок Удачная и Интернациональная, россыпей Урала, а также граната из алмазоносного эклогита [7] выполнен на газовом хромато-масс-спектрометре Thermo Scientific (USA) DSQ II MS/Focus GC. Все исследованные алмазы и гранат содержат углеводороды и их производные: алифатические (парафины, олефины), циклические (нафтены, арены), кислородсодержащие, азот-хлор и серосодержащие соединения, а также CO_2 и H_2O .

В одном из типичных округлых додекаэдрических алмазов из россыпей Урала, имеющего молочно белую окраску, обнаружены мельчайшие ориентированные октаэдрические флюидные включения ($< 1 \mu\text{m}$). Его $\delta^{13}\text{C}$ $-8,5\%$ PDB. Молекулярный N_2 в твердом состоянии подтвержден КР-спектроскопией (40 % отн.). В этом алмазе, по всей вероятности, имеющем суперглубинное происхождение [8, 9] выявлены также H_2O (26%отн.), CO_2 (3%отн.) и углеводороды (31% отн.). Метан во всех изученных образцах обнаружен в ничтожном количестве, менее 0,03% отн. и полностью отсутствует в ПА.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект РНФ № 14-17-00602П).

Ссылки:

1. Соболев В.С. (1960): Условия образования месторождений алмазов // Геология и геофизика. С. 7-22
2. Shirey S.B., Cartigny P., Frost D.J., Keshav S., Nestola F., Nimis P., Pearson D.G., Sobolev N.V., Walter M.J. (2013): Diamonds and the Geology of Mantle Carbon // In: Hazen R.M. et al., eds. Carbon in Earth. Reviews in Mineralogy and Geochemistry. V. 75. P. 355-421
3. Palyanov Y.N., Sokol A.G., Borzdov Y.M., Khokhryakov A.F., Sobolev N.V. (1999): Diamond formation from mantle carbonate fluids // Nature. V. 400. № 6743. P. 417-418
4. Sobolev N.V., Logvinova A.M., Zedgenizov D.A., Seryotkin Y.V., Yefimova E.S., Floss C., Taylor L.A. (2004): Mineral inclusions in microdiamonds and macrodiamonds from kimberlites of Yakutia: a comparative study // Lithos. V. 77. №1-4. P. 225-242
5. Соболев Н.В., Ефимова Э.С., Логвинова А.М., Суходольская О.В., Солодова Ю.П. (2001): Распространенность и состав минеральных включений в крупных алмазах Якутии // Докл. РАН. Т. 376. №3. С.382-386
6. Соболев Н.В., Галимов Э.М., Ивановская И.Н., Ефимова Э.С. (1979): Изотопный состав углерода алмазов, содержащих кристаллические включения // ДАН. Т. 249. №5. С. 1217-1220
7. Томиленко А.А., Ковязин С.В., Похиленко Л.Н., Соболев Н.В. (2009): Первичные углеводородные включения в гранате алмазоносного эклогита из кимберлитовой трубки Удачная, Якутия // Докл. РАН. Т. 426. №4. С. 533-536
8. Sobolev N.V., Logvinova A.M., Fedorova E.N., Luk'yanova L.I., Wirth R., Tomilenko A.A., Bul'bak T.A., Reutsky V.N., Efimova E.S. (2015): Mineral and fluid inclusions in a diamond from the Ural placers, Russia. AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, P. V11C-3073
9. Navon O., Wirth R., Schmidt C., Jablon B. M., Schreiber A., Emmanuel S. (2017): Solid molecular nitrogen ($\delta\text{-N}_2$) inclusions in Juina diamonds: Exsolution at the base of the transition zone // EPSL. V. 464. P. 237-247

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛЕРОДА И АЗОТА МЕЖДУ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ И ФЛЮИДНОЙ ФАЗАМИ ПРИ 6.3-7.8 ГПа И 1200-1400°C: СЛЕДСТВИЕ ДЛЯ ГЛУБИННЫХ ЦИКЛОВ ЛЕТУЧИХ В МЕТАЛЛ-НАСЫЩЕННОЙ МАНТИИ

Сокол А.Г.^{1 2}, Крук А.Н.^{1 2}, Томиленко А.А.¹, Бульбак Т.А.¹, Сокол И.А.¹

¹ ИГМ СО РАН

² Геолого-Геофизический факультет НГУ,
sokola@igm.nsc.ru

В восстановленных доменах мантии при фугитивности кислорода (fO_2) вблизи буфера железо-вюстит (IW) основными концентраторами углерода и азота могут выступать самородное железо, флюид и алмаз/графит, а для азота также и калийсодержащие силикатные фазы. Нами проведены систематические исследования растворимости C и N в металлических фазах и флюиде, стабильных в условиях верхней мантии.

В Fe-Fe₃C-Fe₃N системе богатый углеродом и азотом металлический расплав имеет значительную область стабильности при 7,8 ГПа и 1350 °C, то есть P-T параметрах моделирующих условия осаждения металлической фазы в астеносфере. Нитрид железа ϵ -Fe₃N может содержать до 2.0-2.5 мас.% C и до 6.0-7.3 мас.% N в равновесии с расплавом и лишь 1.0 мас.% C и 3.2 мас.% N в равновесии с γ -Fe. Растворимость азота в цементите (Fe₃C) не превышает 0.5 мас.%. Таким образом, при растворении всего углерода и азота из истощенной летучими мантии в осаждающемся металле будут стабильны металлический расплав и аустенит (γ -Fe), а при экстракции C и N из обогащенной летучими мантии - металлический расплав и карбид железа (Fe₃C).

В бедном азотом C-O-H-N флюиде при fH_2 вблизи IW буфера преобладают C₁-C₄ алканы, все остальные компоненты находятся в следовых концентрациях. Метанимин (CH₃N) в таком флюиде является основным концентратором азота. При тех же условиях в богатом азотом флюиде доминирует аммиак (NH₃), присутствует молекулярный азот и легкие алканы. Таким образом, поведение CH₃N компонента в восстановленном флюиде может контролировать азотный цикл в бедной азотом перидотитовой мантии, а NH₃ в относительно обогащенной азотом эклогитовой мантии. Рост fO_2 до значений «водного максимума» приводит к окислению легких алканов до воды, а азотсодержащих компонентов до молекулярного азота. При подъеме богатого углеводородами флюида из восстановленной астеносферы в относительно окисленную литосферу концентрация углерода во флюиде должна снижаться с 15 до 5 мол.%. Выделение при окислении углеводородов элементарного углерода должно обеспечивать необходимые условия для кристаллизации алмаза.

В ненасыщенной C- и N системе Fe-C-O-H-N при 6.3 ГПа, 1300°C и fH_2 контролируемой IW или MMO буферами в равновесии с флюидом, состоящим из NH₃, H₂O, алканов и кислородсодержащих УВ (в основном спиртов и эфиров), стабильны γ -Fe и металлический расплав. В углерод насыщенных условиях при 6,3 ГПа и 1200-1300°C между карбидом железа и богатым азотом флюидом идет реакция: $Fe_3C + N_{Fl} = Fe_3N + C_{Gr,Dm}$, в которой образуется нитрид железа, а при 1400°C появляется богатый азотом расплав. Состав равновесного флюида варьирует от богатого NH₃ до богатого H₂O (во всех случаях NH₃/N₂>1) с существенной примесью алканов. В бедных азотом, но углерод-насыщенных образцах при 7,8 ГПа, 1400°C и небуферированной fH_2 в равновесии с флюидом, состоящем из алканов, кислородсодержащих УВ (в основном карбоновых кислот) и N₂, стабилен обогащенный азотом металлический расплав. Полученные данные позволяют сделать вывод, что при P-T параметрах верхней мантии в равновесии с металлической фазой стабилен относительно богатый C и N флюид. Оценки показывают, что $D_C^{Me/Fl} < D_N^{Me/Fl}$ и, таким образом, сродство азота к металлической фазе выше, чем углерода. В этом случае, восстановленный флюид может быть эффективным транспортером летучих из металл-насыщенной мантии в окисленную литосферу. Однако более высокое сродство будет обеспечивать избирательное накопление азота в металлической фазе, и повышенную подвижность углерода в составе флюидной фазы. Выявленные закономерности должны существенным образом определять глубинные циклы углерода и азота в металл-насыщенной мантии.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-17-10041).

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ (ИЗОТОПИЯ КИСЛОРОДА МИНЕРАЛОВ И УГЛЕРОДА АЛМАЗОВ) СВИДЕТЕЛЬСТВА УЧАСТИЯ СУБДУЦИРОВАННЫХ ПОРОД КОРЫ В СОСТАВЕ СКЛМ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Спеццус З.В.¹, Тэйлор Л.А.², Вэли Д.В.³

¹НИГП АК «АЛРОСА», Мирный, Россия, spetsiuszv@alrosa.ru

²Dept. of Earth and Planetary Sciences, University of Tennessee, Knoxville, USA,

³ Dept of Geoscience, University of Wisconsin, Madison, USA, valley@geology.wisc.edu

Изотопный состав углерода алмазов из кимберлитов показывает, что многие алмазы имеют значения $\delta^{13}\text{C}$ отличные от типично мантийных меток [1-3 и ссылки внутри]. Разумное объяснение для фиксируемых высоких и очень низких значений изотопного состава углерода алмазов указывает на необходимость вовлечения в качестве одного из возможных – корового источника. Многочисленные данные по изотопному составу кислорода минералов эклогитов также свидетельствуют, что эти образования, в первую очередь кианитовые, коэситовые эклогиты и другие разновидности высокоглиноземистых эклогитов (группа С), а также алькремиты и, вероятно, некоторые пироксениты являются производными коровых пород [4]. В тоже время существует дискуссионная альтернативная точка зрения об образовании пироксенитов и мантийных эклогитов в результате аккумуляции остаточных магматических расплавов.

Для установления состава субконтинентальной литосферной мантии (СКЛМ) и выявления материнской среды образования алмазов в разных кимберлитовых полях Якутской провинции нами использованы оригинальные данные по изотопному составу кислорода гранатов из 250 алмазосодержащих ксенолитов из трубок Нюрбинская, Удачная, Комсомольская и других, а также литературные данные по единичным ксенолитам из других трубок. Данные по изотопии граната и клинопироксена из алмазонасных эклогитов выполнены в стандартизированной лаборатории по единой методике, которая детально обсуждена в [4]. Для исследований изотопного состава кислорода отбирались визуально чистые незональные гранаты и клинопироксены.

Изотопный состав $\delta^{18}\text{O}$ клинопироксена из эклогитов варьирует в пределах от 2.8 до 6.7 ‰ и расположен преимущественно внутри ряда установленного для эклогитовых ксенолитов из Сибирской платформы (2.8-8.0 ‰ [3]). Большинство изотопных составов кислорода гранатов также расположено внутри ряда средних мантийных значений (5.5 ± 0.4 ‰), однако ряд образцов, в первую очередь из эклогитов трубки Нюрбинская, выходит за пределы мантийных значений [4].

Исследования изотопии углерода алмазов выполнены в плоскопараллельных пластинках толщиной 0,3–0,9 мм. Для уточнения внутреннего строения кристаллов и выбора профилей изотопного анализа использовалась катодолюминесцентная топография. Из проанализированных 18 образцов алмазных пластин из ксенолитов трубки Нюрбинская более половины показали значения $\delta^{13}\text{C}$ отличные от мантийных меток [5].

Обобщение результатов позволяет достаточно уверенно констатировать широкое участие субдуцированных пород в составе СКЛМ различных полей Якутской провинции и особенно ярко проявленный вклад субдуцированных коровых пород в СКЛМ окраинных полей (Накынское), которые не только составляют существенную часть мантийного субстрата, но и определяют высокую алмазонасность материнских пород данного сегмента СКЛМ Сибирской платформы.

Ссылки:

1. Cartigny P. (2005): Stable isotopes and the origin of diamond. *Elements*. V. 1 (2). P. 79–84.
2. Jacob D., Jagoutz E., Lowry, D., et al. (1994): Diamondiferous eclogites from Siberia: remnants of Archean oceanic crust. *Geochim. Cosmochim. Acta*. V. 58 (23). P. 5191–5207.
3. Spetsius Z. V., Wiggers de Vries D. F. and Davies G. R. (2009): Combined C isotope and geochemical evidence for a recycled origin for diamondiferous eclogite xenoliths from kimberlites of Yakutia. *Lithos*. V. 112S. P. 1032–1042.
4. Spetsius Z.V., Taylor L.A., Valley J.W et al. (2008): Diamondiferous xenoliths from crustal subduction: garnet oxygen isotopes from the Nyurbinskaya pipe, Yakutia. *Eur. Jour. Mineral.* V. 20. P. 375–385.
5. Spetsius, Z.V., Cliff J., Griffin W.L., O'Reilly S.Y. (2016): Carbon isotopes of eclogite-hosted diamonds from the Nyurbinskaya kimberlite pipe, Yakutia: The metasomatic origin of diamonds. *Chem. Geol.* V. 455. P.131–147

НОВЫЙ КРИТЕРИЙ ПРОГНОЗА АЛМАЗОНОСНОСТИ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК ПО СОСТАВУ ПИРОПОВ

Старкова Т.С.¹, Иванов А.С.¹

¹ НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО)
starkovats@alrosa.ru

¹ НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО)
ivanovas@alrosa.ru

На основании изучения состава 583 зерен пиропов из различных кимберлитовых трубок Якутии, была определена зависимость между содержаниями оксидов никеля и алюминия в пиропе и алмазонасностью трубок. В пиропе установлена обратная корреляция между содержаниями оксидов никеля и алюминия: с возрастанием содержания примеси оксида никеля уменьшается содержание глинозема. Известно [1], что температурам, благоприятным для образования алмазов, соответствует содержание оксида никеля 27-83 ppm, данные содержания характерны для пиропов со средним содержанием глинозема на уровне 19,5 мас.% Al_2O_3 . И чем выше содержание пиропов такого состава в трубке, тем выше алмазонасность (рис.1): в интересующую нас область (точки красного цвета) попали составы пиропов из высокоалмазонасных тел Накынского поля.

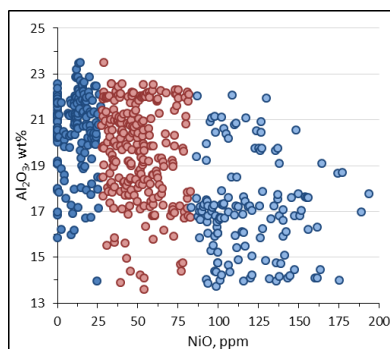


Рис.1 – Диаграмма соотношений оксидов никеля и алюминия в пиропе (красные точки – пиропы из высокоалмазонасных тел)

Апробация данного критерия на примере трубки Луеле (Ангола) показала, что наиболее высокие содержания пиропов такого состава (NiO 27-83 ppm, Al_2O_3 16-23 мас.%) характерны для более высокоалмазонасных блоков (рис. 2). Таким образом, использование данного критерия наиболее приемлемо при прогнозной оценке алмазонасности различных блоков в пределах одной трубки.

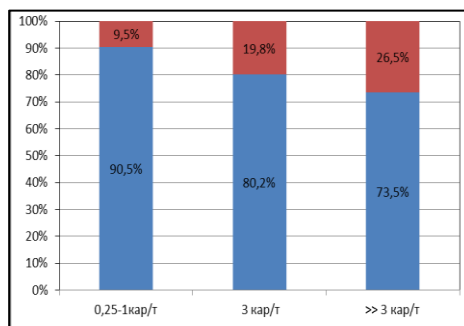


Рис.2 – Содержание пиропов (выделены красным цветом) с содержанием NiO 27-83 ppm в блоках различной алмазонасности трубки Луеле (Ангола)

Ссылки:

1. Griffin W.L., Ryan C.G. Trace elements in indicator minerals: Area selection and target evaluation in diamond exploration. J. Geochem. Explor., 1995. Vol. 53., pp, 311

ГЛУБИННЫЕ ФАЦИИ ПЛАВЛЕНИЯ В ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ЗЕМЛИ

Сурков Н.В.

Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева СО РАН
diagrams@igm.nsc.ru

Верхняя мантия Земли имеет ультраосновной состав, в связи с этим роль эволюции ультраосновного расплава имеет особое значение для построения модели глубинного магматизма. В качестве модели этого явления выбрана система $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, анализ топологии фазовой диаграммы которой показывает, что глубинный ультраосновной состав, сформировавшийся как отражение фундаментальной эвтектики $L=\text{Fo}+\text{Crx}+\text{Orx}+\text{Ga}$ при давлениях ниже 2,6 ГПа до давления 1,5- 1,6 ГПа меняет характер плавления на перитектический, с отделением магнезиальных фаз таких как оливин, ортопироксен и шпинель. Его состав приближается к плагиоклазномативным составам и при давлениях ниже 1,5 ГПа состав остаточного расплава попадает в область характеризующих составы "щелочноземельного тренда" [1, 2]. Плавление приобретает эвтектический характер, и эволюция состава расплава при дальнейшем понижении давления происходит согласно тренду щелочноземельной серии, где особое значение имеет кристаллизационная дифференциация плагиоклазов.

По отношению к модельной системе $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, природные расплавы всегда содержат щелочной, натровый компонент, а в горных породах плагиоклазы всегда представлены непрерывным рядом твёрдых растворов анортит-альбит. Поэтому на состав остаточного расплава влияет процесс кристаллизационной дифференциации плагиоклаза. В этом процессе при осаждении кристаллитов плагиоклаза происходит удаление кальциевого компонента из расплава, а состав остаточного расплава смещается в сторону кремнезёмистых, натровых составов близких по своему составу к гранитам. Следует особо отметить, что процесс кристаллизационной дифференциации обеспечит получение остаточного расплава характерного для гранитов только в неравновесных условиях – принудительном удалении кристаллитов плагиоклаза из области кристаллизации эвтектического расплава. В замкнутой системе при достижении термодинамического равновесия равномерном распределении компонентов результатом окончательной кристаллизации будут породы основного состава - типа габбро.

Таким образом, при эволюции ультраосновного магматического расплава выделяются четыре фации плавления - три эвтектического типа и одну перитектического. Каждая из этих фаций занимает область давления приблизительно в 1,0 ГПа. При давлениях ниже 1,5 ГПа в двух фациях с эвтектическим типом плавления процесс эволюции состава магматического расплава, осложняется кристаллизационной дифференциацией твёрдых растворов плагиоклазов, что позволяет эволюционировать составу остаточного расплава в область кварцномативных составов, подобных гранитным магмам.

Работа выполнена в рамках проекта НИР (0330-2016-0016).

Ссылки:

1. Сурков Н. В., Гартвич Ю.Г. (2012): Моделирование глубинных высокоглинозёмистых парагенезисов на основе полей устойчивости корунд-, шпинельномативных ассоциаций системы $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 1. С. 67-81
2. Сурков Н. В., Гартвич Ю.Г. (2012): Физико-химическая модель для кристаллизации пород щелочноземельной серии // Геохимия. 2012а. № 10. С. 891-908

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НОВЫХ АЛМАЗОНОСНЫХ РАЙОНОВ

Толстов А.В., Горев Н.И., Проценко Е.В., Мальцев М.В.

АК АЛРОСА (ПАО)
tolstovav@alrosa.ru

После открытия месторождений алмазов в Якутии выполнены колоссальные объемы геологоразведочных работ (ГРР), которые обеспечили создание мощной сырьевой базы на десятилетия. К настоящему времени все открытые площади в пределах Далдыно-Оленекской и Вилуйско-Мархинской минерагенических зон (ДОМЗ и ВММЗ), вмещающих месторождения алмазов Мир, Удачная, Айхал изучены удовлетворительно. Поэтому выявление на открытой части Якутии новых алмазоносных районов маловероятно. Наличие под толщей мезо-кайнозойских отложений прямых признаков кимберлитов указывает, что алмазоносный потенциал территории не исчерпан, что и подтвердилось открытием в 2015 году в пределах ВМЗ нового Ыгыаттинского алмазоносного района [1]. Это открытие выдвигает на первый план перекрытые площади ВМЗ, представляющие интерес для ГРР АК «АЛРОСА» (ПАО), но прогнозирование новых погребенных месторождений связано с рядом принципиальных проблем научно-методического характера.

Научный выбор площадей для постановки ГРР составляет первую проблему и предусматривает разработку надежных прогнозных предпосылок и поисковых признаков, на которых могут быть разработаны достоверные критерии прогнозирования. Эта работа требует изучения закономерностей локализации кимберлитов в алмазоносных районах, приуроченности их к кимберлитоконтролирующим структурам в совокупности с минералогическими признаками, на базе которых возможна разработка надежных критериев их прогнозирования. В связи с истощением сырьевой базы в Якутии, прогнозирование новых перспективных районов весьма актуально. По нашему мнению, такая работа должна идти по двум направлениям: прогнозирование на принципиально новых территориях, а также в пределах известных районов. Методика поисков основана на опробовании базальных горизонтов перекрывающих отложений с локализацией ореолов индикаторных минералов кимберлитов (ИМК). Незначительное их количество в перекрывающих неинформативных отложениях требует наработки большого объема кернового материала, что весьма затратно и диктует необходимость внедрения новых технологий ГРР с повышением интеллектуальной составляющей геологического персонала ГРК АЛРОСА.

Необходимость совершенствования методики ГРР при прогнозировании алмазоносных районов на новых территориях, расположенных в сложных геологических обстановках, составляет основную проблему, суть решения которой – в кардинальном повышении их наукоемкости. Инновационные разработки должны внедряться как на региональной стадии, начиная с дистанционного изучения новых территорий (использование космоснимков высокого разрешения, и высокоточной геофизики), так и на втором этапе, в пределах перспективных площадей в ранге алмазоносных районов. При этом следует предусмотреть внедрение новых геохимических методов (газовая хроматография) и IT-технологий обработки материалов. Следующий этап – выделение объектов ранга «кимберлитовое поле» с заверкой комплексных аномалий, совершенствованием аналитических методов, включая внедрение интрагеоскопии межскважинного пространства.

Перспективы для постановки ГРР региональной стадии с выделением новых алмазоносных районов авторы связывают с Чаро-Синской зоной глубинных разломов (север Алданской антеклизы), а в ранге алмазоносных районов, рекомендуемых для поисков, выделяются Мурбайская и Юлегинская площади (южный и северо-восточный фланги ВМЗ), где в ближайшие годы предлагается сосредоточить ГРР с гарантированным положительным результатом [2].

Ссылки:

1. Мальцев М.В., Толстов А.В. Критерии и проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов в новых районах // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: Материалы VIII ВНК, 18-20 апреля 2018 г., Якутск, Издательство Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2018, - Т.1, с. 210-213.
2. Толстов А.В., Горев Н.И., Проценко Е.В. Новые перспективы коренной алмазоносности Чаро-Синской зоны глубинных разломов (Южная Якутия) // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. VIII Международная научно-практическая конференция. М. ФГУП ЦНИГРИ, 2018, с. 21.

СОСТАВ ЛЕТУЧИХ КОМПОНЕНТОВ В ИМПАКТНЫХ АЛМАЗАХ ИЗ ПОПИГАЙСКОЙ АСТРОБЛЕМЫ, РОССИЯ

Томиленко А.А., Бульбак Т.А., Афанасьев В.П., Похиленко Н.П.

ИГМ СО РАН, e-mail: tomilen@igm.nsc.ru

Материалом для исследования послужили импактные алмазы из тагамитов месторождения Скальное на юго-западном фланге Попигайской астроблемы [1]. Импактные алмазы представлены тесным сростанием трех фаз: кубической (собственно алмаз), гексагональной (лонсдейлит) и остаточного графита [2]. В зависимости от соотношения фаз алмазы различаются по цвету: «светлые» – преимущественно кубическая фаза, «серые» – смесь трех фаз с преобладанием кубической, «темные» – значительное количество графита. Состав летучих компонентов в импактных алмазах для всех цветовых групп был изучен методом газовой хромато-масс-спектрометрии [3– 5].

Результаты газового хромато-масс-спектрометрического анализа показали, что летучие компоненты, захваченные импактными алмазами, состоят, в основном, из различных углеводородов и их производных - 76.7 % для «светлых», 60.9 % для «серых» и 71.7 % для «темных». Количество алифатических углеводородов в «светлых», «серых» и «темных» алмазах составляет 41.4, 16.4 и 19.5 %, соответственно. Причем из «легких» предельных углеводородов во всех алмазах обнаружен только бутан - от 0.04 до 0.13 %. При этом количество «средних» и «тяжелых» предельных углеводородов в рассматриваемых алмазах составляет от 4.2 до 33.3 % (C_5-C_{12} – 6.2, 4.2 и 5.2 % и $C_{13}-C_{17}$ – 33.3, 8.6 и 10.9 %, соответственно). Установлены также циклические и гетероциклические углеводороды: арены и фураны (5.6, 5.0 и 9.1 % и 1.9, 1.4 и 4.4 %, соответственно). Существенный объем летучих компонентов, захваченных «светлыми», «серыми» и «темными» алмазами, приходится на кислородсодержащие углеводороды - спирты, альдегиды, кетоны и карбоновые кислоты (27.8, 38.2 и 38.7 %, соответственно) и серосодержащие соединения - 4.6, 15.3 и 11.1 %, соответственно. Установлены также азот (от 0.6 до 1.6 %) и азотсодержащие соединения (от 0.5 до 1.5 %). Причем наибольшее количество азота и азотсодержащих соединений характерно для «светлых» алмазов – 3.1 %. Содержание H_2O для «светлых», «серых» и «темных» алмазов составляет 9.1, 11.1 и 5.3 %, а CO_2 – 6.5, 11.5 и 10.4 %, соответственно.

Таким образом, исходя из полученных данных, можно отметить, что кристаллизация импактных алмазов происходила при активном участии флюидной фазы, в составе которой существенную роль играли различные углеводороды и их производные. Основным источником флюидов, скорее всего, были породы мишени, испытавшие шоковый метаморфизм при высоких температурах и давлениях.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект № 17-17-01154) и Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 18-05-00761).

Ссылки:

1. Вишневский С.А. Попигайская астроблема. 2016. Новосибирск. Академическое издательство ГЕО. 71 с.
2. Ohfuji H., Irifune T., Litasov K.D., et al. Natural occurrence of pure nano-polycrystalline diamond from impact crater // Scientific Reports. 2015. [5:14702].
3. Tomilenko, A.A., Chepurov, A.I., Sonin, V.M., et al. The synthesis of methane and heavier hydrocarbons in the system graphite-iron-serpentine at 2 and 4 GPa and 1200°C // High Temperatures – High Pressures. 2015. 44 (6). P. 467-473.
4. Tomilenko, A.A., Bul'bak, T.A., Khomenko, M.O, et al. The composition of volatile components in olivines from Yakutian kimberlites of various ages: Evidence from gas chromatography-mass spectrometry // Doklady Earth Sciences. 2016. 468. 2. P. 626-631.
5. Sokol A.G., Tomilenko A.A., Bul'bak T.A, et al. Carbon and Nitrogen Speciation in N-poor C-O-H-N Fluids at 6.3 GPa and 1100–1400 °C // Scientific Reports 2017. | 7: 706 | DOI:10.1038/s41598-017-00679-7

СОСТАВ ЛЕТУЧИХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ CVD АЛМАЗОВ

Томиленко А.А., Сонин В.М., Бульбак Т.А., Чепуров А.А.

ИГМ СО РАН, e-mail: tomilen@igm.nsc.ru

За последние тридцать лет интенсивное развитие получили методы CVD (chemical vapour deposition) выращивания алмазов при термической диссоциации молекулярного водорода и газообразного источника углерода (обычно метана) в плазме при температуре выше 2000 °C [1-5]. «Стандартная модель» роста CVD алмазов основана на диагностике в плазме молекул CH_4 , C_2H_2 , C_2H_6 и радикалов CH_3 [4, 5]. При этом предполагается, что реальный состав газовой смеси может быть более сложным [1, 2, 4, 5]. В докладе представлены результаты определения состава газовой фазы, захваченной CVD алмазами при росте, методом газовой хромато-масс-спектрометрии (GC-MS) [6]. Исследование выполнено с образцами поликристаллических и монокристаллических CVD алмазов PC L 0100-0100-0500PL, произведенными Elements Six a De Beers Group Company.

Результаты GC-MS показали, что летучие компоненты, захваченные поликристаллическими и монокристаллическими CVD алмазами при росте, состоят, в основном, из углеводородов и их производных - 72.2 и 82.1 %, соответственно. Из неорганических газов присутствует H_2O 22.6 и 0.9 % и CO_2 - 0.4 и 9.3 %, соответственно. Количество алифатических углеводородов в поликристаллических и монокристаллических CVD алмазах составляет 19.7 и 12.6 %, соответственно. Причем в газовой фазе обоих алмазов отсутствуют «легкие» предельные углеводороды - метан, этан, пропан и бутан. Обнаружены только «средние» и «тяжелые» предельные углеводороды ($\text{C}_5\text{-C}_{12}$ - 3.8 и 3.9 % и $\text{C}_{13}\text{-C}_{17}$ - 9.5 и 1.9 %, соответственно). Установлены также циклические углеводороды: нафтенy и арены (4.0 и 5.4 %, соответственно). Существенный объем летучих компонентов, захваченных поликристаллическими и монокристаллическими CVD алмазами, приходится на кислородсодержащие углеводороды - спирты, альдегиды, кетоны и карбоновые кислоты (47.7 и 63.7 %, соответственно). Установлены также азот (0.1 %) и азотсодержащие соединения (4.2 и 6.0 %, соответственно). Причем молекулярный азот был обнаружен только в поликристаллических алмазах.

Таким образом, исходя из полученных данных, реальная газовая среда, из которой росли исследованные CVD алмазы, оказалась более сложной, чем учитывает «стандартная модель». Азот в газовой смеси присутствовал в основном в связанной форме в сложных углеводородных соединениях, что, вероятно, и определило тип CVD алмазов как II.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 18-05-00761) и Российского Научного Фонда (проект № 17-17-01154).

Ссылки:

1. Spear, K.L., Frenklach, M. High temperature chemistry of CVD (chemical vapor deposition) diamond growth // Pure Appl. Chem. 1994. 66. (9). P. 1773-1782.
2. Tyagi, P.K., Misra, A., Unni, K.N.N., et al. Step growth in single crystal diamond grown by microwave plasma chemical vapor deposition // Diam. Relat. Mater. 2006. 15. P. 304-308.
3. Tallaire, A., Collins, A.T., Charles, D., et al. Characterisation of high-quality thick single-crystal diamond grown by CVD with a low nitrogen addition // Diam. Relat. Mater. 2006. 15. P. 1700-1707.
4. Butler, J.E., Mankelevich, Y.A., Cheesman, A., et al. Understanding the chemical vapor deposits of diamond: recent progress // J. Phys.: Condens. Matter. 2009. 21. P. 364201.
5. Tallaire, A., Achard, J., Silva, F., et al. Growth of large size diamond single crystals by plasma assisted chemical vapour deposition: Recent achievements and remaining challenges // C. R. Physique. 2013. 14. P. 169-184.
6. Tomilenko, A.A., Chepurov, A.I., Sonin, V.M., et al. The synthesis of methane and heavier hydrocarbons in the system graphite-iron-serpentine at 2 and 4 GPa and 1200°C // High Temperatures – High Pressures. 2015. 44 (6). P. 467-473.

ПОВЕРХНОСТНЫЕ И ВНУТРЕННИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ФАЗЫ В АЛМАЗАХ V-VII РАЗНОВИДНОСТИ (МЕСТОРОЖДЕНИЕ ХОЛОМОЛОХ)

Угапьева С.С.¹, Олейников О.Б.²

¹ ИГАБМ СО РАН
sargylana-ugapeva@yandex.ru

² ИГАБМ СО РАН,
olei-oleg@yandex.ru

Представлены результаты изучения минеральных фаз в алмазах V-VII разновидности методами электронной микроскопии, микрозондового анализа и спектроскопии комбинационного рассеяния (рамановская спектроскопия). Изучение минеральных фаз на поверхности алмаза, в полостях скола, во внутренних трещинах и пустотах растворения, а также включенных в алмаз необходимо для определения эндогенной постгенетической истории таких кристаллов [1]. Алмазы V-VII разновидности характеризуются блочным строением, ввиду чего плохо поддаются распиловке и шлифовке. На поверхности алмаза обнаружены силикатные фазы, не диагностированные как минералы, в виде тонких пластинок и наростов. Зерна полевого шпата часто заполняют ямки растворения. Во внутренних полостях и трещинах расположенных на границах блоков, вскрытых при расколе кристаллов, обнаружены зерна пикроильменита, сульфата кальция, кальцита и циркона. Зерна пикроильменита имеют пластинчатое строение с неровными краями, плотно прилегают к стенке трещин. Размер крупных выделений не превышает 50 мкм. Полости трещин нередко заполнены сульфатом кальция с зернистой структурой. Циркон призматической формы размером 20×50 мкм обнаружен во внутренней трещине. Поверхность зерна неровная, примеси не установлены. Методом КР спектроскопии в периферии алмаза in-situ идентифицированы сульфидные включения (халькопирит) (рис.1). Сульфиды представлены в разной степени искаженными кристаллами октаэдрической формы. Размеры индивидов не превышают 30 мкм.

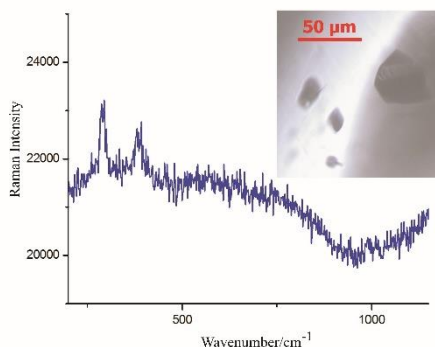


Рис.1 – КР спектр сульфидных включений.

Детальное изучение обнаруженных силикатных фаз на поверхности кристалла, первичных минералов (пикроильменит, циркон) во внутренних полостях, а также сульфидных включений поможет в установлении генетической природы транспортера алмазов V-VII разновидности.

Работа подготовлена по проекту «Стратегически важные виды минерально-сырьевых ресурсов и особенности геологического строения инвестиционно-привлекательных территорий республики Саха (Якутия): металлогения, тектоника, магматизм, геоэкология, совершенствование поисковых и прогнозных технологий» Программы комплексных научных исследований в Республике Саха (Якутия), направленных на развитие ее производительных сил и социальной сферы на 2016-2020 годы».

Ссылки:

1. Олейников О.Б., Павлушин А.Д., Попов А.В. Постгенетические минералы и микростекла кристалла алмаза V разновидности из россыпного месторождения Холомолых и их генезис // Отечественная геология. 2007. №5. С. 77–83

ЧЕТЫРЕ ЭПИЗОДА ТЕРМАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ЭКЛОГИТОВ МАКСЮТОВСКОГО КОМПЛЕКСА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Федькин В.В.

ИЭМ РАН vfedkin@iem.ac.ru

На основе детального микрозондового изучения состава и зональности сосуществующих минералов (граната и пироксена) определен характер метаморфической эволюции Максютовского эклогит-глаукофансланцевого комплекса на южном Урале, выявлена периодичность его формирования и конкретные термодинамические параметры минералообразования на каждом этапе метаморфизма. Максютовский эклогит-глаукофансланцевый комплекс хорошо известен как субдукционный комплекс высокого (НР) – сверхвысокого (УНР) давления средне - позднепалеозойского возраста. Характерные фазы сверхвысокого (УНР) давления (псевдоморфозы коэсита по кварцу, графитовые кубоиды по алмазу, включения микроалмаза) описаны ранее в литературе [1-5]. Новые аналитические данные по составу граната и клинопироксена подтверждают высокобарный характер происхождения эклогитовых пород, которые присутствуют в нижней части комплекса в виде многочисленных линз, будин и прослоев среди глаукофановых и полевошпат-слюдистых сланцев.

Термобарометрические расчеты параметров метаморфизма эклогитовых ассоциаций выполнены на основе микрозондового изучения состава и зональности сосуществующих фаз в парагенезисе $Grt+Cpx \pm Pl + Qz$ с использованием $Grt-Cpx$ геотермометра Пауэлла [6] и усовершенствованного $Pl-Cpx-Qz$ геобарометра Перчука [7]. Гранат в эклогитах Максютовского комплекса практически всегда зонален, обладает прямой, обратной и инверсионной зональностью, в то время как состав клинопироксена меняется незначительно ($X_{Jd} \sim 22-40$ мол. %). Плаггиоклаз по составу близок к альбиту и, скорее всего, является более поздним минералом. Вследствие этого, составы сосуществующих фаз в Pl -содержащих эклогитах отражают параметры заключительных, относительно низкотемпературных стадий эволюции комплекса. Тренды изменения температуры и давления при кристаллизации зональных зерен граната (от центра к краю) в равновесии с клинопироксеном исследовались в образцах разной степени выветривания, из центральных и краевых частей крупных будин, из эклогитовых прослоев в $Grt-Cpx-Gln-Mu-Qz$ матриксе, в крупных порфиробластических зернах граната и в мелких новообразованных кристаллах из основной массы породы. Зерна граната с прямой и обратной зональностью, часто присутствующие в одном образце, фиксируют сопряженные прогрессивные и регрессивные $P-T$ тренды, отдельных этапов развития комплекса. На основе полученных данных выделяются, по крайней мере, четыре эпизода метаморфических преобразований Максютовского комплекса. Возрастные данные отдельных этапов [3, 4, 8] в совокупности с параметрами метаморфизма образуют единый $P-T-t$ тренд развития комплекса, который определяет положение градиента метаморфического поля во время его эксгумации.

Таблица 1 Параметры метаморфической эволюции эклогитов Максютовского комплекса

№ п/п	Проградная ветвь	Ретроградная стадия	Возраст, Ма
1.	$T=800-900\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=3,5\text{ ГПа}$	$T=910 \rightarrow 730\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=3,5\text{ ГПа}$	$533 \pm 4,6$
2.	$T=500-790\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=2,5-3,0\text{ ГПа}$	$T=740 \rightarrow 610\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=2,5 \rightarrow 1,4\text{ ГПа}$	392-485
3.	$T=460-680\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=1,1-1,5\text{ ГПа}$	$T=690 \rightarrow 430\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=1,3 \rightarrow 1,0\text{ ГПа}$	360-465
4.	$T=310-515\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=0,9-1,2\text{ ГПа}$	$T=545 \rightarrow 310\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=1,0 \rightarrow 0,6\text{ ГПа}$	320-335

Ссылки:

1. Чесноков Б.В., Попов В.А. (1965) // Доклады АН СССР т.162, № 4, с.909-910.
2. Добрецов Н.Л., Добрецова Л.В., (1988) // Доклады АН СССР т.300, № 1, с.195-200.
3. Leech M. L. and Ernst W. G. (1998) // Geochim. Cosmochim. Acta 62, 2143–2154.
4. Leech, M. L., and Ernst, W. G. (2000) // Lithos, v. 52, p. 235-252.
5. Bostick, B., et al. (2003) // American Mineralogist v. 88, p. 1709-1717.
6. Powell, R., (1985) // J. Metamorph. Geol. 3, 231–243.
7. Перчук А.Л. (1992) // Докл. АН СССР. 324: 1286-1289.
8. Вализер П.М., Краснобаев А.А., Русин А.И. (2013) // Литосфера, т.4, с. 50-61.

АЗОТ И ВОДОРОД В КРИСТАЛЛАХ АЛМАЗА И ПРОБЛЕМЫ ЕГО ГЕНЕЗИСА

Хачатрян Г.К.

ФГБУ ЦНИГРИ, Москва

Вопросы, связанные с природой источника углерода алмаза и с глубинной морфологией алмазоносной среды в фундаменте платформ до настоящего времени остаются дискуссионными.

Сингенетичные примеси в кристаллах алмаза несут важную информацию об условиях его роста в мантии Земли. Азот и водород – главные и наиболее распространенные примеси в природных кристаллах алмаза. Большой вклад в изучение этих примесей внес Е.В.Соболев, который показал, что они входят в структуру алмазов кимберлитов, причем азот – изоморфно с образованием многочисленных оптически активных центров, а водород – химически связан с углеродом алмазной решетки. С применением ИК-спектроскопии автором изучены закономерности распределения примесей азота и водорода в природных алмазах (более 5,5 тыс. образцов из 96 месторождений), а также в объеме отдельных кристаллов (94 образца).

Азотные и водородные центры в природных кристаллах алмаза всегда сосуществуют, несмотря на разную природу химических связей, а их концентрации обнаруживают положительную корреляцию. Это указывает на общность источников азота и водорода, а в сумме с данными по распределению изотопов углерода и фазовых примесей органического вещества в кристаллах – на участие первично биогенных компонентов в образовании алмаза из кимберлитов и лампроитов. Поэтому не случайно, что в алмазе ярко проявляется устойчивая ассоциация углерода, азота и водорода, характерная для органических соединений. Таким образом, естественно заключение, что, по меньшей мере, часть природных алмазов образовалась за счет экзогенных органических веществ, погруженных на большие глубины, что согласуется с высказанными ранее идеями и представлениями У.Шарпа, В.С.Соболева и Н.В.Соболева, О.Г.Сорохтина с соавторами, Ф.В.Каминского и ряда других исследователей.

Для сопоставления коллекций алмаза из разных месторождений по общему содержанию азота в кристаллах (N_{tot} от 0 до 2000 at.ppm) и доле его агрегированной В-формы ($\%N_B$ от 0 до 100) автором выделены представительные группы кристаллов – популяции, главные – доминирующие среди индивидов в каждой трубке или россыпи (>50%) и второстепенные. В соответствии с моделью В.Р.Тэйлора с соавторами (1990), указанные параметры характеризуют температуру образования алмаза при фиксированном времени его нахождения в мантии. По распределению азота в кристаллах с учетом наличия в них включений ультраосновной и эклогитовой ассоциаций, а также высокобарических минералов (мейджорита, феррипериклаза и др.), все популяции разделяются по условиям образования на шесть типов.

В ряду популяций имеет место тенденция уменьшения содержания азота и увеличения степени его агрегации (от парной к четырехатомной конфигурации атомов) в кристаллической решетке алмаза, что соответствует увеличению температуры алмазообразования. При этом самые низкоазотные («безазотные») алмазы ($N_{tot} \leq 20$ at.ppm) наиболее высокотемпературных популяций одновременно являются и самыми глубинными, так как именно они содержат включения высокобарических минералов. Из этого следует, что главная причина нарастания температур алмазообразования связана с глубиной. Выявленная тенденция характеризует вертикальную зональность популяций. В дополнение установлено, что на Сибирской платформе размещение главных популяций алмаза имеет двухстороннюю (с элементами концентричности) латеральную зональность, а именно: наиболее высокотемпературные и глубинные популяции расположены в центре, а наименее – соответственно по периферии. Сочетание вертикальной и латеральной зональности главных популяций дает общее представление о трехмерной морфологии основной геолого-структурной зоны, в которой происходил рост кристаллов алмаза. Эта структура должна учитываться при минерагеническом районировании фундамента платформ.

СМЕШЕНИЕ ЛАМПРОИТОВОГО И КАМАФУГИТОВОГО РАСПЛАВОВ В ДАЙКОВЫХ ПОРОДАХ РЯБИНОВОГО МАССИВА (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЛДАН): ПО ДАННЫМ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПЛАВНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ОЛИВИНАХ И ХРОМШПИНЕЛИДАХ

Чайка И.Ф.^{1 2}, Соболев А.В.^{3 4}, Изох А.Э.^{1 2}, Батанова В.Г.^{3 4}, Крашенинников С.П.⁴

¹ ИГМ СО РАН ivanlab211@gmail.com

² Геолого-геофизический факультет, НГУ,

³ IS TERRE, Гренобль, Франция

⁴ ГЕОХИ РАН

Изучались расплавные включения в оливинах и хромшпинелидах из лампроитов Рябинового массива, а также их минералы-хозяева. Непрогретые включения раскристаллизованы, гомогенизация с последующей закалкой проводилась в вертикальной трубчатой печи Nabertherm RHTV 1700 [1]. Состав полученных закалочных стекол определялся с помощью микрозондового и SIMS анализов. Состав минералов-хозяев определялся с помощью микрозондового анализа, в том числе - высокоточной методики примесного анализа оливина [2]. Температуры кристаллизации оливина оценивались по оливин-шпинелевому термометру [3].

Полученные данные свидетельствуют о контрастных составах включений из оливинов и хромшпинелидов. По химической классификации [4] включения в хромшпинелидах отвечают лампроиту (ультра-К, низко-Са), тогда как включения в оливине по составу ближе к камафугиту (На-К щелочности, высоко-Са). Основываясь на геохимических трендах и составах минералов-хозяев, показано, что имело место смешение этих магм при температуре около 1200 °С. Процессы силикатно-карбонатно-солевой несмесимости, показанные в предыдущих исследованиях [5] могли происходить как после смешения этих магм, так и вместе с ним. Основываясь на полученных данных, предполагается, что Th, U, Ta, Nb и LREE перераспределялись в карбонатно-солевую фракцию, образуя комплексы с F⁻, Cl⁻ и SO₄²⁻

Полученные данные и изотопный состав изученных пород [6] указывают на древний (AR-PR) литосферный мантийный источник, обогащенный в ходе древних субдукционных процессов. Несмотря на различные составы, расплавы, отвечающие проанализированным включениям, могли образоваться из источника одного типа, представленного обедненным перидотитом с участками глиммеритового или флогопит-пироксенитового состава [7]. Камафугитовая магма при этом выплавлялась в ходе низкотемпературного декомпрессионного плавления в условиях насыщения карбонатом, а последовавший за декомпрессией привнос тепла, F и SO₃ из нижележащей мантии привел к выплавлению более высокотемпературной лампроитовой магмы. Подобная пространственно-временная связь камафугитового и лампроитового магматизма может частично объяснять необычно широкие вариации составов и щелочности пород, представленных в высококалийной мезозойской Центрально-Алданской провинции.

Работа выполнена за счет средств гранта РФФИ (проект No 15-17-20036); исследования во Франции поддержаны грантом Labex OSUG@2020 (Investissements d'avenir – ANR10 LABX56).

Ссылки

1. Krashennnikov S.P. et al., Experimental Testing of Olivine-Melt Equilibrium Models an High Temperatures // Doklady Earth Sciences, 2017, 475. №2. P 919-922
2. Batanova V.G., Sobolev A.V., Kuzmin D.V., Trace element analyzis of olivine: High-precision analytical method for JEOL JXA-8230 electron probe microanalyser // Chem. Geol. 2015, vol. 419, pp. 149-157
3. Coogan L.A., Saunders A.D., Wilson R.N., Aluminium-in-olivine thermometry of primitive basalts: Evidence of an anomalously hot mantle source for large igneous provinces // Chem. Geol. 2014, 368. 1-10.
4. Foley S.F. et al., The ultrapotassic rocks: characteristics, classification and constrains for petrogenetic models // Earth Science Reviews, 1987. 24. P. 81-134
5. Rokosova E. Yu., Panina L.I., Shonkinites and minettes of the Ryabinoviy massif (Central Aldan): composition and crystallization conditions // Russian Geology and Geophysics. 2013. 54. P. 613-626
6. Чайка И.Ф., Васюкова Е.А. Минералогия, геохимия и изотопия лампроитовых пород Тобукского комплекса и их связь с Au-рудоносным массивом Рябиновй // Металлогения древних и современных океанов. 2017. 1. С. 38-51
7. Förster M.W. et al., Melting and dynamic metasomatism of mixed harzburgite + glimmerite mantle source: Implications for the genesis of orogenic potassic magmas // Chem. Geol. 2016. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2016.08.037

РАСПЛАВНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ И ПЕРИТЕКТИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ В МАГМАТИЧЕСКОМ ПЕТРОГЕНЕЗИСЕ

Чупин В.П.^{1 2}, Кузьмин Д.В.¹, Смирнов С.З.¹, Томиленко А.А.¹

¹ ИГМ СО РАН chupin@igm.nsc.ru

² Новосибирский государственный университет

Перитектические явления в процессах магматической кристаллизации широко распространены, но о них известно не много. Магматические перитектические реакции – реакции, в которых одни минералы образуются за счет других в присутствии магматических расплавов как на фоне снижения температуры, так и при ее повышении. Последнее обычно происходит в областях генерации коровых магм. В данной работе мы представим примеры перитектических явлений на ранних стадиях магматического петрогенезиса, и способы их реконструкции с применением расплавных включений.

Образование кислых расплавов происходит в результате анатексиса коровых пород на прогрессивных стадиях метаморфизма в широком диапазоне давлений. Так как перитектическая кристаллизация происходит из ранних порций расплава, именно этот расплав захватывается в виде включений. В отличие от обычной магматической кристаллизации образование минералов происходит не за счет пересыщения расплава, а за счет диффузии вещества разлагающегося минерала к вновь образующимся.

Первичные включения перитектических расплавов впервые были обнаружены в гранате, клино- и ортопироксенах, кианите, скаполите и других минералах ксенолитов гранулитов и эклогитов в щелочных базальтоидах из неогеновых диатрем В. Памира [1, 2]. Позднее подобные включения обнаружены в гранате гранулитов из других районов [3]. Необычная ассоциация минералов образовалась на глубинах более 40 км (>12 кбар) при инконгруэнтном плавлении метабазитовых и метапелитовых пород с образованием риолитовых расплавов.

Другой пример демонстрирует образование темноцветных минералов из кислых расплавов обедненных Mg и Ca при плавлении метабазитов, связанном с развитием малоглубинных (< 3 кбар) очагов островодужного кислого вулканизма. Расплавные включения плагиориолитового состава содержатся в плагиоклазах и пироксенах Mg базальтов вулкана Меньший Брат в кальдере Медвежьей и дацитовых пемз кальдер Львиная Пасть и перешейка Ветрового на острове Итуруп (Курильские острова) [4]. В первом случае состав расплавных включений не характерен для типичных базальтовых минералов. Во втором – состав темноцветов не типичен для кислых пород, материнские расплавы которых представлены содержащимися в них расплавными включениями. Образование пироксенов происходит благодаря разложению амфибола при плавлении метабазитов коры острова при температурах, превышающих 850 – 900°C. Возрастающее в результате этого парциальное давление воды приводит к дестабилизации клинопироксена и образованию высококальциевого плагиоклаза и ортопироксена в присутствии кислого расплава.

Таким образом, необычные сочетания составов минералов и составов расплавных включений в кислых магматических породах и породах высоких ступеней метаморфизма вероятнее всего связаны с перитектическими явлениями и могут быть индикаторами ранних стадий образования кислых магм в различных геодинамических обстановках.

Работа выполнена при поддержке субсидии на выполнение государственного задания ИГМ СО РАН № 0330-2016-0005, Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проекты № 16-05-00894, 18-05-00819), комплексной программы научных исследований СО РАН II.1 (проект № 44).

Ссылки:

1. Chupin V.P., Kuzmin D.V., Touret J.L.R. (2001) High-pressure melt and fluid inclusions in minerals of garnet granulites/eclogites (Eastern Pamir) // Abstracts of ECROFI XVI, Porto, 2001. Universidade do Porto — Faculdade de Ciencias, Departamento de Geologia, Memórias. 7. P. 95–98.
2. В.П. Чупин, Д.В. Кузьмин, И.А. Мадюков, (2006) Расплавные включения в минералах скаполитсодержащего гранулита (нижнекоровые ксенолиты из диатрем Памира) // Докл. АН. 407. 6. С. 823-827.
3. Cesare B., Ferrero S., Salviolo-Mariani E. et al. (2009) "Nanogranite" and glassy inclusions: The anatectic melt in migmatites and granulites // Geology. 37. 7. P. 627-630.
4. Смирнов С.З., Рыбин А.В., Соколова Е.Н. и др. (2017) Кислые магмы кальдерных извержений острова Итуруп: первые результаты исследования расплавных включений во вкрапленниках пемз кальдеры Львиная Пасть и перешейка Ветровой // Тихоокеанская геология. 36. №1. С. 50-68.

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ В ЖЕЛЕЗНОМ МЕТЕОРИТЕ УАКИТ (ПАВ), БУРЯТИЯ

Шарыгин В.В.^{1,2,3}, Рипп Г.С.⁴, Яковлев Г.А.³, Сереткин Ю.В.^{1,2}, Карманов Н.С.¹

¹ИГМ СО РАН, Новосибирск, sharygin@igm.nsc.ru; ²НГУ, Новосибирск; ³ УрФУ, Екатеринбург; ⁴ГИ СО РАН, Улан-Удэ.

Железный метеорит Уакит (ПАВ, 3.96 кг) был найден в 2016 году в Баунтовском Эвенкийском районе Бурятии, Россия. В отличие от других железных метеоритов он характеризуется богатым минеральным разнообразием. Камасит является главной фазой в этом метеорите (>98 об.%). Первичные второстепенные и акцессорные минералы представлены шрейберзитом (рабдитом), никельфосфидом, тэнитом, когенитом, троилитом, тетратэнитом, добреелитом, калининитом, карлсбергитом, сфалеритом, уакититом, медью, потенциальным минералом CuCrS_2 и неидентифицированной Мо-фазой. Крупные (до 1 см) нодулы троилит-добреелитового состава также обычны для метеорита. Остальные фазы (Ni-магнетит, пентландит, хизлевудит, аварунит-никель, а также Ni-гётит, акагенит, Ni-сидерит, Ca-Fe-карбонаты, гипс, неидентифицированные Ni-Fe-Cr-сульфид, водные Fe-фосфат и Ca-Fe-сульфат) относятся к разным стадиям его земного замещения [1-3]. Метеорит Уакит содержит широкий спектр экзотических минералов (карлсбергит CrN, сфалерит ZnS, когенит Fe_3C , никельфосфид $(\text{Ni,Fe})_3\text{P}$, калининит $(\text{Zn,Fe})\text{Cr}_2\text{S}_4$) и является голотипом для уакитита VN (IMA 2018-003) и фазы CuCrS_2 .

Уакитит был обнаружен в мелких (до 100 μm) троилит-добреелитовых включениях в камасите, а также в крупных (до 1 см) троилит-добреелитовых нодулах. Большинство включений представлены чередованием слоев троилита и добреелита; $\pm$ шрейберзит, магнетит, реже CuCrS_2 . Уакитит ($<5 \mu\text{m}$) является одной из самых ранних фаз в таких ассоциациях (Рис. 1). Он образует изометричные (кубические) кристаллы (в добреелите) или округлые зерна (в шрейберзите). Его эмпирическая формула ($n=53$) - $(\text{V}0.91\text{Cr}0.07\text{Fe}0.02)\text{N}1.00$. В структурном плане он близок к карлсбергиту CrN и осборниту TiN. Из-за малых размеров не удалось провести монокристалльную съемку для уакитита. Структурные данные были получены для трех зерен при помощи EBSD методики (Рис. 1) в сопоставлении со структурной моделью для синтетического VN (куб., Fm-3m, $a = 4.1328(3) \text{ \AA}$) [4]. Эти данные выявили параметр $\text{MAD} = 0.14\text{-}0.37^\circ$ (best-good fit).

Фаза CuCrS_2 возможно является вторым новым минералом в метеорите Уакит и выявлена в мелких (до 50 μm) троилит-добреелитовых включениях в камасите в ассоциации с добреелитом, троилитом, шрейберзитом ($\pm$ уакитит). Её состав - $\text{Cu}0.94\text{Fe}0.09\text{Cr}0.97\text{S}2.00$. Предполагается, что по подобию с синтетикой CuCrS_2 , эта фаза является тригональной (R3m или R-3m; $a \approx 3.48 \text{ \AA}$, $c \approx 18.70 \text{ \AA}$) и структурно относится к группе косуэллсилверита.

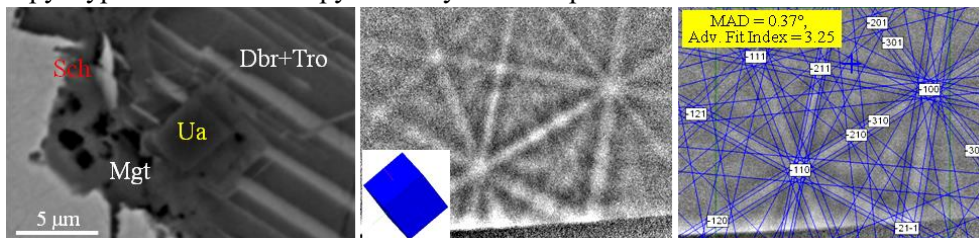


Рис. 1. BSE фотография фосфид-троилитового включения в камасите, Кикучи картинки (исходная и индексированная) и ориентация для кристалла уакитита, метеорит Уакит. Ua – уакитит; Dbr+Tro – добреелит+троилит; Mgt – магнетит; Sch – шрейберзит; MAD – среднее угловое отклонение в сопоставлении с синтетическим VN.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 17-05-00129) и Акта 211 Правительства РФ (соглашение N 02.A03.21.0006).

Ссылки:

1. Рипп Г.С., Шарыгин В.В., Избродин И.А., и др. (2017): Минералогия и геохимия железного метеорита Уакит (ПАВ), Бурятия. «200 лет РМО» - юбилейный съезд. Санкт-Петербург. Т. 2. с. 311-313.
2. Sharygin V.V. (2018): Фаза CuCrS_2 в железном метеорите Уакит (ПАВ), Бурятия. IX Всеросс. мол. конф. «Минералы: строение, свойства, методы исследования». ИГиГ УрО РАН, Екатеринбург, с. 215-218.
3. Sharygin V.V., Ripp G.S., Yakovlev G.A. et al. (2018): Uakitite (IMA 2018-003). Mineralogical Magazine. CNMNC Newsletter No.42.
4. Kubel F., Lengauer W., Yvon K. et al. (1988): Structural phase transition at 205 K in stoichiometric vanadium nitride. Physical Review B: Condensed Matter. V. 38. P. 12908-12912.

ДВА ТИПА ПРОТОЛИТОВ АЛМАЗОНОСНЫХ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД КОКЧЕТАВСКОЙ СУБДУКЦИОННО-КОЛЛИЗИОННОЙ ЗОНЫ

Шацкий В.С.^{1,2,3}, Ягоутц Э.⁴, Козьменко О.А.¹, Рагозин А.Л.^{1,3}, Скузоватов С.Ю.²,
Соболев Н.В.¹

¹ ИГМ СО РАН

shatsky@igm.nsc.ru

² Геолого-Геофизический факультет НГУ

³ ИГХ СО РАН

⁴ Химический институт Макса Планка

Ультравысокобарические породы (UHP) Кокчетавской субдукционно-коллизиионной зоны рассматриваются как модельный объект для изучения подвижности элементов в зонах субдукции континентального типа. Однако сложность в интерпретации полученных данных заключается в том, что не известна природа протолитов большинства типов высокобарических метаморфических пород. Полученные нами изотопно-геохимические данные дают возможность высказать предположение о двух типах их протолитов. Карбонатные породы, пироксениты и мигматизированные гнейсы западного блока (9 образцов) образуют Sm-Nd изохрону угол наклона которой отвечает возрасту 1052 ± 44 млн лет. Этот возраст близок к возрасту формирования гранитогнейсового фундамента (1,2-1,05 млрд лет) [1,2]. На основании этих данных мы принимаем, что протолитами этих пород являлись породы фундамента. В такой трактовке их геохимические особенности могут быть не связаны с процессами высокобарического метаморфизма. Отсутствие свидетельств плавления этих пород при метаморфизме сверхвысоких давлений может объясняться тем, что ранее они были метаморфизованы в условиях гранулитовой фации метаморфизма. В то же время, в различной степени деплетированные высокоглиноземистые породы участка Барчинский образуют Sm-Nd эрохрону, наклон которой отвечает возрасту 505 ± 75 млн лет, что дает основание предполагать частичное плавление этих пород на стадии эксгумации. Grt-Phe-Ку сланцы имеют характер распределения несовместимых элементов близкий к PAAS, в то же время гранофельсы (Grt+Ку+Qtz) деплетированы в отношении целого ряда элементов, включая К и LREE. Ранее было предположено, что протолитами алмазонасных пород являются породы песчано-сланцевой толщи шарыкской свиты [3]. Однако этому противоречат данные изучения Sm-Nd системы в этих породах [4]. Породы шарыкской свиты характеризуются колебаниями величины $\varepsilon_{Nd}(t)$ от +4,1 до -3,3 и величинами модельного возраста от 1,9 до 1,25 млрд лет, в то же время у пород, претерпевших UHP метаморфизм величина $\varepsilon_{Nd}(t)$ варьирует от -7,6 до -13,2, а величины модельного возраста от 3,7 до 2,3 млрд лет. Эти данные ясно указывают на то, что протолитами высокобарических пород не могли быть породы шарыкской свиты.

Ссылки:

1. Туркина О.М., Летников Ф.А., Левин А.В. (2011): Мезопротерозойские гранитоиды фундамента Кокчетавского микроконтинента // ДАН. Т. 436. № 4. С. 499-503.
2. Glorie S., Zhimulev F.I., Buslov M.M., et al. (2015): Formation of the Kokchetav subduction-collision zone (northern Kazakhstan): insights from zircon U-Pb and Lu-Hf isotope systematics // Gondwana Res. V. 27. P. 424-438
3. Буслов М.М., Добрецов Н.Л., Вовна Г.М., Киселев В.И. (2015): Структурное положение, состав и геодинамическая природа алмазонасных метаморфических пород Кокчетавской субдукционно-коллизиионной зоны Центрально-Азиатского складчатого пояса (Северный Казахстан) // Геология и геофизика. Т. 56. С. 89-109.
4. Kovach V., Degtyarev K., Tretyakov A., et al. (2017): Sources and provenance of the Neoproterozoic placer deposits of the Northern Kazakhstan: Implication for continental growth of the western Central Asian Orogenic Belt. Gondwana Res. V. 47. P. 28-43.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРОЕНИИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ И ИМПАКТНЫХ АЛМАЗОВ: ДАННЫЕ ФАЗОВОЙ ТОМОГРАФИИ И 3D-ДИФРАКЦИИ

Ширяев А.А.¹, Ludwig W.², Каминский Ф.В.³, Золотов Д.А.⁴, Титков С.В.⁵

¹ ИФХЭ РАН

shiryaev@phych.e.ac.ru

² ESRF, Grenoble, France

³ KM Diamonds, Vancouver, Canada

⁴ ФНИЦ «Кристаллография и фотоника», Москва

⁵ ИГЕМ РАН

Представлены результаты исследования природных образцов поликристаллических алмазов разного происхождения с помощью рентгеновской фазовой томографии, 3D рентгеновской дифракции и инфракрасной спектроскопии. Изучены образцы карбонадо из россыпей ЦАР, мелкокристаллический борт (диамондит) из трубки Удачная, образцы якутита и импактные алмазы Попигайского кратера. Томографические исследования проведены с пространственным разрешением 0.7 микрон/пиксель.

Выявлены принципиальные различия между строением импактных алмазов и якутита от других образцов. Для импактных образцов пористость отсутствует, отмечаются только отдельные трещины. В тоже самое время, пористость карбонадо и кимберлитовых поликристаллических алмазов достигает 8-10 об.%; принципиальных различий в распределении пор и включений между этими типами алмазов не обнаружено (рис. 1).

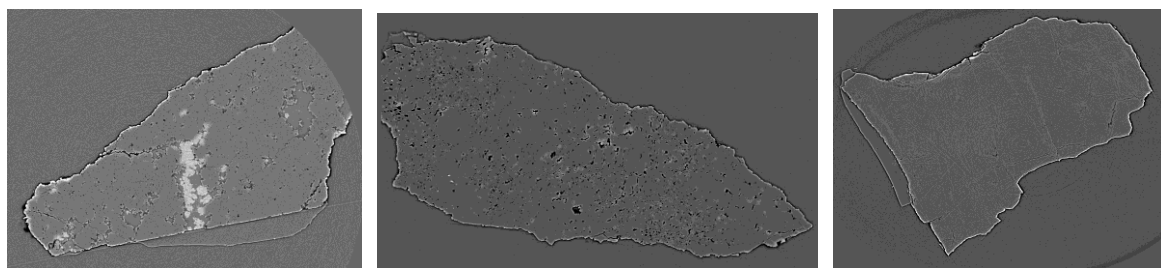


Рис.1 – Результаты фазовой томографии. Слева – карбонадо из ЦАР, центр – кимберлитовый образец, справа – якутит.

Размер алмазных зерен в кимберлитовых поликристаллах и в одном из карбонадо был слишком мал (менее 2 микрон), что сделало невозможным анализ их формы и пространственного расположения. Для двух карбонадо такой анализ был проведен, что позволило впервые выявить текстурированность карбонадо (рис. 2) и установить, что, по крайней мере, частично текстура связана с процессами деформации.

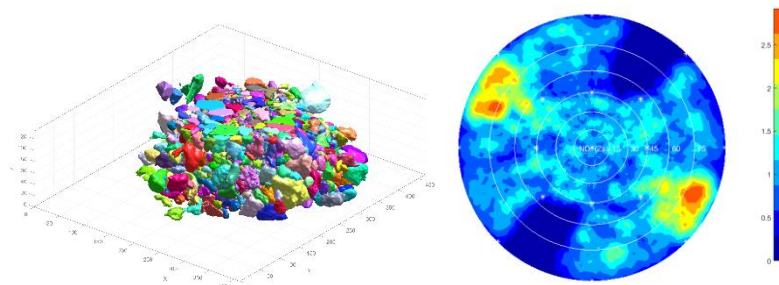


Рис.2 – 3D-дифракция. Слева – пространственное распределение зерен в карбонадо. Справа – проекция функции распределения ориентаций зерен на плоскость (001).

ПРЕДПОЛАГАЕМЫЕ КОРЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ РОССЫПНЫХ АЛМАЗОВ НА ЮГО-ЗАПАДЕ РЕСПУБЛИКИ БУРКИНА ФАСО, ЗАПАДНАЯ АФРИКА

Шмаков И.И.¹, Иванов А.С.¹

¹ НИГПИ АК «АЛРОСА» ПАО
ShmakovII@alrosa.ru, IvanovAS@alrosa.ru

Алмазодобывающие районы Ганы, Кот-д'Ивуара и Мали хорошо известны, в то время как россыпепроявления алмазов и их возможные первоисточники в Буркина Фасо еще мало изучены.

В 1964-1967 гг. на юго-западе Буркина Фасо была проведена масштабная компания по поискам алмазов, сопровождаемая опробованием русловых отложений рек Котоэ and Léraba. При крупнообъемном опробовании речного аллювия было получены первые десятки кристаллов алмаза. Содержание алмазов в россыпях оказалось нерентабельным и интерес к ним угас. Первоисточниками алмазов в россыпях считались протерозойские конгломераты формации Бирим.

Геологическая позиция юго-запада страны определяется венд-кембрийскими осадочными породами (песчаники и сланцы), несогласно перекрывающие мезопротерозойскую вулканогенно-осадочную формацию Бирим. Эта формация в свою очередь несогласно залегает на палеопротерозойских гранитах и мигматитах. Этот комплекс пород прорывается дайками и силлами долеритов мезозойского возраста, образующих кольцевую структуру. Структурно-тектонически эти формации контролируются грабеном субмеридионального простирания, секущем кратон Мэн [2].

Наличие алмазов в русловом аллювии поверх раннепалеозойских осадочных отложений поставило вопрос о существовании неизвестных коренных кимберлитовых источников алмазов; возраст кимберлитовых тел предполагался как после-кембрийский, и скорее всего, мезозойский [1].

Канадская компания Southern Era Ltd в 1999-2000 гг. инициировала поисковые работы по поиску коренных источников алмазов на водоразделах названных рек. В результате поисковых работ была локализована шлихоминералогическая аномалия, содержащая кимберлитовые хромпинелиды и гранаты предположительно эклогитового состава (рис.1). Слабоизношенная поверхность зерен ИМК свидетельствовала об их близком переносе. В дальнейшем компания прекратила здесь поисковые работы по причинам экономического характера и ушла из страны.

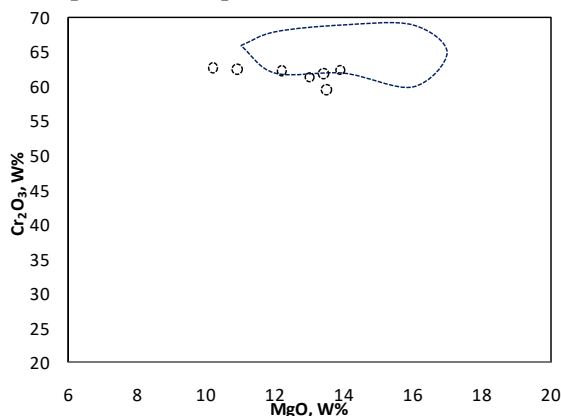


Рис.1 –Диаграмма составов хромпинелей участка с контуром составов из включений в алмазах.

Авторы выражают благодарность канадской компании Southern Era Ltd и персонально Mr James Napier за предоставленные материалы.

Ссылки:

1. Knopf D. Kimberlites et le roches apparentees de Cote d'Ivoire. Sodemi–Abidian, 1970. p. 139.
2. Milési, J.P., Feybesse, J.L., Ledru, P., Dommanget, A., Ouédraogo, M.F., Marcoux, E., Prost, A.E., Vinchon, C., Sylvain, J.P., Johan, V., Teguey, M., Calvez, J.Y., Lagny, P., 1989. Les minéralisations aurifères d'Afrique de l'Ouest. Leurs relations avec l'évolution lithostructurale au Protérozoïque inférieur. Chroniques Recherche Minière France, BRGM, vol. 497, pp. 3–98
3. ALLUVIAL DIAMONDS PROBABLE PRIMARY SOURCES OF SOUTH-WEST OF REPUBLIC BURKINA FASO, WEST AFRICA

ПЕРСПЕКТИВЫ ОБНАРУЖЕНИЯ НОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ НА СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Щукина Е.В.¹, Щукин В.С.²

¹ ИГМ СО РАН

shchukinalena@igm.nsc.ru, helenashchukina@gmail.com

² ООО «Проекс-Сервис» vlad.shchukin@mail.ru

В настоящей работе мы оцениваем алмазный потенциал севера Восточно-Европейской платформы, основываясь на данных аэромагнитной съемки и результатах изучения морфологии и химического состава 1513 зерен индикаторных минералов кимберлита (ИМК; пироп, оливин, хромдиопсид), идентифицированных в шлиховых пробах, которые были отобраны на территориях четырех исследуемых площадей, расположенных в северо-восточной (в пределах Архангельской Алмазоносной Провинции, ААП) и юго-западной частях Архангельской области (рис.1). Все исследуемые площади расположены в пределах древних кратонов: Кольского (площади «Р» и «К»), Карельского (площадь «L») и Шенкурского (площадь «S»). На основании состава ИМК и термобарометрических расчетов для пиропов и хромдиопсидов было выявлено, что параметры литосферной мантии под изучаемыми территориями, такие как, состав (70-80 % лерцолиты, 6-17 % гарцбургиты, 2-10 % верлиты), строение (нижняя граница в интервале ~ 190-230 км; мощность «алмазного окна» ~ 60 – 100 км) и термальный режим (35-40 мВ/м²), типичны для литосферной мантии мировых кимберлитовых провинций, включая и ААП. Достаточно высокое количество ИМК с первичной магматической поверхностью (17-39 % для пиропов; 92-100 % для оливинов; 12-40 % для хромдиопсидов), свидетельствуют о возможном присутствии местных кимберлитовых источников на территориях всех четырех площадей. Высокое количество пиропов алмазной ассоциации (11-30 %) могут указывать на потенциальную алмазоносность источников. На основании полученных результатов, можно утверждать, что исследуемые площади могут быть рекомендованы для поисково-разведочных работ на алмазы, с высокой вероятностью обнаружения на их территориях новых потенциально алмазоносных кимберлитов.

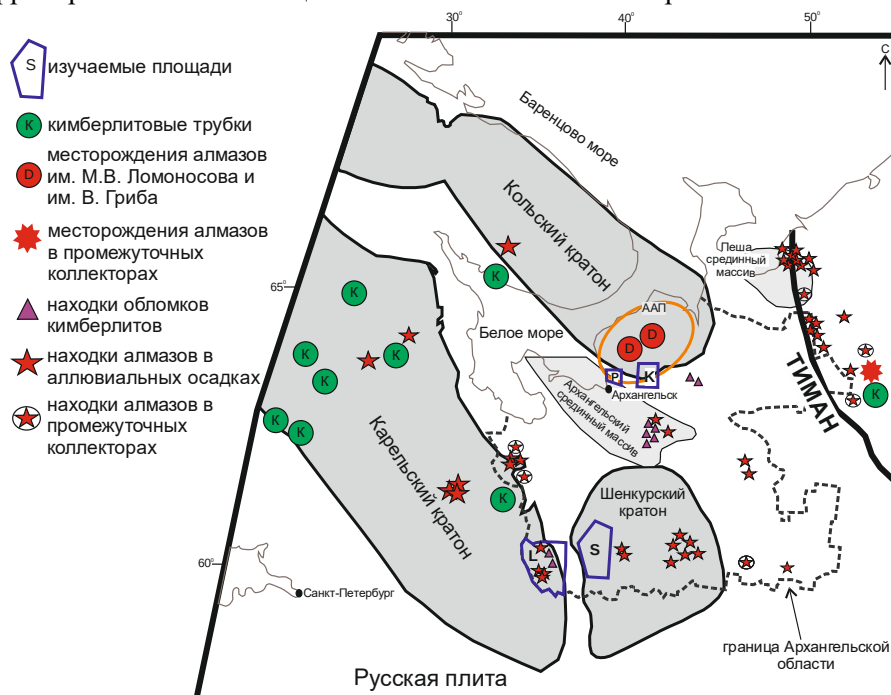


Рис.1 Тектоническая схема севера Восточно-Европейской платформы.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект № 17-77-10008).

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
SIBERIAN BRANCH
V.S. SOBOLEV INSTITUTE OF GEOLOGY AND MINERALOGY

**THE PROBLEMS OF MAGMATIC AND
METAMORPHIC PETROLOGY, GEODYNAMICS AND
GENESIS OF DIAMONDS**

Abstracts of International Conference
dedicated to the 110th anniversary of Academician Vladimir Stepanovich Sobolev



Novosibirsk, 9-14 June 2018

POSSIBILITY FOR CRYSTAL MORPHOLOGY CHANGES IN INCLUSIONS FROM DIAMONDS

Afanasiev V.P.¹, Logvinova A.M.¹, Ugapieva C.C.², Fedorova E.N.¹

¹ V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy
avp-diamond@mail.ru

² Institute of Geology of Diamonds and Precious Metals
sargylana-ugapeva@yandex.ru

Studies of diamond-hosted olivines suggest that they may change crystal morphology and acquire uncommon habits (e.g., become octahedral) after being entrapped [1]. Raman spectroscopy applied to check this possibility revealed a fluid phase (Fig. 1a, b) composed of $\text{Si}_2\text{O}(\text{OH})_6$, $\text{Si}(\text{OH})_4$ and molecular water [2] at the olivine/diamond boundary, while transmission electron microscopy showed fluid-filled vacuoles at the inclusion margin (Fig. 1c). The fluid can maintain diffusion of components inside the inclusion and create prerequisites for its morphological changes. However, these changes would require mass transfer of diamond, insoluble in the fluid phase, which may occur by natural surface diffusion of carbon atoms. Thermodynamically, the process tends to minimization of the surface energy at the phase boundary by reshaping the volume occupied by the inclusion. Diamond crystals have very high surface tension (10,000 N/m for the (110) face), up to 20 times higher than in other solids (~400-500 N/m), the difference being like that between a solid and a liquid. Therefore, diamond has obvious priority in shaping and changes the volume into a negative octahedron. The process can stop at any stage if the diamond passes into a colder zone which fails to maintain diffusion. Diamond mass transfer within the inclusion may be inferred from the presence of amorphous aureoles, without typical diamond zoning (Fig. 1d), around the inclusions in CL images.

The study was carried out as part of government assignment (Project 0330-2016-0006)

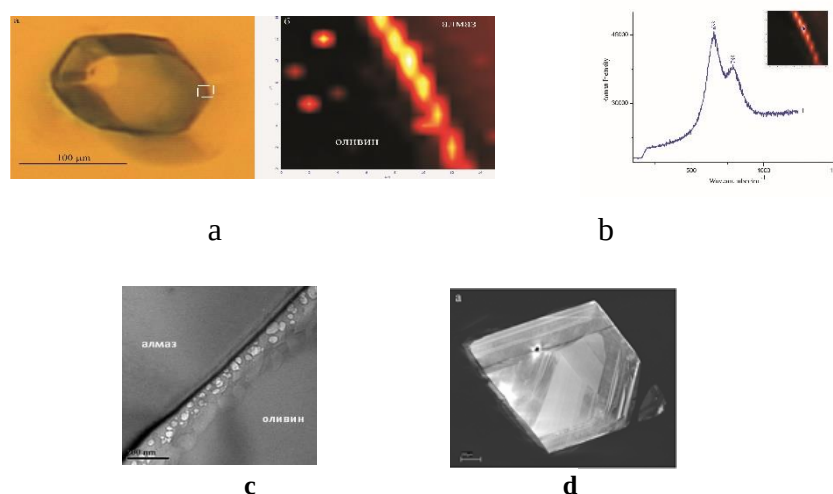


Fig. 1. a: olivine inclusion in diamond and olivine/diamond boundary (Raman mapping); b: Raman spectrum of fluid at the olivine/diamond boundary; c: TEM image of fluid-filled vacuoles at the olivine-diamond boundary; d: amorphous zone around olivine inclusion in diamond (CL image).

References

1. Afanasiev, V.P., Ugapieva, S.S., 2017. Can inclusions entrapped in diamonds change their crystal morphology? *Otechestvennaya Geologiya*, No. 5, 31-36.
2. Nimis, P., Alvaro, M., Nestola, F., Angel, R., Marquardt, K., Rustioni, G., Harris, J., Marone, F., 2016. First evidence of hydrous silicic fluid films around solid inclusions in gemquality diamonds.

AGE AND GEOCHEMISTRY OF ZIRCONS FROM THE YAKUTIAN KIMBERLITES

Agashev A.M.¹, Zaitseva M.V.², Serov I.V.³, Tolstov A.V.³

¹IGM SB RAS
agashev@igm.nsc.ru

²IGG UrB RAS

³JSC ALROSA

To define more accurately the age of kimberlites from the Yakutian diamondiferous province, U-Pb method was used for dating zircons from the Mir, Amakinskaya, and International kimberlite pipes of the Mirny kimberlite field, the Ryatanka and Malo-Kuonamskaya pipes of the Kuranakh field, and Khairygastah and Druzhba pipes of the Chomurdakh field.

Mirny field. Fifteen zircon grains from the Mirny pipe were studied. All grains are large (+2 mm in size) varying in color from light-brown to light yellow and almost colorless. The age of every grain was determined in one point and Pb²⁰⁶/U²³⁸ age of individual grains varies from 345 to 388 Ma. The concordant age, estimated from 15 grains, is 363.5 ± 4.0 Ma which corresponds to kimberlites age of this field (Agashev et al., 2016). One zircon grain from the International pipe was studied. The concordant age of this grain is 365 ± 17 Ma. The large error is due low U and Pb content in this zircon. The concordant age of zircon from the Amakinskaya pipe is 359 ± 15 Ma which is consistent with the previously obtained ages for this pipe obtained by rutile and sphene (Agashev et al., 2016).

Chomurdakh field. Khairygastah pipe. Ten zircon grains (+2 mm in size) of light brown and yellow colors from the Khairygastah pipe were studied. Each grain was analyzed at one spot, and the obtained Pb²⁰⁶ / U²³⁸ ages range from 397 to 432 Ma. The concordant age (Fig. 5) for all 9 zircons is 418.8 ± 4.7 Ma, which confirms the existence of the Silurian stage of kimberlite magmatism at the Siberian Platform.

Druzhba pipe. Nine zircon grains from this pipe have been analyzed. The Pb²⁰⁶/U²³⁸ age of one zircon grain is 561 Ma and the age of five grains ranges from 415 to 438 Ma, while three other grains had the Devonian age varying from 359 to 364 Ma. The concordant age of 5 zircons is 426 ± 9.1 Ma which is consistent with the Silurian stage of kimberlite magmatism as well as zircons from the Khairygastah pipe. The concordant age of three zircons is 361 ± 9.0 Ma which corresponds to Devonian stage of kimberlite magmatism.

Kuranakh field. Ryatanka pipe. We have analysed 10 zircon grains from the Ryatanka pipe with the grain size of +2 mm. Every grain was analyzed in one point. The spectrum of the obtained Pb²⁰⁶/U²³⁸ ages varies from 216 to 251 Ma. The concordant age is 231.8 ± 3.1 Ma which corresponds to the Triassic stage of kimberlite magmatism.

According to the REE distribution pattern, all studied zircons are of mantle origin as their REE distribution is typical for mantle-derived zircons. Most probably, they are part of megacryst association which is formed during pre-kimberlite stage of mantle metasomatism and consequently yield the age corresponding to kimberlite intrusion.

References

1. Agashev A. M., Orihashi Y., Pokhilenko N. P., Serov I. V., Tolstov A. V. and Nakai, S. 20016. Age of Mirny Field Kimberlites (Siberia) and application of Rutile and Titanite for U–Pb dating of kimberlite emplacement by LA-ICP-MS// Geochemical Journal, Vol. 50, pp. 431 to 43

APPLICATION OF OPTICAL SPECTROSCOPY OF GARNETS IN THE SEARCH FOR KIMBERLITE DEPOSITS

Antonova T.A.

SRGEE JSC "ALROSA" (PJSC)

AntonovaTA@alrosa.ru

One of the most effective means of studying garnets is optical absorption spectroscopy. In particular, the color expressed numerically through the colorimetric parameters (λ_k and p_c) can be used as an indicator of the physicochemical conditions of the mineral-forming medium [1, 2].

The aim of this work is to show the information value that can be obtained from the garnet study using optical spectroscopy in the visible region. The whole processing including registration of transmission spectra to determination of the paragenetic pertaining and garnet's color was carried out using specially developed software package [3].

About 1188 garnet crystals from nine objects of the Malo-Botuobinskiy diamondiferous region have been studied applying an optical absorption spectrometry method. Using absorption spectra, we calculated colorimetric parameters with color definition by the IOC classification (recalculated on the crystal thicknesses of 1 mm) for all the garnet varieties in the samples. The studied garnets varied in color from yellow-orange to purplish red. Crystals of orange and strong reddish orange color (more than 50% of the total analyzed grains) are dominant in the samples within the studied pipes: Mir, International, Taiezhnaya, Vodorazdelnye galechniki placers, Geophysicheskaya, Ullakh stream, and the Botuobinskiy area. The samples from the pipes such as the XXIII Congress of the CPSU and Shirokiy Stream in roughly half the instances, except for two above-mentioned colors, contain garnets of red and yellow-orange color, respectively.

A total volume of all studied crystals from the Malo-Botuobinskiy district are dominated by garnets from lherzolite parageneses (more than 40%), mostly equigranular lherzolites, while garnets from websterites are 8.2% and from websterites with reduced orthopyroxene make up 7.8%. Only the samples from the International pipe contain garnets from potentially diamondiferous harzburgites (1.1%) and from verlites (1.7%), while the Taiezhnaya pipe contains garnets nodules about 1.3%. Garnets from diamondiferous associations are dominated by crystals from the basic deep-seated rocks (eclogites), in particular, magnesian-ferruginous (in pipes Mir - 5%, International - 6.2%, Taiezhnaya - 8.9%, XXIII Congress of the CPSU - 15.3%, in placer Vodorazdelnye galechniki - 2.6%, Zimniy stream - 0.9%, Botuobinskiy area - 1.1%), and the content of garnets in diamondiferous disthene eclogites is as follows: in pipes Mir - 1.23%, Taiezhnaya - 7.6%, the XXIII Congress of the CPSU - 8.1%, in the Ullah stream - 1.9%, in Shirokiy stream - 0.9%, and in the Geophysicheskaya placer - 0.6%. The content of garnets from diamondiferous corundum eclogite is as follows: pipes International - 4%, Taiezhnaya - 1.3%, XXIII Congress of the CPSU - 2.7%, placer Vodorazdelnye galechniki - 1.3%. Garnets from potentially diamondiferous dunites occur in small amounts only in pipes Mir - 1.84%, Taiezhnaya - 1.3%, and XXIII Congress of the CPSU - 0.9%.

The application of optical spectroscopy provides a means for solving a number of important forecasting and searching tasks, such as: to perform zoning on garnets with specific characteristics, to compare garnets from various types of concentrate aureoles and placers, to correlate placers and concentrate aureoles with particular orebodies, and make an objective conclusion that the particular pyrope samples do not belong to any of the known orebodies in the given area.

References:

1. Matsyuk S.S., Zinchuk N.N. Optical spectroscopy of minerals of the upper mantle. - M.: Nedra, 2001. - 426 p.
2. Matsyuk S.S., Platonov A.N., Khomenko V.M. Optical spectra and color of mantle minerals in kimberlites. - Kiev: Science. Dumka, 1985.
3. Makarsky I.V., Software for data processing of the garnet optical spectroscopic studies. In: Information Technology in Science, Education, Society. Yakutsk, 2001. - P. 8-9.

OCEANIC ZIRCON AS A PETROGENETIC INDICATOR

Aranovich L.Y.

IGEM RAS
lyaranov@igem.ru

Morphology and geochemical features of zircon separates from a variety of rocks from Mid-Atlantic Ridge have been studied with a variety of methods. Magmatic zircon in the gabbroids crystallized from differentiating magmatic melt in a number of episodes, as follows from the systematic rim-ward increase in the Hf concentration, and also often from the simultaneous increase in the (U + Th) and (Y + P) concentrations. These tendencies are also discernible (although much less clearly) in zircons from the OPG. Zircon in the OPG is depleted in REE compared to the least modified zircons in the gabbro, which suggests that the OPG were derived via partial melting of gabbro in the presence of seawater-derived concentrated aqueous salt fluid. Another reason for the REE depletion might be simultaneous crystallization of zircon and apatite. The CL-dark sectors, which are found in practically all of the magmatic zircon grains, have Y/P (a.p.f.u.) >> 1 which most likely resulted from OH accommodation in the zircon structure, a fact suggesting that the OPG parental melt contained water. High-temperature hydrothermal processes induced partial to complete recrystallization of zircon (via dissolution – re-precipitation), a process that was associated with ductile and brittle deformations of the zircon-hosting rocks. The morphology of the hydrothermal zircons varies depending on pH and silica activity in the fluid from weakly corroded subhedral crystals with typical vermicular microtopography of the crystal faces to completely modified grains of colloform structure. Geochemically, the earlier hydrothermal transformations of the zircons resulted in their enrichment in La and other LREE, except only Ce, whose concentration, conversely, decreases compared to that of the unmodified magmatic zircons. Published experimental data on the partitioning of Zr and Hf between felsic melts and Zircon (Zrn), and on the solubility of Zrn and hafnon, HfSiO₄ in melts with variable ASI index have been used to derive an equation of the Zr-Hf

geothermometer: $T = \frac{1531}{\ln K_d + 0.883}$, with $K_d = \frac{X_{Zr}^s X_{Hf}^m}{X_{Zr}^m X_{Hf}^s}$, where X_j^i – concentration of Zr and Hf in Zrn

(s) and melt (m), ppm, and T – temperature, K. Constant concentration of Zr in Zrn of 480000 ppm is applied for temperature calculations. It is shown that the increase in the Hf content from cores to rims often documented in magmatic Zrn results from fractional crystallization of Zrn with preferential consumption of Zr from the melt. For differentiated granitoid series the temperature corresponding to the beginning of Zrn crystallization in the early (least evolved) cumulates should be estimated based on the composition of the central parts of large grains with the highest values of the Zr/Hf ratio. Application of the thermometer to mafic and intermediate rocks may be hampered due to co-crystallization of Zrn with oxides and Fe-Mg silicates with elevated Zr and Hf content. The new geothermometer has some advantages over those based on zircon saturation index [1, 2] and on Ti in Zrn [3], as it does not depend on major oxides composition of the melts and on the correct estimates of the SiO₂ and TiO₂ activities. Calculations of the Zr and Hf fractionation trends with the assumption of Rayleigh fractionation allow estimating the temperature at which separation of the more evolved portion(s) has occurred.

The work is supported by the Russian Scientific Fund (project № 18-17-00126)

References:

1. Watson E.B., Harrison T.M. (1983). Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types // *Earth Planet. Sci. Lett.* V. 64. P. 295-304.
2. Boehnke P., Watson E.B., Trail D., et al. (2013). Zircon saturation re-visited. // *Chem. Geol.* V. 351. P. 324–334.
3. Ferry J.M., Watson E.B. (2007). New thermodynamic models and revised calibrations for the Ti-in-zircon and Zr-in-rutile thermometers // *Contrib. Mineral. Petrol.* V. 154. P. 429–437.

EFFECT OF ALKALIS ON THE REACTION OF CLINOPYROXENE WITH Mg-CARBONATE AT 6 GPa: IMPLICATIONS FOR PARTIAL MELTING OF CARBONATED LHERZOLITE

Arefiev A.V., Podborodnikov I.V., Shatskiy A.F., Chanyshv A.D., Litasov K.D.

IGM SB RAS, NSU
arefievanton@igm.nsc.ru

The reaction between clinopyroxene and Mg-carbonate is supposed to define the solidus of carbonated lherzolite at pressures exceeding 5 GPa [1]. To investigate the effect of alkalis on this reaction, subsolidus and melting phase relations in the following systems have been examined at 6 GPa: $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6 + 2\text{MgCO}_3$ (Di+2Mgs); $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6 + \text{NaAlSi}_2\text{O}_6 + 2\text{MgCO}_3$ (Di+Jd+2Mgs); $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6 + \text{Na}_2\text{Mg}(\text{CO}_3)_2$ (Di+Na2Mg); and $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6 + \text{K}_2\text{Mg}(\text{CO}_3)_2$ (Di+K2Mg) [2]. The Di+2Mgs system begins to melt at 1400 °C via the approximate reaction $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ (clinopyroxene) + 2MgCO_3 (magnesite) = $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (liquid) + $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ (orthopyroxene), which leads to an essentially carbonate liquid (L) with composition $\text{Ca}_{0.56}\text{Mg}_{0.44}\text{CO}_3$ + 3.5 mol% SiO_2 . The initial melting of the Di+Jd+2Mgs system occurs at 1350 °C via the reaction $2\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ (clinopyroxene) + $2\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ (clinopyroxene) + 8MgCO_3 (magnesite) = $\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ (garnet) + 5MgSiO_3 (clinopyroxene) + $2\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (liquid) + Na_2CO_3 (liquid) + 3CO_2 (liquid and/or fluid), which yields the carbonate liquid with approximate composition of $10\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 90\text{Ca}_{0.5}\text{Mg}_{0.5}\text{CO}_3$ + 2 mol% SiO_2 . The systems Di+Na₂Mg and Di+K₂Mg start to melt at 1100 and 1050 °C, respectively, via the reaction $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ (clinopyroxene) + $2(\text{Na or K})_2\text{Mg}(\text{CO}_3)_2$ (solid) = $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ (orthopyroxene) + $(\text{Na or K})_4\text{CaMg}(\text{CO}_3)_4$ (liquid). The resulting melts have the alkali-rich carbonate compositions $\text{Na}_2\text{Ca}_{0.4}\text{Mg}_{0.6}(\text{CO}_3)_2$ + 0.4 mol% SiO_2 and $43\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 57\text{Ca}_{0.4}\text{Mg}_{0.6}\text{CO}_3$ + 0.6 mol% SiO_2 . These melts do not undergo significant changes as temperature rises to 1400 °C, retaining their calcium number and a high Na_2O , K_2O , and low SiO_2 . We suggest that the clinopyroxene–Mg-carbonate reaction controlling the solidus of carbonated lherzolite is very sensitive to the carbonate composition and shifts from 1400 to 1050 °C at 6 GPa, which yields K-rich carbonate melt if the subsolidus assemblage contains the $\text{K}_2\text{Mg}(\text{CO}_3)_2$ compound. Such a decrease in solidus temperature has been previously observed in the K-rich carbonated lherzolite system. Although a presence of eitelite, $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{CO}_3)_2$, has a similar effect, this mineral cannot be considered as a potential host of Na in carbonated lherzolite, because the whole Na added into the system dissolves as jadeite component in clinopyroxene if bulk $\text{Al}/\text{Na} \geq 1$. The presence of jadeite component in clinopyroxene has little impact on the temperature of the solidus reaction decreasing it to 1350 °C at 6 GPa.

The work was supported by supported by Russian Science Foundation (project no. 14-17-00609-IT).

References:

1. Dalton, J.A., and Presnall, D.C. (1998) Carbonatitic melts along the solidus of model lherzolite in the system $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CO}_2$ from 3 to 7 GPa. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 131(2-3), 123-135.
2. Shatskiy, A., Podborodnikov, I.V., Arefiev, A.V., Litasov, K.D., Chanyshv, A.D., Sharygin, I.S., Karmanov, N.S., and Ohtani, E. (2017) Effect of alkalis on the reaction of clinopyroxene with Mg-carbonate at 6 GPa: Implications for partial melting of carbonated lherzolite. *American Mineralogist*, 102(9), 1934-1946.

THE DOVYREN INTRUSION: STRUCTURE, FORMATION AND HISTORY OF SULFIDE SATURATION OF PARENTAL MAGMAS

Ariskin A.A.¹, Barmina G.S.², Bychkov K.A.¹, Kislov E.V.³, Korost D.V.¹,
Nikolaev G.S.², Pshenitsyn I.V.¹, Sobolev S.N.¹

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
ariskin@rambler.ru

² Vernadsky Institute, Moscow, Russia

³ Geological Institute, Ulan-Ude, Russia

The Yoko-Dovyren layered massif (YDM or Dovyren intrusion, Northern Baikal region) is a part of 728 Ma Dovyren Intrusive Complex, including the YDM, associated mafic-ultramafic sills, and dykes of olivine-rich to olivine-free gabbro-norite. The major intrusion includes a succession of olivine orthocumulates to Ol-Pl and gabbroic adcumulates, demonstrating C-shaped distribution of incompatible elements, so that rocks from the inner horizons are 3-5 fold depleted in with respect to the relatively thin contact zones. This evidences an open-system behavior of the Dovyren chamber, assuming that 60-70% of basaltic melts had to have been expelled from the chamber during its consolidation. This should be taken into account, if one tries to understand the origin of several types of sulfide mineralization within the YDM (including PGE-reefs), as well as the formation of a sub-economic Cu-Ni sulfide deposit related to the gabbroic dykes and ultramafic sills below the lower contact of the YDM [1,3]. To recover conditions of the formation of the sulfide mineralization, we used the capability of the COMAGMAT-5 model to simulate crystallization of sulfide-saturated olivine cumulates [2].

Modeling parental magmas and sulfide compositions. Comparisons of complete cross-sections of the YDM in the center and its margins demonstrate differences in the geochemical structure that reflect variations in parental magma compositions. Combining petrochemical reconstructions for most primitive rocks and calculations using the COMAGMAT-5, it is shown that the central and peripheral parts of the intrusion formed by olivine-laden parental magmas ranged in their temperatures by 100°C, approximately from 1290°C (~11 wt% MgO, olivine Fo88) to 1190°C (~8 wt% MgO, olivine Fo86). Thermodynamic modelling for a chilled picrodolerite (Ol-orthocumulate containing 0.05 wt% S and 24.4 wt% MgO) suggests that the most primitive high-Mg magma was S-undersaturated, whereas its derivatives became S-saturated at T<1240-1200°C. To evaluate probable evolution of the original immiscible sulfide liquid, we combined these results with known sulfide-silicate melt partition coefficients. The modeled trajectory has been compared with average ‘most primitive sulfides’ from a chilled gabbro-norite and basal plagioperidotites, calculated from pre-determined proportions of Po-Pn-Cpy-Cub and their average trace element concentrations obtained by LA-ICP-MS [1]. The calculated Cu/Pd vs. Pd values were found to match closely several natural bulk sulfide compositions. However, overall, our modeling predicts much higher concentrations of Pd and particularly Au and Pt than what is observed in the samples. To resolve the program, we performed similar comparisons with the 100%-sulfides, calculated from the whole-rock compositions. In this case, modeling results match most primitive sulfide compositions observed in the basal zone of the YDM. Further reconstruction was aimed at the sulfide crystallization history, starting from separation of a PGE-depleted MSS. Results of these calculations demonstrate a close match of the modeled ISS-like liquid residues with Cu-rich PGM-containing sulfides occurred in the Main Reef.

This work was supported by the Russian Science Foundation (RSF, grant No. 16-17-10129).

References:

1. Ariskin A.A., Kislov E.V., Danyushevsky L.V., et al. (2016): Cu-Ni-PGE fertility of the Yoko-Dovyren layered massif (Northern Transbaikalia, Russia): thermodynamic modeling of sulfide compositions in low mineralized dunite based on quantitative sulfide mineralogy // *Mineralium Deposita*. V. 51. P. 993-1011.
2. Ariskin A.A., Bychkov K.A., Nikolaev G.S., Barmina G.S. (2018): The Comagmat-5: modeling the effect of Fe-Ni sulfide immiscibility in crystallizing magmas and cumulates // *Journal of Petrology*. egy026. <https://doi.org/10.1093/petrology/egy026>.
3. Ariskin A., Danyushevsky L., Nikolaev G., et al. (2018): The Dovyren Intrusive Complex (Southern Siberia, Russia): Insights into dynamics of an open magma chamber with implications for parental magma origin, composition, and Cu-Ni-PGE fertility // *Lithos*. V. 302. P. 242-262.

FORMATION OF DUNITE MICRO-XENOLITHS IN KIMBERLITES; PETROGRAPHIC OBSERVATIONS AND MINERAL COMPOSITIONS

Nicholas Arndt¹, Carole Cordier¹, Anne-Marie Boullier¹, Valentina Batanova¹, Troels Nielsen²

¹ ISTerre, University Grenoble Alpes
nicholas.arndt@univ-grenoble-alpes.fr

² GEUS,
tfn@geus.dk

Kimberlites carry a dense cargo of olivine. Although normally referred to as "macrocrysts", at many locations much of this olivine is present in the form of intact or disaggregated multi-grain micro-xenoliths of dunite. The best evidence of a xenolithic origin is found in textures and fabrics within olivine grains, which are best seen in petrographic studies, particularly under crossed nicols. Dislocation structures in olivine grains and mobile grain boundaries between grains record deformation in the solid state in the presence of fluid, such as would occur in the lithosphere. Other olivine habits, such as subhedral non-deformed tablets, result from recrystallization during transit of kimberlite magma to the surface.

Within individual micro-xenoliths, olivine compositions are very constant, but the population as a whole displays a large variation in Fo content accompanied by lesser variation in Ni and other minor elements. In contrast, in thin marginal zones surrounding dunitic micro-xenoliths and isolated olivine grains in the kimberlite matrix, the Ni content plummets as Fo content remains nearly constant. These olivine margins are believed to have crystallized directly from the kimberlite melt. If a high Ni partition coefficient is adopted, crystallization of olivine alone, without opx dissolution, can explain the trends.

From these results we propose that almost all olivine in kimberlites, with the exception of the marginal zones, was derived from fragments of dunite that was produced during interaction between mantle peridotite and CO₂-rich fluid from the asthenosphere, a process that removed silicate minerals other than olivine produced silica-bearing kimberlite melt. The entire range of olivine compositions within dunitic micro-xenoliths results from this interaction and there is little evidence that any kimberlitic olivine was derived from disaggregation of fragments of normal mantle peridotite.

WATER IN THE ARCHAEOAN KOMATIITES: RESULTS OF THE MELT INCLUSION STUDIES.

Asafov E.V.¹, Sobolev A.V.^{1,2}, Gurenko A.A.³, Portnyagin M.V.^{1,4}, Arndt N.T.²,
Batanova V.G.^{1,2}, Krashenninnikov S.P.¹

¹ Vernadsky Institute, Moscow, Russia

evasafov@gmail.com

² ISTERRE, Grenoble, France

³ CRPG, Nancy, France

⁴ GEOMAR, Kiel, Germany

Komatiites are the ultramafic volcanic rocks that were first described as distinct type of rocks in the Komati Formation of the Barberton Greenstone Belt (South Africa)[1]. Komatiites contain more than 18 wt.% MgO and result from the decompression mantle melting under extreme pressures and temperatures. These volcanic rocks are predominantly related to the Archaean terrains and are typically recognized by the spinifex textures – dendritic olivine or pyroxene crystals that formed due to temperature gradient in the rapidly quenching komatiite lava flows. Though komatiite magmas are generally considered as extremely hot and dry, the mode of their origin and initial volatile contents in the komatiite magmas are still debated [2,3,4]. High MgO contents of the komatiites coupled with the high eruption temperatures suggest the high degrees of mantle melting and, overall, higher mantle temperatures in the Archaean. Thus, incompatible element geochemistry of komatiites reflects the composition of their mantle source and puts additional constraints on the Earth's cooling history. Still, there are several problems concerning the interpretation of the komatiite geochemistry.

The first problem is that most of the reported komatiites were significantly altered and metamorphosed after the eruption and the volcanic glass in the komatiites is devitrified or replaced by secondary phases and geochemists are lacking the direct information on the volatile contents in komatiite magma. In this case the best proxies for reconstructing the original melt compositions are the melt inclusions trapped in the unaltered magmatic minerals. And the second problem is that can we rely on the data obtained from the melt inclusions and how can we prove that they reflect the original melt composition?

Here we report the state of the art research on the melt inclusions in olivine from the 2.7 Ga Abitibi (Canada) and Belingwe komatiites (Zimbabwe) [3,4] and 3.3 Ga Weltevreden komatiites (South Africa). The analytical data obtained by SIMS (secondary ion mass spectrometer) demonstrates the presence of significant amounts of water in the trapped melts. These suggest that the original liquids contained H₂O (up to 0.6 wt.% H₂O) depressing the liquidus temperatures by ca. 40-50 °C compared to the dry estimates. The presence of water in the komatiite magma is also confirmed by the indirect Sc/Y olivine-melt temperature estimates. However, the strong enrichment of the evolved melt inclusions in the FeO rich olivines with chlorine reflects possible contamination of the komatiite magma with the crustal material at the late stages of crystallization.

The work was supported by the Russian Science Foundation (project No. 14-17-00491)

References:

1. Viljoen, M. J., and R.P. Viljoen.(1969): The geology and geochemistry of the lower ultramafic unit of the Onverwacht Group and a proposed new class of igneous rocks// Geol. Soc. SA Spec. Pub. 2. P. 55-86.
2. Arndt, N., Ginibre, C., Chauvel, C., et al. (1998): Were komatiites wet? Geology, 26(8). P. 739-742.
3. Sobolev, A.V., Asafov, E.V., Gurenko, et al. (2016): Komatiites reveal a hydrous Archaean deep-mantle reservoir. Nature, 531(7596). P. 628-632
4. Asafov, E. V., Sobolev, A. V., Gurenko, et al. (2018): Belingwe komatiites (2.7 Ga) originate from a plume with moderate water content, as inferred from inclusions in olivine. Chem.Geol., 478, 39-59.

MODELS OF MANTLE STRUCTURE BENEATH SIBERIAN CRATON ACORDING TO KIMBERLITE XENOLITH AND XENOCRYSTS

Ashchepkov I.V.¹, Travin S.V.¹, Spetsius,² Ivanov A.S. ,² Vladykin N.V.³

¹IGM SB RAS, igor.ashchepkov@igm.nsc.ru

²Vienna University, theodoros.ntaflos@univie.ac.at

³ALROSA Company, SpetsiusZV@alrosa.ru

⁴IGC SB RAS, vlad@igc.irk.ru

Large number of the xenolith from Daldyn and Alakite regions (Udachnaya, Zarnitsa, Dalnyaya, Komsomolskaya, Sytykanskaya - new original data) [1, 2, 3] and xenocrysts were used to reconstruct the mantle column beneath the Siberian craton with the mono- and polymineral methods [2]. In Daldyn region the step structure of the mantle section and geotherm is common while in Alakite and regions where the metasomatic associations prevail the geotherm are smooth. Similarity of the inclinations and left part TRE spectrums for the Cpx (and Gar) for the separate mantle terrains and individual pipes evidences for the formation of geochemical features due to the focused melt flows mainly during the super plum events. Some association reveals the disequilibrium between Cpx and Gar. The time of the hydrous mantle metasomatism is higher for the Daldyn region is much older and refer to the spinel facie of mantle while for Alakit to all mantle column with oldest at the top.

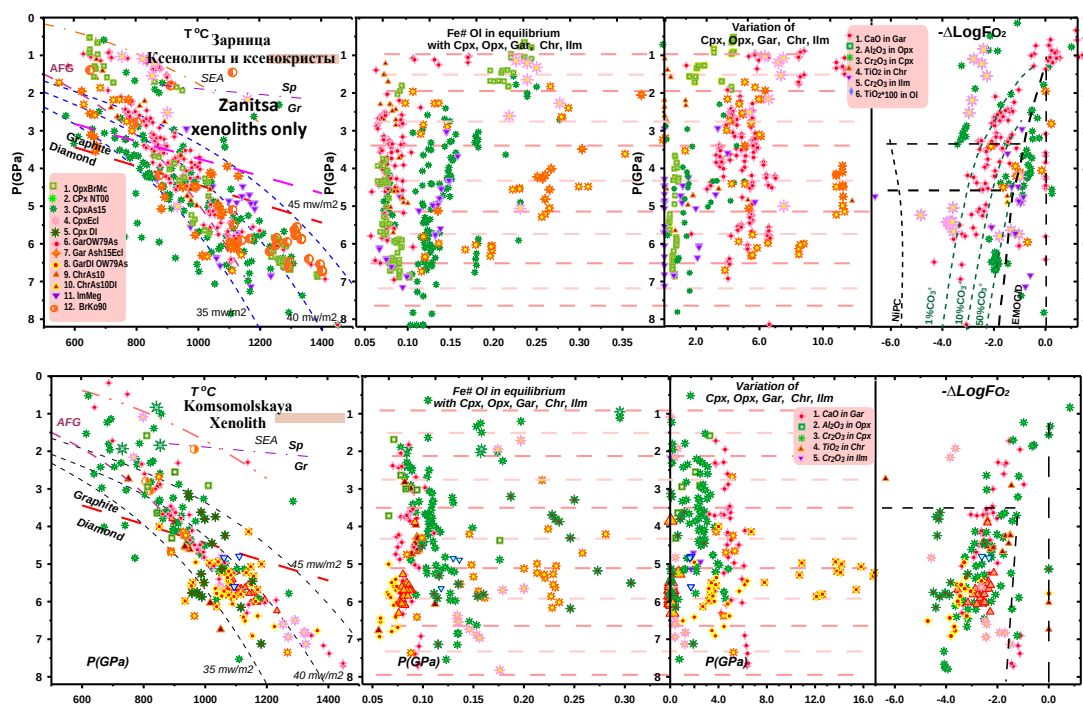


Fig.1. PTX diagrams and structure of mantle columns beneath Zarnitsa and Komsomolskaya pipes according to xenoliths data. Symbols sets see [1,2]

Supported by the RBRF project № 16-05-00860 and Project of Presidium SB RAS № 0330-2016-0010

References:

1. Ashchepkov I.V., Logvinova A.M., Ntaflos T., Vladykin N.V., Downes H. (2017) Alakit and Daldyn kimberlite fields, Siberia, Russia: Two types of mantle sub-terrane beneath central Yakutia?// *Geoscience Frontiers*, V. 8, № 4, P. 671-692.
2. Ashchepkov I.V., Ntaflos T., Logvinova A.M., Spetsius Z.V., Vladykin N.V. Monomineral universal clinopyroxene and garnet barometers for peridotitic, eclogitic and basaltic systems.// *Geoscience Frontiers*, V 8, № 4, 2017, P. 775-795
3. Ashchepkov I.V., Agashev A.M., Logvinova A.M., Kuligin S.S., Tychkov N.S., Vavilov M.A., Minin V.A., Ovchinnikov Y.I., Tolstov A.V., Vladykin N.N., Kostrovitsky S.I., Alymova N.V., Ntaflos T., Prokopiev S.A., Salikhov R.F., Stegnitsky Y.B., Karpenko M.A., Shmarov G.P., Downes H., Smelov A.P., Babushkina S.A. Layering of the lithospheric mantle beneath the siberian craton: modeling using thermobarometry of mantle xenolith and xenocrysts // *Tectonophysics*. V.634, № 4, P.55-75.

TO A NEW "THE WORLD OF NEGLECTED DIMENSIONS"

Askhabov A.M.

IG Komi SC UrB RAS, Syktyvkar
xmin@geo.komisc.ru

More than a hundred years ago Professor W. Ostwald from the University of Leipzig published his book entitled "The world of neglected dimensions" [1]. The book has set forth the program of a research breakthrough into the world of microscopic particles, implying that this was a science in its own right called colloid chemistry. The Ostwald's appeal resonated with the researchers. In the first years that followed, there was an impressive breakthrough in the colloidal particles study. In 1925-1926 R. Zygmondi ("opened access to the world of inaccessible sizes") and T. Svedberg together with J. Perren (for a breakthrough in the "world of discrete particles") were awarded the Nobel Prize.

However, W. Ostwald's program was not fully implemented due to the instrumental limitations. A new stage of the invasion into "the world of neglected dimensions" began at the end of 20th century and was associated with the outstanding discoveries in the 80s (the discovery of superatoms, fullerenes, the appearance of new tools, etc.). The main object at this stage was nanosized particles and physicochemical processes at the nanoscale. This stage sufficiently affected the development of the sciences of matter, materials science, crystallography and mineralogy. The agenda raised the question of the development of new sciences, including nanomineralogy.

The scientific community recognized the unique character of phenomena and processes in the nanoworld, the specific properties of nanoobjects, and sharply intensified research in this interdisciplinary area. There is no doubt that scientific intervention in the nanoworld, especially in the applied aspects of the development of nanoscience (nanotechnology), has political support as well (national nanotechnology initiatives), and this circumstance to a very important extent determines the features of the current stage of micro- and nano-investigations of the substance that arose on this basis nanotechnology boom. It is no exaggeration to say that nano has become the "road map" of modern science.

Substantial advance in understanding the properties of the nanoworld is attributed to the development of the quataron concept [2-4], which, in particular, surprisingly simply solved the problem of the nucleation and growth of crystals.

Recognizing quite successful and promising character of the current stage of mineralogical invasion into "the world of neglected dimensions," we note that it is time to develop a new program of exploratory breakthrough into the world of objects and processes accessible to study in the range from the sizes of individual atoms and molecules to the first mineral individuals (nanoindivides). This protomineral world is today a new "world of neglected dimensions". It is worth noting that not only a theoretical basis has been established for its conquest, but an appropriate experimental toolkit is also being created. In particular, promising outlook for studying the protomineral world is related to the newly introduced European free-electron laser.

The work was carried out with partial financial support of the basic research program of the UrB RAS (Project No. 18-5-5-44).

References:

1. Ostwald B. The world of onsolete quantities. Introduction to modern colloid chemistry with an overview of its applications. Moscow: Publishing House "Mir", 1923. 228 p.
2. Askhabov A. M. Cluster (quataron) self-organization of matter at the nano level and the formation of crystalline and non-crystalline materials, Zap. WMO. 2004. № 4. P. 108-123.
3. Askhabov AM Quartaron concept: basic ideas and some applications // Izvestiya Komi NTs UB RAS. 2011. № 3. P. 70-77.
4. Askhabov, AM Quartaron models of crystal nucleation and growth, ZRMO. 2016. № 5. P. 17-24.

COMPOSITION OF CLINOPYROXENE AND SPINELIDES FROM THE KIMOZERO KIMBERLITES (KARELIA)

Azarova N.S.¹, Bovkun A.V.¹, Nosova A.A.², Garanin V.K.¹, Hong H.L.³

¹ Geological Faculty of Lomonosov Moscow State University,

nadiya-azarova@mail.ru

²IGEM RAS,

nosova@igem.ru

³ Faculty of Earth Sciences CHSU, China,

honghl8311@yahoo.com.cn

The Early Proterozoic Kimozero kimberlites located within the Karelian craton are the most ancient primary manifestations of diamondiferous rocks. The age of their formation corresponds to 1986 ± 4 Ma [1]. The major indicator minerals of these kimberlites are chromspinelides and ilmenite with minor amounts of pyrope and clinopyroxene [2].

The composition of clinopyroxene and chromspinelides (37 and 50 grains, respectively) from the heavy fraction of the Kimozero kimberlites has been studied. The concentrations of microimpurities are determined using the LA-ICP-MS method at the SampleSolution Laboratory (China, Wuhan).

Clinopyroxene is represented by chrome-diopside ($Mg\# = 84.6-93.7$, $Ca = 44.6-49.7$) containing (wt.%) 0.5-3.5 Cr_2O_3 , 0.3-2.2 Al_2O_3 , 1-2.6 Na_2O , up to 0.4 TiO_2 , which is compositionally similar to chrome-diopside from equigranular lherzolites, websterites and pyroxenites ($\pm$ ilmenite) [3]. Most of the studied clinopyroxenes have similar REE spectra, however, they are sharply depleted in HREEs relative to LREEs. The majority of grains have the $(La/Yb)_n$ ratio equal to 5.1-28.7 (CI chondrite-normalized), while individual grains are more intensively depleted in heavy REEs ($(La/Yb)_n = 88.7-233.9$, occasionally up to 637.4). The REE distribution spectra for the majority of grains are dome-shaped in the LREE area). Typically, the $(La/Ce)_n$ and $(La/Pr)_n$ ratios are <1 . The values of $(Dy/Yb)_n$ and $(Gd/Er)_n$ (2.6-10.7 and 2.6-8.5, respectively) are typically high.

About 12% of the studied chromspinelide grains ($Cr\# = 81-93$, up to 0.6 wt.% TiO_2 , 10-13 wt.% MgO) correspond to the magnesiochromite of diamondiferous dunites and harzburgites. Chromspinelides of lherzolite paragenesis are prevalent, varying in composition ($Cr\# = 66-93$, up to 2.6 wt.% TiO_2 , 9.7-13.5 wt.% MgO). Part of the grains (about 8%) are enriched in TiO_2 (3.7-4.8 wt.%) and Fe_2O_3 , $Cr\# = 81-94$. The most Cr-enriched chromspinelides are characterized by an elevated Ni content (440-1100 ppm). A higher Ni content (1100-1330 ppm) is noted for low-Cr varieties. The positive dependence between the contents of Ni and TiO_2 , Ni and FeO, Ga, and Ni was revealed. The peripheral zones of the most of spinel grains are characterized by drastically decreased MgO and increased FeO contents and appearance of MnO and ZnO impurities.

References:

1. Samsonov A.V., Larionova Yu.O., Salnikova E.B. et al. (2009) Isotope geochemistry and geochronology of Paleoproterozoic kimberlites of the Kimozero manifestation (Karelia). In: Mat. IV Russ. Conf. Isotope. Geochronol. Snt, P. 158-161.
2. Ustinov V.N., Zagainy A.K., Smith K.B. (2009) Early Proterozoic diamondiferous kimberlites of Karelia and specific features of their formation // Geology and Geophysics. V. 50. № 9. P. 963-977.
3. Arkhangelsk diamondiferous province (Geology, Petrography, Geochemistry and Mineralogy) / Ed. OA Bogatikova, Moscow: Moscow State University, 1999, 524 p.

SPINELIDE AND ILMENITE INCLUSIONS IN PHLOGOPITES FROM THE MALOKUONAPSKAYA PIPE

Babushkina S.A.

DPMGI SB RAS

ssta@list.ru

The Malokuonapskaya pipe, which is located in the Kuranakh kimberlite field, is characterized by subcommercial diamond content. Micas from the unaltered kimberlite breccia of the northern ore column belong to the low (<1 wt.%) and high-titanium (2.76-5.66 wt.% TiO₂) varieties. Two groups of phlogopites are distinguished by FeO content among the first variety: low-iron (2.48-3.58 wt.%) and with an elevated iron content (7.08-8.33 wt.%). The high-Ti varieties are also distinguished into two groups of micas with FeO contents (mas.%) 4.63-7.83 and 8.51-16.39. The maximum Cr₂O₃ content amounts up to 1.05 wt.%.

Almost all grains contain crystalline inclusions represented by picroilmenites (occasionally chromic). No magnesian-free or low-magnesian ilmenites have been found. Spinelides of various compositions are also widely distributed, varying from high-chromium varieties (max Cr₂O₃ 55 wt.%) to titanomagnetites. Inclusions are found in all groups of micas, except for the highly titanitic and the most highly ferrous ones.

One picroilmenite grain (intergrowth with phlogopite) has the inclusion of highly ferruginous olivine (Fig.) whose compositions are given in the Table.

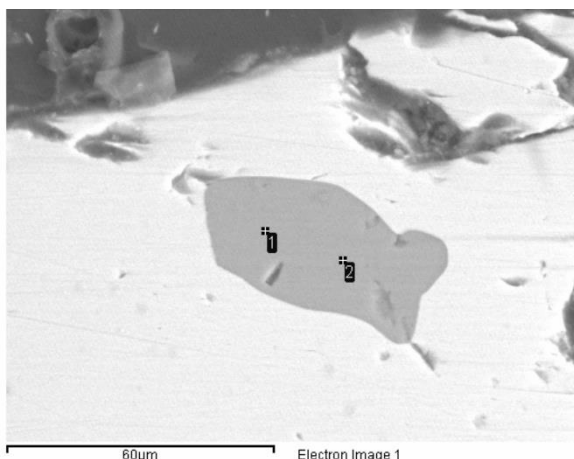


Fig. Inclusion of olivine (dark) in picroilmenite (light).

Table. Microprobe compositional analyses of picroilmenite and olivine inclusions

Mineral	SiO ₂	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	FeO	MgO	Total
ilmenite	—	48.75	2.40	38.97	9.19	99.32
olivine	36.65	0.76	—	17.89	43.99	99.19

The work was carried out within the framework of the FSR program "Evolution of the Earth crust of the Northern Asian craton, basite-ultrabasic and kimberlite magmatism, diamond content of the Yakutiam kimberlite province" (No. 0381-2016-0003).

IRON CARBIDE AS ONE OF THE SOURCES OF ELEMENTAL CARBON FOR GRAPHITE AND DIAMOND FORMATION AT THE CONDITIONS OF THE LITHOSPHERIC MANTLE

Bataleva Y.V. ¹, Palyanov Y.N. ¹, Borzdov Y.M. ¹

¹ IGM SB RAS
bataleva@igm.nsc.ru

Iron carbide (Fe_3C , cohenite) is the most likely host of carbon at the conditions of the reduced domains of the lithospheric mantle. Experimental modelling of carbon-producing processes of cohenite interaction with reduced and oxidized fluids, and with mantle silicates, sulfides and oxides is motivated by the importance of the problem of determining the source of carbon in the processes of natural diamond formation. Experimental investigations were carried out for 20-60 h using multi-anvil split sphere type high-pressure apparatus (BARS) in the carbide-sulfur, carbide-sulphide, carbide-oxide and carbide-oxide-carbonate systems at 6.3 GPa and 900-1600 °C. It was found that the interaction of iron carbide with predominantly sulfur fluid or pyrite at $T \leq 1100$ °C leads to the extraction of carbon from carbide and the formation of graphite in association with pyrrhotite. At higher temperatures, the crystallization of graphite is accompanied by the generation of sulphide and metal-sulphide melts. It was established that in the metal-sulphide melt at $T \geq 1500$ °C not only graphite crystallizes, but diamond growth also occurs [1].

It has been experimentally demonstrated that the carbide-oxide interaction leads to the formation of graphite in association with ferrous orthopyroxene or garnet, wustite and cohenite (1100 and 1200 °C), and Fe-C-O melt (1300-1500 °C). The main processes in the systems at 1100 and 1200 °C are the oxidation of cohenite, the extraction of carbon from carbide and the crystallization of metastable graphite, and the formation of ferrous silicates [2]. At $T \geq 1300$ °C, graphite crystallization and diamond growth results from the redox interaction of predominantly metallic melt (Fe-C-O) with oxides and silicates, as well as intergranular fluid. As a result of experiments in the carbide-oxide-carbonate system, the formation of the association of graphite and mantle silicates (garnet or orthopyroxene) with inclusions of the Fe-C melt and graphite was established. It has been experimentally shown that the main processes of interaction in the system can be described by decarbonation reactions, and carbon-producing redox reactions of iron carbide with CO_2 -fluid. These processes can occur locally under natural conditions, when the oxidized crustal material is subducted into metal-containing rocks of the reduced mantle. It was experimentally proved, that the selective capture of metallic melt and graphite inclusions by silicates, that are stable in the presence of CO_2 fluid, is one of the potential mechanisms for preservation of the metallic phase and elemental carbon in mantle domains, undergoing alteration by agents of oxidative metasomatism.

The obtained results allow to consider cohenite (Fe_3C) as a potential source of carbon in the graphite and diamond crystallization processes at the conditions of the reduced lithospheric mantle, and the interaction of iron carbide with mantle fluids, silicates, oxides and sulphides, during which carbon extraction occurs, as possible processes of the global carbon cycle.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 16-35-60024), as well as within the state assignment (project № 0330-2016-0007).

References:

1. Bataleva Y.V., Palyanov Y.N., Borzdov Y.M. et al. (2017): Iron carbide as a source of carbon for graphite and diamond formation under lithospheric mantle P-T parameters // *Lithos*. V. 286-287. P. 151-161.
2. Bataleva, Yu. V.; Palyanov, Yu. N.; Borzdov, Yu. M. et al. (2018): Formation of the Fe,Mg-Silicates, Fe-O, and Graphite (Diamond) Assemblage as a Result of Cohenite Oxidation under Lithospheric Mantle Conditions // *Doklady Earth Sciences*. V. 479. Iss 1. C. 335-338.

CHARACTERISTICS OF GROWTH ZONING OF DIAMONDS FROM KIMBERLITES IN DIFFERENT YAKUTIAN DISTRICTS

Bogush I.N., Spetsius Z.V., Pomazanskiy B.S.

SRGE JSC ALROSA

BogushIN@alrosa.ru

The internal structure and distribution of structural defects within the volume of diamond crystals provide insight into the specific conditions of their formation [1, 2]. To establish features of diamond genesis in different Yakutia districts, about 100 crystals from the current diamond production of the Mir, Nyurbinskaya, Udachnaya, Yubileinaya, and Aikhal pipes have been analyzed. For examination we selected the -7 + 6 (SITY) class diamond crystals of octahedral and rhombododecahedral habit attributing to variety 1 according to the classification proposed by Orlov [3], which were visually zoned in UV rays. Plane-parallel plates of 0.3-0.9 mm thick nearly intersecting their geometric center, were prepared of diamond crystals. To reveal specific features of the crystal internal structures the following methods were used: cathodoluminescent topography, polarized light, luminescent spectroscopy, and Fourier infrared microscopy with detailed mapping (with step about 50 μm).

According to the boundaries of the cathodoluminescent topograms and the photoluminescence (PL) color, two growth zones were identified in the most studied plates of diamonds but crystals with three zones varying in spectral properties were found as well. IR examination of plates of almost all diamonds from these pipes showed a drastic increase in the concentration of hydrogen impurity at the beginning of a new growth zone and its subsequent decrease to zero. In addition, crystals contain zones with a gradual decrease in the nitrogen impurities during growth process. However, no correlation is observed between the contents of nitrogen and hydrogen impurities even for one primary source at different stages of diamonds crystallization. The increased content of impurities at the beginning of the growth process and its decrease towards the completion of growth is probably due to the gradual depletion in the diamond-generating medium by nitrogen and hydrogen, which, in our view, is indicative of a change in redox conditions during the successive stages of diamond crystallization.

The cathodoluminescent images of diamond plates from different deposits frequently show intense traces of dissolution in the central zone. In this zone one can observe a gradual decrease in high aggregation state of nitrogen from high values (2500 at. ppm in some crystals with more than 90% in the B form) up to 150-200 at. ppm. It is characterized by intense blue PL. A wide occurrence of such zones in diamonds from various Yakutian deposits suggests a large scale of this diamond formation stage followed by dissolution at a certain time span. Diamonds from different deposits also show low nitrogen zones (from 50 at. ppm up to 10 at. ppm) with weak photoluminescence. Diamonds from the Mir and Nyurbinskaya pipes have such zones basically in small central parts, while in crystals from the Udachnaya, Yubileinaya, and Aikhal pipes they are of wide occurrence and distribution in the intermediate and periphery parts. Frequently, in the crystals from the Udachnaya, Yubileinaya, and Aikhal pipes, this peripheral zone overgrew the above zone with intense dissolution. Diamond crystals from the kimberlites of the Mir and Nyurbinskaya pipes are represented typically by late generations of N-rich diamonds with little aggregation, with pink or violet PL. These are precisely the diamonds which were responsible for the diamond content of the highly productive pipes in these regions.

Results of our studies revealed both the similarities and stages of diamond growth zoning from various Yakutian provinces, providing evidence for regional specifics of diamond formation processes at different geological stages and differences defining their typomorphism.

References:

1. Beskrovanov V.V. (2000): Ontogeny of diamond. Novosibirsk: Nauka, 264 p.
2. Zaitsev A.M. (2001): Optical properties of diamond: A data handbook. Springer Berlin Heidelberg, 502 p.
3. Orlov Yu.L. (1984): Mineralogy of diamond. M.: Nauka, 1984, 264 p.

EPOCHS OF DIAMONDIFEROUS MAGMATISM IN SUPERCONTINENTAL CYCLES

Bozho N.A.

Geological Faculty of Lomonosov Moscow State University
bozhko@yandex.ru

Relationship between the occurrences of diamondiferous magmatism and supercontinental cycles was generally reported in works of many researches most of whom attributed these occurrences to the supercontinents breakup. Here this issue is considered in terms of the supercontinental cycle of 400 Ma long consisting of two stages and four phases, which was developed by the author. The stages reflect changes in the two states of the Earth: 1) one continent - one ocean and 2) several continents - several oceans. Each of these stages consists of two phases. The first stage consists of the agglomeration phase (90 Ma long) including integration, "adhesion" of parts of newly-formed supercontinent and the attachment of the last minor continental fragments, and the destruction phase (70 Ma long) characterized by the development of continental rifting. The second stage involves the phase of supercontinent breakup and the formation of "young" oceans (90 Ma) and the phase of its assembly (160 Ma) which is dominated by subduction and collision processes. A continuous sequence of seven above mentioned cycles during the last 3 billion years of the Earth's history resulted in the cyclicity represented by alternating formation and breakup of continents. Analysis of modern data on kimberlite and lamproite dating has revealed the following regularities:

Diamondiferous magmatism in the Earth's history was controlled by supercontinental cyclicity which occurred unevenly at all stages and phases of the supercontinental cycle in different geodynamic settings.

Formation of kimberlites and lamproites mostly occurred during the phases of breakup and assembly of supercontinents. This is true also for commercial diamond content which may appear during each of these phases. Thus, diamondiferous deposits of the Siberian platform formed during Pangaea aggregation, while Cretaceous kimberlites of the Kaapvaal Craton, South Africa, formed during the disintegration stage.

The stage of existence of unified supercontinents is characterized by small amounts of dated kimberlites and lamproites confined mainly to its final stage at the boundary of breakup stage.

Analysis of the world data on occurrences of diamondiferous magmatism in the Earth's history, in view of the mentioned regularities, allowed us to distinguish the following epochs of active diamondiferous magmatism (Ma):- 2885-2720, 2570-2320, 2170-1920, 1720-1520, 1370-1120, 970-720, 520-320, 170-(+80); epochs of its moderate and minor occurrences - 2610-2570, 2230-2170, 1830-1770, 1430-1320, 1030-970, 630-570, 230-170, and epochs of practical absence of diamondiferous magmatism are 2720-2610, 2320-2230, 1920-1830, 1520-1430, 1120-1030, 720-630, 320-230.

Diamondiferous magmatism in individual supercontinental cycles of the Earth has formed against the background of general evolutionary trend: an increase in the activity of this magmatism over time with a dramatic jump in late Proterozoic which is consistent with the changes in the cyclicity itself resulting in the appearance of such megacontinents as Gondwana and Laurasia during the break up of Rodinia.

The established features of the diamondiferous magmatism in supercontinental cyclicity can be used as an additional criterion for forecasting of the regional diamond content.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE INTERACTION BETWEEN THE REDUCED FLUID AND BASALT MELT UNDER THE EARTH'S CRUST CONDITIONS

Persikov E.S., Bukhtiyarov P.G., Nekrasov A.N.

IEM RAS
pavel@iem.ac.ru

Following up upon our previous investigations [1], we carried out experimental study of the kinetics and interaction mechanisms in the reduced fluid (H₂, CH₄) - basalt melt system at a fluid pressure of 100 MPa and temperature range from 1200 to 1300°C. The experiments were performed using original high-pressure gas device. The kinetic experiments showed that despite the high reduction potential of the reduced fluid-melt system, the fluid oxidation reactions and the complete reduction of Fe oxides in the melt do not proceed to completion. As a result, the initially homogeneous basaltic melt becomes heterogeneous with formation of small liquid-like metal segregations of various structures (Fig.1).

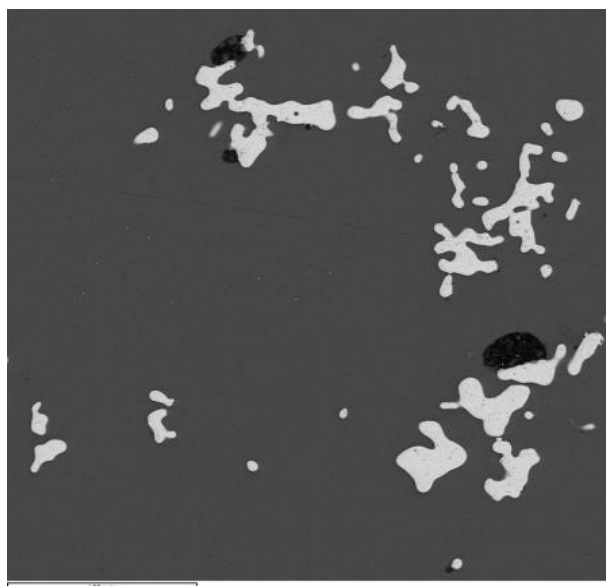


Fig. 1. Morphostructure of metallic iron in the basalt melt as a result of interaction with hydrogen (white color is metallic iron, black color is basalt glass, run 2100, P(H₂) = 100 MPa, T = 1250°C, duration of run is 5 hours.

Such Fe structures are apparently not indicative of iron melting under the hydrogen pressure at temperatures of ~290°C lower than the melting point of pure iron at atmospheric pressure. This seems to be unreal. It is not ruled out that such iron structures may form as a result of aggregation of reduced iron atoms due to surface tension forces in the basalt melt. This experimentally established fact is in a good agreement with the natural finding of small amounts of metallic phase, specifically iron, in magmatic rocks of various composition and genesis.

The work was supported by the Presidium of the Russian Academy of Sciences (program No. 19).

References:

1. E.S. Persikov, P.G. Bukhtiyarov, S.F. Polskiy, A.S. Chekhmir (1986): Interaction of hydrogen with magmatic melts // In: Experiment in Solving Current Problems of Geology, Moscow: Nauka, 437 p.

GEOCHRONOLOGY AND CONDITIONS RESPONSIBLE FOR THE FORMATION OF DIAMONDIFEROUS METAMORPHIC ROCKS OF THE KOKCHETAV SUBDUCTION-COLLISION ZONE

Buslov M.M., Travin A.V.

IGM SB RAS

buslov@igm.nsc.ru, travin@igm.nsc.ru

The Kokchetav massif is a subduction-collision zone [1, etc.] where the fragments of the paleosubduction zone with varying depth level are tectonically superimposed. They are resulted from submerging of the marginal part of the Precambrian Kokchetav microcontinent into the subduction zone and subsequent collisional events related to collision of the microcontinent with the island arc. As a result of complex geodynamic events the rocks of the continental crust of ultrahigh and high pressures (UHP-HP), metamorphosed in the subduction zone, were brought to the surface. Examination of zircons from diamondiferous UHP-HP rocks of the Kumdykol deposit showed [2-4, etc.] that the central parts of zircon grains characterize the progressive stage of metamorphism and have an age of 537 ± 7 Ma, while the rims containing low-baric minerals of the amphibolite facies are dated by 507 ± 7 Ma. The rims of zircons containing diamond inclusions have an age of 530 ± 7 Ma, whereas their nuclei have ages varying from 558 to 1981 Ma, characteristic of detrital zircons from sedimentary cover of the microcontinent [2]. The rims of zircons containing HP-mineral inclusions yielded an age of 527 ± 5 Ma, while that of inclusions of the granulite facies is 528 ± 8 Ma and inclusions of the amphibolite facies is 526 ± 5 Ma. A directional and regular pattern of zoning in all zircon grains, as well as the change in the composition of mineral inclusions suggested that by 528-523 Ma the UHP-HP rocks were exhumed to amphibolite facies ($P = 5-8$ kbars and $T = 600-650$ °C, with a depth of about 35 km). A detailed description of the sections of the Kumdykol deposit and sedimentary rocks of the Kokchetav microcontinent shows a good correlation with respect to the quantitative and qualitative composition of rocks, as well as their geochemical characteristics [1]. On the other hand, a new Ar-Ar ages on micas sampled from various parts of the Kumdykol diamond field (well no. 42 Yubileianaya, 1983, interval 20-200 m) showed a wide range of datings (eight in total) ranging from 562 to 469 Ma. The ages of dating correspond to all above-mentioned subduction-collision events, including the more ancient date of 562 Ma. The obtained dates suggest that both the diamondiferous rocks of the Kumdykol field and metamorphic rocks of the Kokchetavsky massif have a complex tectonic nature.

The work was carried out within the framework of the state assignment of the IGM SB RAS (projects 0330-2016-0014 and 0330-2016-0013) and with the financial support from the RFBR (grant 17-05-00833).

References:

1. Buslov M.M., Dobretsov N.L., Vovna G.M., Kiselev V.I.(2015): Structural position, composition and geodynamic nature of diamondiferous metamorphic rocks from the Kokchetav subduction-collisional zone of the Central Asian fold belt (Northern Kazakhstan) // *Geology and geophysics*, Vol. 56. No. 1-2. P. 89-109.
2. Shatsky V.S., Jagoutz E., Kozmenko O.A., Blinichik T.M., Sobolev N.B. (1993): Age and genesis of eclogites from the Kokchetav massif. // *Geology and geophysics*, Vol.34. no.12, P. 47-58.
3. Shatsky V.S., Jagoutz E., Sobolev N.V., Kozmenko O.A., Parkhomenko V.S., Troesch M.(1999): Geochemistry and age of ultrahigh-pressure metamorphic rocks from the Kokchetav massif (Northern Kazakhstan) // *Contrib. Mineral. Petrol.* Vol.137, P. 185-205.
4. Herman J., Rubatto D., Korsakov A.V., Shatsky V.S. (2001): Multiple zircon growth during fast exhumation of diamondiferous, deeply subducted continental crust (Kokchetav massif, Kazakhstan) // *Contrib. Mineral. Petrol.* V.141, P.66-82.

EXPERIMENTAL STUDY OF PHLOGOPITIZATION REACTION IN PRESENCE OF H₂O-KCL FLUID AT 5 GPa: APPLICATION TO MODAL MANTLE METASOMATISM PROBLEM.

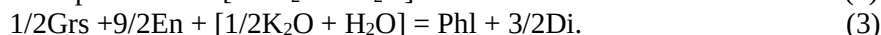
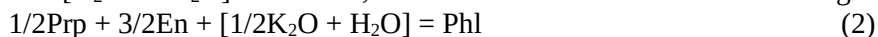
Butvina V.G.¹, Limanov E.V.¹, Safonov O.G.¹

¹ D.S. Korzhinsky Institute of experimental mineralogy RAS
valkil@yandex.ru

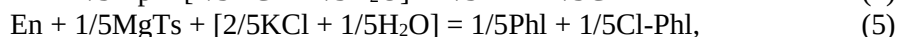
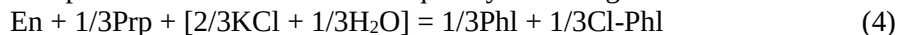
Phlogopite is a typical indicator mineral of modal mantle metasomatism. Its occurrence in mantle peridotites as a result of their interaction with potassic fluids is explained by the general reaction [1-3]:



i.e. $5\text{En} + \text{Grt} + [\text{K}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}] = \text{Phl} + \text{Di}$, which is a combination of two bounding reactions



Alkaline component in these model reactions is represented as K₂O for clarity. Nevertheless in real fluids K exists as salt components – chlorides, carbonates etc. This study represents preliminary data obtained for reactions (2) and (3) with presence of H₂O-KCl with initial $X_{\text{KCl}} = \text{KCl} / (\text{KCl} + \text{H}_2\text{O})$ from 0.05 to 0.4 at 5 GPa and 900-1250°C. For reaction (2) gel of pyrope composition mixed with Mg(OH)₂ and SiO₂ with 8 wt. % H₂O was used. KCl was added to the mixture in amounts that allow to get required X_{KCl} in initial fluids. For reaction (3) gel of grossular composition was added to the mixture. Phase relations and compositions in the run products indicate to the subsequently occurring reactions:



where MgTs – Mg-Tschermak molecule (MgAl₂SiO₆), and Cl-Phl – end-member KMg₃AlSi₃O₁₀Cl₂ of the phlogopite solid solution. These reactions govern regular disappearance of garnet, decrease of Al content in orthopyroxene and increase of Cl contents in the appearing phlogopite on increase of KCl in the initial fluids. In the Ca-bearing system increase of KCl in the fluid leads to destabilization of pyrope-grossular garnet followed by formation of clinopyroxene and phlogopite by reaction (3). Similar relations are well-known from the studies of upper-mantle xenoliths from kimberlites and alkaline basalts [for example 4].

Thus, ratios between concentrations of Al in orthopyroxene and Cl in phlogopite according to reaction (5) are good indications of KCl activity in the fluid. These effects can be further used for quantitative estimations of KCl activity, and thus concentrations of KCl in the aqueous fluids in the modal mantle metasomatism.

The study was supported by RFBR grant № 16-05-00266

Reference

1. Aoki K. (1975): Origin of phlogopite and potassic richterite bearing peridotite xenoliths from South Africa // Contrib. Mineral. Petrol. V. 53. P. 145-156.
2. Сафонов О.Г., Бутвина В.Г. (2013): Взаимодействие модельного перидотита с флюидом H₂O-KCl: эксперимент при давлении 1.9 ГПа и его приложение к процессам верхнемантийного метасоматоза. // Петрология. Т. 21. № 6. С. 654 – 672.
3. Сафонов О.Г., Бутвина В.Г. (2016): Реакции – индикаторы активности К и Na в верхней мантии: природные и экспериментальные данные, термодинамическое моделирование // Геохимия. №10. С. 893 – 908.
4. van Achterbergh E., Griffin W. L., Stiefenhofer J. (2001): Metasomatism in mantle xenoliths from the Letlhakane kimberlites: estimation of element fluxes // Contrib. Mineral. Petrol. V. 141. P. 397-414.

CHROMITE AND OLIVINE HOSTED MELT INCLUSIONS REVEAL MIXING BETWEEN LAMPROITE AND KAMAFUGITE MELTS (EVIDENCE FROM RYABINOVIY MASSIF LAMPROITES, ALDAN SHIELD)

Chayka I.F.^{1 2}, Sobolev A.V.^{3 4}, Izokh A.E.^{1 2}, Batanova V.G.^{3 4}, Krashenninnikov S.P.⁴

¹ V.S.Sobolev Institute of Geology and mineralogy SB RAS
ivanlab211@gmail.com

² Geology geophysics Department, NSU,

³ IS TERRE, Grenoble, France

⁴ Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS

Melt inclusions (MI) hosted by olivine and chromium spinel as well as their host minerals from Ryabinoviy massif lamproites were studied. Unhomogenized MI are crystallized, their homogenization with following quenching was conducted using Nabertherm RHTV 1700 vertical pipe furnace [1]. Quenched glasses were analyzed with EPMA and SIMS. Compositions of their host minerals were determined using EPMA including high-precision olivine analysis [2]. Temperatures of olivine crystallization were estimated using “Al-in-olivine” thermometer [3].

MI studies revealed that Cr-spinel-hosted and olivine-hosted MIs have contrasting compositions. According to chemical classification [4], most of Cr-spinel-hosted MIs correspond to lamproites (low-Ca, ultrapotassic) while most of olivine-hosted MIs have distinct kamafugitic affinity (high-Ca, Na-K-alkaline). Their geochemical trends comprised with bulk rock compositions and host mineral chemistry imply mixing of these two melts, which took place at temperature about 1200 °C. Immediately after or even during mixing between these melts the carbonate-silicate-salt immiscibility occurred [5]. According to our data, U, Th, Nb, Ta and LREE distributed into carbonate-salt fraction being trapped by fluoride, phosphate and sulphate complexes.

Chemistry of the studied MI, chromium spinels and olivine, and isotopic data [6] imply ancient (AR-PR) lithospheric mantle sources for these melts, enriched by ancient subduction processes with key role of carbonate metasomatism. Although having contrasting compositions, observed kamafugite and lamproite melts could be generated from sources of similar chemistry, probably from DM with glimmerite or phlogopite pyroxenite domains [7]. Kamafugite melt was generated in CO₂-saturated conditions due to extensional decompression. Lamproite melt is thought to originate due to the following ascending of deep thermal, F and SO₃-bearing, flux. Such spatial and temporal coexistence of kamafugite (high-Ca, K-Na-alkaline) and lamproite (low-Ca, ultrapotassic) magmatism can particularly explain an unusually wide range of rock compositions and their diverse alkalinity features among Central Aldan Mesozoic igneous complexes.

The research is supported by Russian Scientific Foundation (project No 15-17-20036); analytics in France is supported by grant Labex OSUG@2020 (Investissements d'avenir – ANR10 LABX56).

References:

1. Krashenninnikov S.P. et al., Experimental Testing of Olivine-Melt Equilibrium Models at High Temperatures // *Doklady Earth Sciences*, 2017, 475. №2. P 919-922
2. Batanova V.G., Sobolev A.V., Kuzmin D.V., Trace element analysis of olivine: High-precision analytical method for JEOL JXA-8230 electron probe microanalyser // *Chem. Geol.* 2015, vol. 419, pp. 149-157
3. Coogan L.A., Saunders A.D., Wilson R.N., Aluminium-in-olivine thermometry of primitive basalts: Evidence of an anomalously hot mantle source for large igneous provinces // *Chem. Geol.* 2014, 368. 1-10.
4. Foley S.F. et al., The ultrapotassic rocks: characteristics, classification and constraints for petrogenetic models // *Earth Science Reviews*, 1987. 24. P. 81-134
5. Rokosova E. Yu., Panina L.I., Shonkinites and minettes of the Ryabinoviy massif (Central Aldan): composition and crystallization conditions // *Russian Geology and Geophysics*. 2013. 54. P. 613-626
6. Chayka I.F., Vasyukova Ye. A., Mineralogy, geochemistry, isotopy of Tobuk complex lamproites and their relationship with Au-bearing Ryabinoviy massif (Central Aldan) // *Metallogeny of ancient and present oceans*. 2017. 1. P 38-51 (in Russian)
7. Förster M.W. et al., Melting and dynamic metasomatism of mixed harzburgite + glimmerite mantle source: Implications for the genesis of orogenic potassic magmas // *Chem. Geol.* 2016. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2016.08.037

GROWTH OF DIAMOND AND ACCOMPANYING PHASES IN THE METAL-SULFUR-CARBON SYSTEMS

**Chepurov A.I.¹, Zhimulev E.I.¹, Tomilenko A.A.¹, Sonin V.M.¹, Chepurov A.A.¹,
Sobolev N.V.¹**

¹ IGM SB RAS

chepurov@igm.nsc.ru, ezhimulev@igm.nsc.ru, tomilen@igm.nsc.ru,
sonin@igm.nsc.ru, achepurov@igm.nsc.ru, sobolev@igm.nsc.ru

Sulfides are the most common inclusions in diamonds from kimberlites, whilst by Ni content the sulfide composition is clearly related to the main types of inclusion parageneses, ultramafic and eclogitic [1-3].

The work reports on experimental results of diamond growth in the metal-sulfur-carbon systems with a pre-eutectic sulfur content in the Fe-Ni-S-C and Fe-S-C systems [4, 5] at 5.5 ± 0.2 GPa and temperatures of 1300 and 1350 ± 25 °C, respectively. In the experimental Fe-Ni-S-C system with sulfur content of less than 14 wt%, light-yellow diamond crystals up to 0.8 carat have been grown. The monosulfide solid solution, a high-temperature pentlandite, tenite, (Fe, Ni)-carbide and recrystallized graphite have been identified in the products of experimental runs. Diamonds have been grown in the Fe-S-C system with sulfur content of 5 wt% with respect to the metal. It was established that diamond at 5.5 GPa can crystallize in a very narrow temperature range from 1300 to 1370 °C [6]. The main phases found in the products of the experiments were solid solution of carbon in iron, iron sulphide (pyrrhotite), iron carbides (Fe_3C and Fe_7C_3), and recrystallized graphite. Pyrrhotite is known to be one of the widespread sulphide inclusions in natural diamonds [2, 3]. The study of fluid phase composition from the inclusions in the grown diamonds revealed a wide range of hydrocarbons.

The pioneer work of N.V. Sobolev with co-authors [7] showed that inclusions of the harzburgite paragenesis are typical of the octahedral diamonds from Yakutian kimberlites. Such crystals contain native iron inclusions along with subcalcium Cr-pyrope, Mg-olivine, chromite and pentlandite. At the same time, there are no signs of the genesis of these diamonds under the ultradeep conditions, which evidence the absence of a majorite component in garnets from inclusions [7]. Thus, the genesis of some natural diamonds may be associated with metal-sulfide melts.

The work was supported by the Russian Science Foundation (project No. 17-17-01154)

References:

1. Efimova E.S., Sobolev N.V., Pospelova L. N. (1983): Sulfide inclusions in diamonds and specific features of their paragenesis // Zap. VMO. Part 112. Issue 3. P.300–310.
2. Bulanov G.P., Spetsius Z.V., Leskova N.V. (1990): Sulfides in diamonds and xenoliths from Yakutian kimberlite pipes. Novosibirsk: Nauka, 120 p.
3. Shirey S.B., Cartigny P., Frost D.J., et al. (2013): Diamonds and the Geology of Mantle Carbon // Rev. Mineral. Geochem. V. 75. P. 355–421.
4. Zhimulev E. I., Chepurov A. I., Sinyakova E. F. et al. (2012): Diamond crystallization in the Fe–Co–S–C and Fe–Ni–S–C systems and the role of sulfide–metal melts in the genesis of diamond // Geochemistry International. V. 50. № 3. P. 205–216.
5. Zhimulev E. I., Shein M. A., Pokhilenko N. P. (2013): Diamond crystallization in the Fe-S-C system // Doklady Earth Sciences. V. 451. Part 1. P. 729–731.
6. Zhimulev E. I., Sonin V. M., Mironov A. M., Chepurov A. I. (2016): Effect of Sulfur Concentration on diamond crystallization in the Fe-C-S System at 5.3-5.5 GPa and 1300-1370C // Geochemistry International. V. 54. № 5. P. 415–422.
7. Sobolev N.V., Efimova E.S., Pospelova L. N. (1981): Native iron in Yakutian diamonds and its paragenesis // Geology and Geophysics. №12. P. 25–29.

MELT INCLUSIONS AND PERITECTIC REACTIONS IN THE MAGMATIC PETROGENESIS

Chupin V.P.^{1 2}, Kuzmin D.V.¹, Smirnov S.Z.¹, Tomilenko A.A.¹

¹ IGM SB RAS

chupin@igm.nsc.ru

² Novosibirsk State University

Peritectic phenomena are widespread in the magmatic process, but not much is known about them in details. Magmatic peritectic reactions are the reactions in which some minerals are formed consuming others in presence of magmatic melts both on decrease and increase of temperature. The latter frequently occur in the magma generation areas. In this study we consider examples of peritectic phenomena at the early stages of magmatic process and their reconstruction via melt inclusion study.

Generation of felsic melts is a result of crustal anatexis in the course of progressive metamorphism in the wide range of depths and pressures. Peritectic crystallization proceeds from the early portions of partial melts, which are entrapped as melt inclusions. Contrary to ordinary magmatic crystallization new minerals grow due to diffusion of substance from decomposing minerals to the newly formed, rather than due to oversaturation of melt.

Primary inclusions of peritectic melts were first recorded in garnet, clino- and orthopyroxenes, kyanite, scapolite and other nominally metamorphic minerals in granulite and eclogite xenoliths from Tertiary alkaline basaltoids of the E. Pamirs [1,2]. Later such inclusions were found in granulitic garnet from other localities [3]. Formation of such unusual mineral paragenesis occurs at 40 km (> 12 kbars) on HPHT incongruent melting of metabasic and metapelitic rocks along with generation of rhyolitic melts in the thickened lower crust of Pamirs.

Another example includes formation of Mg-rich femic minerals from low-Mg and low-Ca plagioryholitic melts that were generated on LPHT (< 3 kbar) melting of metabasic rocks in the course of evolution of shallow reservoirs of felsic volcanism in the island arcs. Plagioryholitic melt inclusions were found in plagioclase and pyroxenes from Holocene Mg-basalts of Menshiy Brat volcano in the Medvezhiya caldera and dacitic pumices of Pleistocene-Holocene Plinian eruptions of Lvinaya Past and Vetrovoy Isthmus calderas at the Iturup Island (Kuril Islands) [4].

Felsic compositions of melt inclusions are not typical for basaltic minerals from the Menshiy Brat volcano. In case of Vetrovoy Isthmus and Lvinaya Past dacites high Mg#s of femic minerals are not common for felsic rocks, which parental melts were trapped by those minerals as melt inclusions. Melt inclusion study shows that femic minerals trap partial melts that were generated due to reactional melting of amphibole-bearing precursor rocks at temperatures more than 850 – 900°C. Sometimes pyroxenes themselves are the products of peritectic reaction of the amphibole dehydration. Increase of H₂O partial pressure in the course of dehydration melting results in destabilization of clinopyroxene and formation of orthopyroxene-high-Ca plagioclase assemblage with rhyolitic melt.

The reported examples show that unusual combinations of compositions of melt inclusions and the host minerals in felsic magmatic rocks and high-grade metamorphic rocks are most likely related to peritectic reactions and can be regarded as indicators of early stages of felsic magma formation in different geodynamic settings.

The study was supported by Russian Federation State Research Subsidy 0330-2016-0005, RFBR grants 16-05-00894, 18-05-00819, Complex Program of SB RAS Fundamental Research II.1 (project #44).

References:

1. Chupin V.P., Kuzmin D.V., Touret J.L.R. (2001) High-pressure melt and fluid inclusions in minerals of garnet granulites/eclogites (Eastern Pamir) // Abstracts of ECROFI XVI, Porto, 2001. Universidade do Porto — Faculdade de Ciencias, Departamento de Geologia, Memorias. 7. P. 95–98.
2. Chupin, V. P.; Kuz'min, D. V.; Madyukov, I. A. (2006) Melt inclusions in minerals of scapolite-bearing granulite (lower crustal xenoliths from diatremes of the Pamirs) // Doklady Earth Sciences. 407. 6. P. 823-827.
3. Cesare B., Ferrero S., Salviolo-Mariani E. et al. (2009) "Nanogranite" and glassy inclusions: The anatectic melt in migmatites and granulites // Geology. 37. 7. P. 627-630.
4. Smirnov S.Z.; Rybin A.V.; Sokolova E.N. et al. (2017) Felsic magmas of the caldera-forming eruptions on the Iturup Island: the first results of studies of melt inclusions in phenocrysts from pumices of the Lvinaya Past and Vetrovoy Isthmus calderas // Russian Journal of Pacific Geology. 11. 1. P. 46-63.

GEODYNAMICS OF FORMATION OF THE ACCREPTION-COLLISION ZONES OF CENTRAL ASIA, INCLUDING HP AND UHP ROCKS

Dobretsov N.L.¹, Buslov M.M.², Kulikova A.V.², Travin A.V.²

¹IPGG SB RAS

DobretsovNL@ipgg.sbras.ru

²IGM SB RAS

buslov@igm.nsc.ru, ak_cool@mail.ru, travin@igm.nsc.ru

Ultrahigh and high pressure rocks (UHP-HP) are widespread in Central Asia and are most fully represented and well studied in the following folded belts: Chagan-Uzun (Gorny Altai) and Kokchetav (Northern Kazakhstan) (1-5).

The Late Precambrian Chagan-Uzun accretionary - collision zone is formed as a result of subduction of the oceanic crust and the collision of paleosimount with a primitive island arc, which led to the exhumation of bodies of ophiolitic peridotites, eclogites and garnet amphibolites heated in the subduction zone as part of serpentinite melange. Together they mark the zone of the paleosubduction channel, located between the large paleosimount body and the rocks of the primitive island arc.

The Cambrian Kokchetav accretionary collision zone is formed as a result of continental subduction and subsequent collision of a microcontinent with an island arc. This led to the formation of a complex of tectonic plates, deformed into isoclinal folds, represented by microcontinent rocks metamorphosed at various depth levels of the paleo-subduction zone.

The rocks formed in the subduction zone of UHP-HP are included in the tectonic matrix of para- and orthogneisses, which also includes small and sporadically distributed ultrabasic lenses. As a result of complex geodynamic events of UHP-HP, the rocks were brought to the surface as part of a tectonic megamange (paleosubduction channel) located between the preserved fragment of the Precambrian Kokchetav microcontinent and the accretion complex of the island arc.

The research was carried out within the framework of the state task of the IGM SB RAS (projects 0330-2016-0014 and 0330-2016-0013) and with the financial support of the RFBR grant 17-05-00833.

References:

1. Dobretsov N.L., Buslov M.M.(2004). Serpentinic melanges associated with HP and UHP rocks in Central Asia // Intern. Geol. Rev. V.46 (11). P. 957–980.
2. Ernst, W.G., Liou, J.G., Coleman, R.G. (1995). Comparative petroctectonic study of five Eurasian ultrahigh-pressure metamorphic complexes// International Geology Review. V.37. P.191–211.
3. Buslov M.M., Dobretsov N.L., Vovna G.M., Kiselev V.I. (2014). Structural location, composition and geodynamic nature of diamond-bearing metamorphic rocks of the Kokchetav subduction-collision zone of the Central Asian Fold Belt (northern Kazakhstan) // Russian Geology and Geophysics. Vol. 56 (1-2). P. 64-80.
4. Kulikova A.V., Buslov M.M., Travin A.V., (2017). Geochronology of the metamorphic rocks in the Kurai accretionary prism (South-Eastern Gorny Altai). Geodynamics & Tectonophysics 8 (4), 1049–1063.
5. Schertl H.P., Sobolev N.V.(2013). The Kokchetav Massif, Kazakhstan: type locality of diamond-bearing UHP metamorphic rocks // J. Asian Earth Sci., V. 63.P. 5—38.

FOUR EPISODES OF THE THERMAL EVOLUTION OF THE ECLOGITES OF THE MAXYUTOVSKY COMPLEX (SOUTH URAL)

Fedkin V.V.

IEM RAS
vfedkin@iem.ac.ru

We have determined the character of the metamorphic evolution of the Maksyutov eclogite-glaucophane schist complex in the Southern Urals, the periodicity of its formation and the specific thermodynamic parameters of mineral formation at each stage of metamorphism based on a detailed microprobe study of the composition and zoning of coexisting minerals (garnet and pyroxene). Middle - Late Paleozoic Maksyutovsky eclogite- glaucophane-schist complex is known as a subduction complex of high (HP) - ultrahigh (UHP) pressures. The characteristic phases of ultrahigh (UHP) pressure (coesite pseudomorphs after quartz, graphite cuboids after diamond, microdiamond inclusions) have been described previously in [1-5]. New analytical data on the composition of garnet and clinopyroxene confirm the high-pressure origin of eclogitic rocks, which were found in the lower part of the complex in the form of numerous lenses, boudins and interlayers among glaucophane and feldspar-micaceous schists.

Thermobarometric calculations of the metamorphism parameters of eclogite associations were performed on the basis of a microprobe study of the composition and zoning of coexisting phases in the Grt + Cpx ± Pl + Qz paragenesis using the Grt-Cpx geothermometer by Powell [6] and the improved Pl-Cpx-Qz geobarometer by Perchuk [7]. Garnet in the eclogites of the Maksyutovsky complex is almost always zoned, has a direct, reverse and inversion zoning, while the clinopyroxene composition varies insignificantly ($X_{\text{Jd}} \sim 22\text{-}40$ mol %). The composition of the plagioclase corresponds to albite, which indicates its later formation. Therefore, the compositions of coexisting phases in Pl-containing eclogites correspond to the parameters of the final, relatively low-temperature stages of the complex evolution. The trends of temperature and pressure variations during the crystallization of zoned garnet grains (from the center to the edge) in equilibrium with clinopyroxene were studied in samples having different weathering degree: from central and outer parts of large boudins, from eclogite layers in the Grt-Cpx-Gln-Mu-Qz matrix, in large porphyroblastic garnet and in small newly formed crystals from the rock matrix. Garnet grains with a direct and reverse zoning, which are often found in one sample and demonstrate the conjugate progressive and regressive P-T trends which indicate individual stages of the complex development. Based on the obtained data, at least four episodes of metamorphic transformations of the Maksyutov complex are defined. The age data of the individual stages [3, 4, 8] considered together with the metamorphism parameters form a common P-T-t trend of the complex formation, which determines the position of the metamorphic field gradient during its exhumation.

Table 1 Parameters of metamorphic evolution of eclogites of the Maksyutov complex

No	Prograde branch	Retrograde branch	Age, Ma
1.	T=800-900 °C, P=3.5 GPa	T=910→730 °C, P=3.5 GPa	533±4,6
2.	T=500-790 °C, P=2.5-3.0 GPa	T=740→610 °C, P=2.5→1.4 GPa	392-485
3.	T=460-680 °C, P=1.1-1.5 GPa	T=690→430 °C, P=1.3→1.0 GPa	360-465
4.	T=310-515 °C, P=0.9-1.2 GPa	T=545→310 °C, P=1.0→0.6 GPa	320-335

References:

1. Chesnokov B. V., Popov V. A. (1965) //Dokl Akad Nauk SSSR. V. 162. P. 176-178.
2. Dobretsov N. L., Dobretsova L. V. (1988) //Dokl. Akad. Nauk SSSR. V. 294. P. 375-380.
3. Leech M. L. and Ernst W. G. (1998) // Geochim. Cosmochim. Acta 62, 2143-2154.
4. Leech, M. L., and Ernst, W. G. (2000) // Lithos, v. 52, p. 235-252.
5. Bostick, B., et al. (2003) // American Mineralogist v. 88, p. 1709-1717.
6. Powell, R., (1985) // J. Metamorph. Geol. 3, 231-243.
7. Perchuk A. L. (1992) //Dokl. Ross. Akad. Nauk. V. 324. P. 1286-1289
8. Valizer, P. M., Rusin, A. I., Krasnobaev, A. A., & Likhanov, I. I. (2013) // Russian Geology and Geophysics. V. 54. P. 1369-1384.

GEOPROSPECTING WORKS FOR DIAMOND OF ALROSA GROUP

**Garanin K.V., Tolstov A.V., Serov I.V.,
Shmakov I.I., Kovalchuk O.E., Koshkarev D.A.**

PJSC «ALROSA»
garaninkv@alrosa.ru

ALROSA is a largest Russian diamond mining company, which shares 27 % of world and 95 % of Russian diamond production. Activity of the ALROSA Group is concentrated in two regions of Russian Federation – Sakha (Yakutia) Republic and Arkhangelsk area, as well as in Africa. ALROSA is a world leader in diamond production (in carats) since 2009. Diamond production in 2017 reached 36.6 million of carats. ALROSA possesses the world largest approved diamond reserves (1.172 billion of carats by the end of 2017 according to domestic classification, increase of reserves by the end of 2017 was 57.8 million carats), and widest assortment line of diamonds.

The advancing, economically effective reproduction of exhausting mineral resource base (MRB) is one of the strategic aims of ALROSA. Analysis of MRB increase shows that this task is successfully solved for last decade until the recent time. Geological survey staff carry out works within the areas of eight diamond-bearing districts of Sakha (Yakutia) Republic of Russian Federation, Arkhangelsk area, as well as in Republic of Angola, and Botswana.

Reorganization of geoprospecting complex (GPC) of ALROSA was accomplished in 2017. Three new departments with clearly defined functionality, clear and understandable aims and tasks for coming 10-12 years were created. Total amount of GPC staff today is 2 230 persons. The expenses for geoprospecting works (GPW) were 7 782 billion roubles. GPC of ALROSA still is the largest among the mining companies in Russia. The program of the ALROSA GPW is actualized until 2030. Prospection of deep horizon of Yubileynaya and Zarnitsa pipes were started.

Estimating works had been carried out in the fourth project phase of Nyurbinskaya placer. GPW projects have been conducted on the search stages in Malobotuobinsky, Ygyaatinsky, Srednemarkhinsky, Daldyn-Alakitsky, Munsky, Prilensky, and Anabarsky districts of Yakutia. Tasks on accomplishment of innovation development plan and technical modernization had been solved.

In 2018 ALROSA departments will continue works on concentration and optimization of production processes aimed to increase of GPW efficiency, increase of labor performance and a quality of works. Approval in SCR of reports including calculation of reserves by 1.4 million carats in placers of Ebeliakh, Billiakh-tributary-3, Ochuos and Lyasger-Yuriakh rivers are coming. Prospection works in Yubileynaya and Zarnitsa pipes and deep horizons of Udachnaya pipe will continue.

Start of estimation works at 5th project phase of the Nyurbinskaya placer is planned. Improvement of activity of VGPE processing factories should be an important event. Drilling on the territory of Angola within Kwango project should start on April. Searching activity will continue on the territory of Yakutia, including two new Alakit-Markhinsky and Srednevilyuisky projects. Development of works in Malobotuobinsky district, Ygyaatinsky, Alakit-Markhinsky and Nakynsky kimberlite fields are planned.

In the medium term, GPW will be concentrated on the searching-and-estimating, and prospecting works in the Russian Federation and abroad. The first-rank task, which is assigned to GPC departments, is a discovery of new diamond deposits. According to this task, significant role of their forecasting, expert, scientific and analytical maintenance is expected. Wide list of state-of-art geology-geophysics techniques, used by ALROSA staff, corresponds to complex prospection conditions. Last years a special attention was paid to introduction of innovation search methods, development of geological, geophysical, and substance indicator forecasting criteria. This is the base for new discoveries in the nearest time.

ARKHANGELSK DIAMONDS IN THE HISTORY OF DISCOVERY OF DEPOSITS, ACHIEVEMENTS, AND BOOKS.

Garanin V.K.

A.E. Fersman Mineralogical museum RAS,
Scientific supervisor, Academician of RAS, Laureate of Russian Government Prize for science
and technique, Laureate of A.E. Fersman RAS Prize
vgaranin@mail.ru

The name of Vladimir Stepanovich Sobolev is inseparably linked to discovery of world largest diamondiferous province – Yakutian province in USSR. V.S. Sobolev is one of those outstanding geoscientists, who predicted this province based on geological, tectonic and other knowledges on distribution of large diamondiferous clusters on our planet Earth. He brought up number of talented students: A.P. Bobrievich, G.I. Smirnov, A.D. Kharkiv etc. In addition, it is necessary to stress that the first books, devoted to this new diamondiferous province, was written under his scientific supervision. We regard the first book “Diamonds of Siberia”, which is of worldwide importance, with a special awe. It has been written under his supervision by the group of his students - A.P. Bobrievich, G.I. Smirnov, and some others, and published in 1957. Since then tens of books, which consider different questions in geology, petrology, geochemistry, and mineralogy of Yakutian diamond deposits, have been published, but this one was the first. This caused the special awe and special attitude to authors and to the book itself.

New diamondiferous province – Arkhangelskaya, first in Europe, was discovered in USSR by the end of 70ties and beginning of 80ties of the last century. It preceded the discovery of diamond deposits in Finland, Canada and other countries. This was also a historical event, which was imprinted in many publications, including fundamental books. First of all, it is necessary to mention here the book “Arkhangelsk diamondiferous province” (1999). This book was the first generalization, in which the problems of geology, rock geochemistry, mineralogy of kimberlites and related rocks of Arkhangelsk province were highlighted. Several fundamental works, devoted to different genetic and practical questions of study of kimberlitic rocks and search of new diamond deposits were published since 1999. They helped significantly to discover new kimberlite bodies in this province. They helped also to enhance our knowledge about the nature of diamond and kimberlites. It should be noted with honor that all these books have been written under the supervision of doctors in geology and mineralogy G.P. Kudryavtseva and V.K. Garanin with like-minded associates-discoverers, colleagues, and students – V.V. Verzhak, E.M. Verichev, N.N. Golovin, V.V. Tretyachenko.

Now about the last book “Arkhangelsk diamonds. New data” (2017), which generalizes all new data on diamonds from Arkhangelsk province deposits – morphology and physical and spectroscopic parameters. This is the first generalization on diamonds from deposits of the Arkhangelsk diamond province. This book sums up results of study of this province and provides the basis for new discoveries of diamond deposits on the north of the European part of Russia.

Undoubtedly, we can specially note the strong influence of academician V.S. Sobolev studies, and first of all, his first book on Siberian diamonds. Although long time has been left since than (more than 50 years), we can state confidently that the results of academician V.S. Sobolev works had a historical scientific influence on formation of diamond research schools in USSR and Russia. These schools form the basis for development of new ideas on the genesis of diamonds and its satellite-minerals, for development of diamond raw material base for successful growth of economic power of Russia.

NEW DATA ON HIGH-PRESSURE FIELD OF CaCO_3 PHASE DIAGRAM

Pavel N. Gavryushkin ^{1 2}, Naira S. Martirosyan ^{1 2},
Sergey S. Lobanov ^{1 5}, Nursultan Sagatov ^{1 2}, and Konstantin D. Litasov ^{1 2}

¹ IGM SB RAS

gavryushkin@igm.nsc.ru

² Department of Geology and Geophysics NSU,

⁵ Geophysical Laboratory, Carnegie Institution of Washington

The intensive investigation of CaCO_3 phase diagram during last years [1,2,3,4] results in finding of several new phases, stabilising at pressures above 30 GPa. In the present work we show our part of the work on investigation of these phases. Theoretical calculations was performed with density functional theory, quasi-harmonic approximation (VASP code) and crystal structure prediction evolutionary algorithms (USPEX package), experiments – with diamond anvil cell at 13ID-D of GSECARS (Advanced Photon Source).

Performed structure prediction revealed the new CaCO_3 structure with $P2_1/c$ symmetry, which is most energetically favourable in the pressure range of 32-46 GPa. Analysis of atomic arrangement shows that found structure is the analogue of deformed aragonite, based on which we called it *aragonite-II*. Performed experiments confirm existence of *aragonite-II* at 35 GPa and reveal a new polymorph observed at 35 and 50 GPa and named CaCO_3 -VII. It is structural analogue of $P2_1/c$ -I [3] with unit cell parameters of $P2_1/c$ -h [3]. Calculations of Gibbs energies shows that *aragonite-II* is the low-temperature low-pressure polymorph in comparison with CaCO_3 -VII, which stability field spread up to the melting point (Fig.1). Being stable within pressure range of 25-50 GPa, CaCO_3 -VII is stable form of CaCO_3 in upper part of the lower mantle.

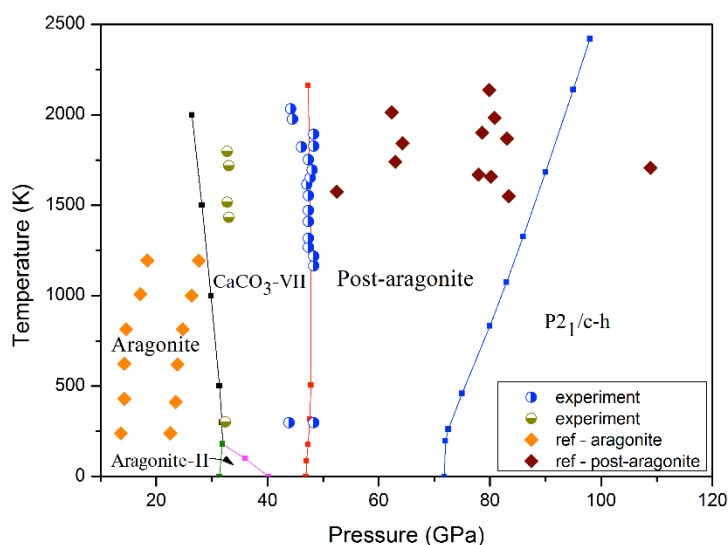


Fig.1. P-T phase diagram of CaCO_3 based on theoretical (lines) and experimental (points) data.

The research was supported by Ministry of Education and Science of Russian Federation (Grant Nos. 14.B25.31.0032 and MK-3417.2017.5) and state Assignment Project No. 0330-2016-0013.

References:

1. Smith, D., Lawler, K. V., Martinez-Canales, et al. (2018): Postaragonite phases of CaCO_3 at lower mantle pressures // *Phys. Rev. Mat.*, V.2. № 1., P.013605.
2. Li, X., Zhang, Z., Lin, J. F. et al. (2018): New high-pressure phase of CaCO_3 at the topmost Lower mantle: implication for the deep-mantle carbon transportation. *GRL*, V.45. №3. P.1355-1360.
3. Pickard, C. J., Needs, R. J. (2015): Structures and stability of calcium and magnesium carbonates at mantle pressures. *Phys. Rev. B: Condens. Matter Mater. Phys.* V.91, P.104101.
4. Gavryushkin, P. N., Martirosyan, N. S., Inerbaev, T. M., et al. (2017): Aragonite-II and CaCO_3 -VII: new high-pressure, high-temperature polymorphs of CaCO_3 . *Cryst. Growth Des.*, V.17. №12, P.6291-6296.

NEW GEODYNAMIC THEORY FOR THE NUCLEATION AND EVOLUTION OF RIDGE-RIDGE-RIDGE TRIPLE JUNCTIONS

Taras Gerya¹, Evgueni Burov²

a ETH-Zurich, Institute of Geophysics, Department of Earth Sciences, Zurich, Switzerland

b CNRS, UMR 7193, Institut des Sciences de la Terre Paris (iSTeP), F-75005 Paris, France.

Deceased 9 October 2015.

Ridge-ridge-ridge triple junctions are among the most remarkable features of global plate tectonics but their nucleation and evolution remains incompletely understood. Here, we employ 3D numerical models to study the processes of the nucleation and evolution of triple junctions induced by multi-directional lithospheric extension. The simulations show that two major classes of junctions develop: (i) transient quadruple and triple plate rifting junctions formed by the initial plate breakup that are gradually converted into (ii) stable triple oceanic spreading junctions formed by the accretion of new lithosphere. Quadruple junctions break into two diverging triple oceanic spreading junctions connected by a linear spreading center lengthening with time. This process gradually decreases the length of deforming boundaries between four diverging rigid plates and thus the integral mechanical resistance of these boundaries to the spreading. The geometry of triple oceanic spreading junctions varies from asymmetrical T-junctions to ideal 120° junctions. The structure of these junctions includes two crucial tectonic elements: oceanic ridges (spreading centers) and intra-plate ranges (triple junction traces) dividing crust accreted from different spreading centers. The geometrical steady state is achieved within several million years. We propose a new geometrical theory of a migrating steady state triple junction, which describes its structure as a function of the relative plate velocities in a moving triple junction reference frame. The relative plate velocities define the orientations and growth rates of respective intra-plate ranges. Orientations and lengthening rates of oceanic ridges are in turn given by the average relative velocity of two adjacent plates. The steady state triple junction migration velocity satisfies the condition of minimal cumulative ridge lengthening rate weighted by the square root of the spreading velocity, which is proportional to the energy dissipation per unit ridge length. Geometry of triple junction thus maximizes the rate of the mechanical energy dissipation decrease (or minimizes the rate of the mechanical energy dissipation increase) in the spreading system. Our analytical theory agrees well with the results of the numerical simulations and natural data (Gerya and Burov, 2018).

Reference

1. Gerya, T. Burov, E. (2018) Nucleation and evolution of ridge-ridge-ridge triple junctions: Thermomechanical model and geometrical theory. *Tectonophysics*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2017.10.020>

CARBON-BEARING FLUIDS OF GOLD-ORE DEPOSITS IN THE YENISEY RIDGE

**Gibsher N.A.¹, Tomilenko A.A.¹, Ryabukha M.A.¹, Bul'bak T.A.¹, Sazonov A.M.²,
Khomenko M.O.¹, Nekrasova N.A.², Sil'yanov S. A.²**

¹ Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS,
tomilen@igm.nsc.ru

² Institute of Mining, Geology and Geotechnology SibFU,
sazonov_am@mail.ru

Carbon-bearing fluids are of paramount importance in endogenous processes. Their significance in the ore-forming process, as shown by V.S. Sobolev [1], increases with depth, beginning with the formation of carbon polymorphic modifications such as diamond and graphite in a reducing medium.

The reduced and oxidized carbon species permanently present in the fluids of gold deposits of the Yenisey Ridge, occurring in crustal rocks, metamorphosed from greenschist, through epidote amphibolite to granulite facies [2, 3, 4, 5].

Fluid inclusions study of native gold, sulphides and quartz from the gold deposits Sovetskoe, Gerfed, Bogunajskoe and Panimbinskoye showed that auriferous ores formed during the water-carbon-hydrocarbon fluids heterogenization in the temperature range from 150 to 490°C and pressures from 0.2 to 3.3 kbars. Fluid components conserved in native gold, sulfides and quartz are represented by a large group of carbon-bearing compounds (paraffines, olefins, naphthenes, arenes, dioxanes, furans, aldehyds, ketons, carboxylic acids and compounds containing halogens (Cl and F), Si, S and N). Fluids of the gold-bearing quartz veins as compared to gold-free veins are enriched in CO₂, hydrocarbons, sulfur- and nitrogen-bearing compounds and the degree of reduction of ore-forming fluids increases with depth. Fluids of such composition can transport gold and other ore elements in concentrations sufficient for the formation of deposits.

Thus, carbon-bearing fluids are actively involved both in the deep interior of the Earth where diamonds form and in the Earth's crust forming gold deposits.

The work was carried out within the framework of the State research assignment of the IGM SB RAS (No. 0330-2016-005)

References:

1. Sobolev V.S. (1973): The structure of the upper mantle and the methods of magma formation. M. Nauka, 134 p.
2. Gibsher N.A., Tomilenko A.A., Sazonov A.M., Ryabukha M.A., Timkina A.L. (2011): The Gerfed gold-ore deposit: characteristics of fluids and P-T conditions for the formation of quartz veins (the Yenisei Ridge, Russia) // *Geology and Geophysics*, vol. 52, No. 11, p. 1851-1867.
3. Gibsher N.A., Ryabukha M.A., Tomilenko A.A., Sazonov A.M., Khomenko M.O., Bulbak T.A., Nekrasova N.A. (2017): Characteristics of metalliferous fluids and the age of formation of the Panimba gold deposit (Yenisei Ridge, Russia) // *Geology and Geophysics*, vol. 58, No. 11, p. 1721-1741.
4. Ryabukha M.A., Gibsher N.A., Tomilenko A.A., Bulbak T.A., Khomenko M.O., Sazonov A.M. (2015): PTX-parameters of metamorphogenic and hydrothermal fluids: isotopy and age of formation of the Bogunaiskoe gold-ore deposit in the southern Yenisei Ridge (Russia) // *Geology and geophysics*, vol. 56, No 6, p. 1153-1172.
5. Tomilenko A.A., Gibsher N.A., Dublaynsky Y.V., Dallai L. (2010): Geochemical and isotopic properties of fluid from gold-bearing and barren quartz veins of the Sovetskoye deposit (Siberia, Russia) // *Econ. Geol.*, vol. 105, №2, P. 375-394.

METASOMATIC TRANSFORMATIONS IN THE LITHOSPHERIC MANTLE OF WESTERN SANGELEN

Gibsher A.A.¹, Malkovets V.G.^{1, 2}

¹ IGM SB RAS

anastasia.gibsher@igm.nsc.ru

² SRGEE JSC “ALROSA” (PJSC)

vladimir.malkovets@igm.nsc.ru

Camptonite dikes are widespread within the western Sangelen composed of metaterrigenous complexes and igneous rocks of acid and basic composition. They are considered to be the youngest basite formations in the region of about 444 Ma age [1, 2] and contain abundant lower crust and mantle xenoliths dominated by lode mantle peridotites of the spinel facies [3, 4].

A detailed mineralogical and geochemical study of xenoliths revealed traces of intense percolation and diffusion of metasomatic fluids/melts. The contact with the amphibole-phlogopite-clinopyroxene vein preserved diffusion profiles enriched both in major (TiO₂, FeO, Na₂O, etc.), and trace (La, Ce, Zr, etc.) elements, while the initial lherzolite mineral assemblage is replaced by wehrlite one. In the lherzolite - wehrlite transition zone orthopyroxene relicts in clinopyroxene are preserved. The preserved diffusion profiles suggest that the vein intrusion took place shortly before xenolith trapping and carrying out to the surface. The Sr and Nd isotope composition of the amphibole-phlogopite-clinopyroxene vein is consistent with that of the enclosing camptonites within the error, which suggests the formation of an alkaline-basic melt during melting of the mantle penetrated with veins of similar composition. These conclusions are also supported by experimental studies indicating that the formation of alkaline K-rich melts is in good agreement with the model of melting of the mantle peridotite + phlogopite-bearing veins assemblage [5].

Xenoliths with amphibole veins show the orthopyroxenite reaction zones that are comparable in thickness to the vein itself but there are no diffusion profiles in the enclosing lherzolite. Orthopyroxene formed as a result of the reaction of olivine lherzolite with an aqueous silicate melt/fluid. Sr and Nd isotopic characteristics of this vein coincide with those of the Pravotarlashinskiy gabbroid massif having suprasubduction characteristics [6] which indicate that its parental melts were produced by melting of the mantle enriched in amphibole veins.

The work was carried out within the framework of the State assignment (project No. 0330-2016-0006) with the support of the Russian Foundation for Basic Research (project No. 15-05-05615).

References:

1. Izokh A.E., Polyakov G.V., Malkovets V.G. (2001): Late Ordovician age of the camptonites from the Agardag complex of southeastern Tuva is an evidence of manifestation of plume magmatism during collision processes // DAN. P. 378. № 6. P. 794-797
2. Gibsher A.A., Malkovets V.G., Travin A.V. (2012): The age of the camptonite dikes of the Agardag alkaline-basaltoid complex of western Sangelen based on the Ar / Ar and U / Pb dating // Geology and Geophysics, Vol. 53, No. 8. P. 998-1013
3. Gibsher A.A., Malkovets V.G., Litasov K.D. et al. (2010): Composition of the Ordovician lithospheric mantle according to the study of peridotite xenoliths from the camptonites of the Sangelen plateau, Central Asian fold belt, DAN. P. 433. № 3. P. 369-373
4. Gibsher A.A., Malkovets V.G., Kuzmin D.V., Pokhilenko N.P. (2014): Multistage metasomatic enrichment of the lithospheric mantle of the Sangelen Highlands (on the example of contact xenoliths from camptonite dikes) // DAN. T. 454. № 6. S. 601-605
5. Foley S. (1992): Vein-plus-wall-rock melting mechanisms in the lithosphere and the origin of potassic alkaline magmas // Lithos V. 28. P. 435-453
6. Shelepaev R.A., Egorova V.V., Izokh A.E., Zeltmann R. (2018): Collisional base magmatism of the folded frame of the southern Siberia (Western Sangelen, southeastern Tuva) // Geology and Geophysics (in press).

MESOPROTEROZOIC MANTLE MAGMATISM OF THE SIBERIAN CRATON

Gladkochub D.P.¹, Donskaya T.V.¹, Mazukabzov A.M.¹, Pisarevskiy S.A.², Ernst R.E.^{3,4}

¹ IEC SD RAS

gladkochub@mail.ru

² Curtin University, Australia,

Sergei.Pisarevskiy@curtin.edu.au

³ University of Ottawa, Canada

⁴ Tomsk State University

Richard.Ernst@ErnstGeosciences.com

Evidences of the Mesoproterozoic magmatic activity are of limited occurrence in the ancient cratons, which suggest that this period of geological history can be regarded as part of "period of global uncertainty" [1], "Middle Age Earth" [2], or "dull billion years" [3]. Only a few magmatic complexes are known within the Siberian craton, whose Mesoproterozoic age is supported by reliable datings (see review and references in [4]), namely, dikes and sills of the eastern flank of the craton (Sette-Daban, 1339 ± 54 Ma), dikes of the Anabar shield (1513 ± 51 and 1503 ± 5 Ma) and the Udzhinsk aulacogen (1074 ± 11 Ma). The obtained new data have shown a wider occurrence of the Mesoproterozoic mafic complexes within the Siberian craton. In particular, mafic intrusions (1473 ± 24 Ma) compositionally similar to OIB produced with participation of the mantle plume substance were identified within the Olenek uplift [5]. Dolerites composing dikes from the southwestern coast of Baikal Lake (Listvyanka and Goloustnoye villages) yielded age of about 1350 Ma [6], while their petrochemical characteristics and indicative geochemical ratios of incompatible elements also show compositional similarity of these dolerites to OIB-type basalts. The Srednecheremshansky massif located in the Sharyzhalgai uplift of the Siberian craton basement is made up of gabbroids (1258 ± 5 Ma) [5] and has compositions similar to OIB. In addition, the age and composition of these gabbroids are similar to those of dolerites of the giant radial Mackenzie dike swarm [6].

Thus, it may be noted that all of the above-mentioned Mesoproterozoic mafic complexes of the Siberian craton formed under conditions of large-scale intracontinental extension with the participation of the mantle plume substance, while the age analogs of most of these events are present in the northern margins of Laurentia. These conclusions support the hypothesis of the existence of a long-lived transproterozoic supercontinent on the Earth [1, 6].

The work was carried out with the support of the RFBR (project no. 16-05-00642).

References:

1. Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Wingate M.T.D., et al. (2010): A one-billion-year gap in the Precambrian history of the southern Siberian Craton and the problem of the Transproterozoic supercontinent // *Amer. J. Sci.*, V. 310. P. 812-825.
2. Cawood P.A., Hawkesworth C.J. Earth's middle age // *Geology*, 2014, v. 42, p. 503—506.
3. Roberts N.M.W. (2013): The boring billion? Lid tectonics, continental growth and environmental change associated with the Columbia supercontinent // *Geosci. Front.*, V. 4. P. 681—691.
4. Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Mazukabzov A.M. et al. (2016): Mesoproterozoic mantle plume beneath the northern part of the Siberian Craton // *Geology and geophysics*, V. 57. no 5. P. 856-873.
5. Wingate M.T.D., Pisarevsky S.A., Gladkochub D.P. et al. (2009): Geochronology and paleomagnetism of mafic igneous rocks in the Olenek Uplift, northern Siberia: implications for Mesoproterozoic supercontinents and paleogeography // *Precamb. Res.*, V. 170. P. 256—266.
6. Ernst R.E., Hamilton M.A., Söderlund U. Et al. (2016): // *Nature Geosciences*, V. 9. № 6. P. 464-469.

MODERN APPROACHES IN PREDICTION AND PROSPECTING FOR DIAMOND DEPOSITS IN COMPLEX GEOLOGIC AND LANDSCAPE ENVIRONMENTS

Golubev Yu.K., Prusakova N.A.

FSUE CSRGR
diamond@tsnigri.ru

Nowadays intensive drilling activity is undertaken to uncover the kimberlite bodies. This approach may be called extensive drilling. Unfortunately, this method is prevalent. Additionally, the solution of this task includes development and implementation of particular exploratory methods which can help identify kimberlite pipes or even reveal diamondiferous pipes at once. The reality is that the object, which has to be searched, has arbitrary identification parameters, i.e. it can be variously represented in geophysical fields, differ by the content of indicator minerals, may form dispersion halos of minerals-indicators of kimberlites, diamond placers, or may lack them. The halos of indicator minerals and diamond placers under certain geological conditions may occur far from their native sources. Due to the fact that searching at the present time are carried out in complex search environments, i.e. within the limits of so-called closed territories, obtaining unambiguous direct signs of diamond content is extremely difficult. Everything depends on the features of formation of sedimentary complexes overlapping kimberlites. For this reason, the primary emphasis is placed on geophysical and other anomalies potentially related to kimberlite pipes.

In this respect the most important is the task of reasoned selection of areas for prospecting works on new diamond deposits. In the last 30 years, the CSRGR develops the prediction methods for diamond deposits in various prospecting environments.

The selection of areas for carrying out prospecting works in accordance to these developments is performed within the framework of accepted minerogenic taxons. Economic evaluation of the category P3 resources is related to the area identified as a predicted diamondiferous field. The sizes of such areas are as large as 1500 - 2500 km². Areas of this size are allocated for works performed in the scale 1: 1000000 - 1: 200000. The areas with the estimated resources of the category P3 are put in actual search operations. During these works, localization of sites with body cluster rank is carried out. Within such sites, the works focuses on uncovering the diamondiferous kimberlite bodies. The estimation of category P2 resources is carried out for the uncovered diamond-bearing bodies. In addition, estimation of resources of category P2 for sites with body cluster rank is allowed in the case when diamond placer is directly related to this site. The scale of works is 1: 200000 - 1: 50000.

In each stage the works are carried out according to the following technological scheme:

- 1 – preliminary localization of the predicted diamondiferous kimberlite field (local sites with body cluster rank) based on geologic-geophysical prerequisites;
- 2 – identification of direct evidences of diamond content in the form of scattering halos of indicator minerals of kimberlites and diamond placers within the pre-identified fields (sites) in order to solve the problem of potential areas prospects for setting prospecting works for the discovery of diamond deposits.
- 3 – development of effective prognostic-prospecting complex considering the geological structure of the studied territory and specific features of their geological-geophysical state of exploration.

The paramount task to be solved at all stages of works is the performance of paleogeographic reconstructions for revealing features responsible for formation of sedimentary complexes with the occurrences of the scattering halos of indicator minerals of kimberlites and diamond placers. The primary aim of these works is to solve the problem of their haulage from the primary sources.

CHLORIDE-CONTAINING SEGREGATIONS IN THE UDACHNAYA-VOSTOCHNAYA KIMBERLITE PIPE

Grishina S.N., Maksimovich Ya.E.², Goryainov S.V.¹, Karmanov N.S.¹, Smirnov S.Z.¹

¹ IGM SB RAS
grishina@igm.nsc.ru

² Geological and Geophysical Faculty of NSU,
tussaa@yandex.ru

Chlorides are found in many kimberlites of the world [1]. The Udachnaya-Vostochnaya kimberlite pipe is the only object where isolated chloride-containing segregations have been identified along with numerous manifestations of chlorine. The composition of these segregations varies from essentially chloride to chloride-carbonate-silicate. The detailed analysis of the extreme types showed that chloride-carbonate segregations [2] have magmatic origin, while essentially chloride segregations [3, 4] are of sedimentary origin. The subject of this study are zonal essentially chloride segregations which provide a means for establishing a relationship between the previously studied segregations.

A drastic difference between the associations of inclusions in the marginal and central zones allowed us to distinguish two halite generations. A distinct transition of generations is due to a change in the morphology of sylvite inclusions. Carbonate inclusions are the most important indicator of the difference between the marginal and the central parts. The central part have no carbonate inclusions, while in the marginal part they occur in the form of calcite in association with rasvumite as well as melt sulfate-carbonate inclusions.

The nature of change in the associations of inclusions is in favor of a high-temperature transformation of halite in the marginal zone. The effect has both a thermal character and an interchange of matter, which makes it possible to regard the marginal zone as an interaction zone with kimberlite.

The comparison of associations of inclusions in various chloride-containing segregations suggests that they reflect the different stages of alteration of metamorphosed sedimentary-derived evaporites during the interaction with kimberlite melt, from isochemical to the formation of chloride-containing segregations of mixed origin.

The work was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 18-05-00682).

References:

1. Baker, D.R., Aippa A., (2018): Halogens in Mafic and Intermediate-Silica Content Magmas, Chapter 6 in: The Role of Halogens in Terrestrial and Extraterrestrial Geochemical Processes, D.E. Harlov and L. Aranovich (eds.) Springer Geochemistry, Springer International Publishing AG, https://doi.org/10.1007/978-3-319-61667-4_6
2. Kamenetsky, V.S. et al., (2014): Towards a new model for kimberlite petrogenesis: Evidence from unaltered kimberlites and mantle minerals. *Earth-Science Reviews*, 139: 145-167
3. Grishina S.N., et al. (2014): Integrated paleomagnetism and U-Pb geochronology of mafic dikes of the eastern Anabar Shield region, Siberia: Implications for Mesoproterozoic paleoaltitude of Siberia and comparison with Laurentia // *J. of Geol.* V. 108. № 3. P. 381-401
4. Sharagin V.V. et al. (2001): Mineralogy and petrography of chloride-containing nodules. Materials from the site "All about Geology" <http://geo.web.ru/>.

HIMALAYA-TIBET : FROM CONTINENTAL SUBDUCTION TO CONTINENTAL COLLISION

Stéphane Guillot

ISTerre, Grenoble, France
stephane.guillot@univ-grenoble-alpes.fr

The Himalayan-Tibet range is one of the best documented continent-collisional belts and provides a natural laboratory for studying subduction processes. High-pressure and ultrahigh-pressure rocks with origins in a variety of protoliths occur in various settings: accretionary wedge, oceanic subduction zone, subducted continental margin and continental collisional zone. Ages and locations of these high-pressure and ultrahigh-pressure rocks along the Himalayan belt allow us to evaluate the evolution of this major convergent zone¹.

(1) Cretaceous (80–100 Ma) blueschists and possibly amphibolites in the Indus Tsangpo Suture zone represent an accretionary wedge developed during the northward subduction of the Tethys Ocean beneath the Asian margin. Their exhumation occurred during the subduction of the Tethys prior to the collision between the Indian and Asian continents.

(2) High to Ultrahigh-pressure rocks preserved all along the Indus-Tsangpo suture were formed during the early stage of subduction/exhumation of the Indian northern margin during the Paleocene–Eocene ; They marked the transient (10 Ma) continental subduction of the Indian continental margin

The timing of the ultrahigh-pressure metamorphism indicates that the initial contact between the Indian and Asian continents likely occurred in the western syntaxis at 57 ± 1 Ma. West of the western syntaxis, the Higher Himalayan Crystallines were thinned. Rocks equivalent to the Lesser Himalayan Sequence are present north of the Main Central Thrust. Moreover, the pressure metamorphism in the Kaghan massif in the western part of the syntaxis took place later, 7 m.y. after the metamorphism in the eastern part, suggesting that the geometry of the initial contact between the Indian and Asian continents was not linear. The northern edge of the Indian continent in the western part was 300 to 350 km farther south than the area east of the Nanga Parbat syntaxis. Such “en baionnette” geometry is probably produced by north-trending transform faults that initially formed during the Late Paleozoic to Cretaceous Gondwana rifting²⁻³. Finally, high-pressure to ultrahigh-pressure rocks in the western Himalaya formed and exhumed in steep subduction compared to what is now shown in tomographic images⁴. In Tibet, no HP to UHP rocks are tectonically exhumed due to absence of erosional processes. Only HT eclogites are brought back to the surface as xenoliths in alkaline volcanic rocks suggesting the absence of « true » continental subduction in Tibet and more probably continental underthrusting processes, related to a soft continental lithosphere⁵.

The work was supported by the by CNRS-INSU (France), NSERC(Canada) grants and the DSP-Tibet project founded by the Agence National de la Recherche (ANR-13-BS06-012-01)

References:

1. Guillot S., Mahéo, G., de Sigoyer, J., Hattori, K., Pêcher, A. (2008) - Tethyan and Indian subduction viewed from the Himalayan High- to Ultra-High-Pressure metamorphic rocks in the Himalaya. **Tectonophysics**, 451, 225-241
2. Guillot S., Replumaz A., Hattori K., Strzeczynski P. (2007) - Initial Geometry of Western Himalaya and Ultra-High Pressure Metamorphic Evolution. **Journal of Asian Earth Sciences**, 30, 557-564.
3. 2 Lanari P., *Riel N., Guillot S., Vidal O., Schwartz, O., Pêcher A., Hattori K.H. (2013) - Deciphering High-Pressure metamorphism in collisional context using microprobe-mapping methods: application to the Stak eclogitic massif (NW-Himalaya). **Geology**, doi:10.1130/G33523.1
4. Replumaz A., A. Negredo, A. Guillot S., Villaseñor (2010) - Multiple episodes of continental subduction during India/Asia convergence: insight from seismic tomography and tectonic reconstruction. **Tectonophysics**, 483, 125-134.
5. Guillot S. & Replumaz A. (2013) - Importance of continental subductions for the growth of the Tibetan plateau. **Bulletin de la Société Géologique de France**. 184, 197-221

NITROGEN AND HYDROGEN IN THE DIAMOND CRYSTALS AND THE PROBLEMS OF ITS GENESIS

Khachatryan G.K.

TsNIGRI, Moscow

The nature of the carbon source of diamond and the deep morphology of the diamondiferous areas in the platform basement remain controversial to this day.

Syngenetic impurities in diamond crystals are the source of information about the conditions of its growth in the Earth's mantle. Nitrogen and hydrogen are the main and most common impurities in natural diamond crystals. A great contribution to the study of these impurities was made by E.V. Sobolev who showed that they are a structural element of the lattice of kimberlitic diamonds. Nitrogen impurities are included in structure with the formation of numerous optically active sites, and hydrogen is chemically bonded to carbon in diamond lattice. Regularity of distribution of nitrogen and hydrogen in natural diamonds (more than 5.5 thousand samples from 96 deposits), and within individual crystals (94 samples) were studied using the IR spectroscopy.

Nitrogen and hydrogen centers in natural diamond crystals always coexist, despite the different nature of chemical bonds, and their concentrations show a positive correlation. This indicates the common source of nitrogen and hydrogen and in addition with the data on the distribution of carbon isotopes and organic matter phase impurities in crystals indicates the participation of primarily biogenic components in the formation of diamond from kimberlites and lamproites. Therefore, it is not accidental that the stable association of carbon, nitrogen and hydrogen, which is characteristic of organic compounds, is observed in diamond. Thus, one can suppose that at least some of the natural diamonds were formed due to exogenic organic substances immersed in great depths, which is consistent with the assumptions of U. Sharp, V.S. Sobolev, N.V. Sobolev, O.G. Sorokhtin with co-authors, F.V. Kaminsky and several other researchers.

Representative groups (populations) of crystals - dominant among individuals in each pipe or placer (> 50%) and secondary, were selected to compare the diamond collections from different deposits by two different parameters: the total nitrogen content in the crystals (N_{tot} from 0 to 2000 at.ppm) and the fraction of its B-aggregated form (% N_B from 0 to 100). According to the model by Taylor et al. (1990), these parameters characterize the temperature of diamond formation for a known residence time in the mantle. All populations are divided into six types according to the formation conditions by the distribution of nitrogen in crystals and taking into account the presence of inclusions of ultrabasic and eclogite associations, as well as high-pressure minerals (majorite, ferripericlase, etc.).

The populations show a tendency to decrease the nitrogen content and increase its aggergation degree (from a pair to a four-atom configuration of atoms) in the diamond lattice, which corresponds to increase of the diamond formation temperature. At the same time, the lowest-nitrogen ("nitrogen-free") diamonds ($N_{\text{tot}} \leq 20$ at.ppm) of the highest-temperature populations are the deepest, since they contain inclusions of high-pressure minerals. Therefore the main reason for the diamond formation temperature increase is related to the depth. The revealed tendency characterizes the vertical zoning of populations. Additionally, it was found that the location of the main diamond populations on the Siberian platform has a bilateral (with concentricity) zoning: the highest-temperature and deep populations are located in the center, and the lowest-temperature populations - on the edge. The combination of vertical and lateral zonation of the main populations gives a general idea of the three-dimensional morphology of the main geologic-structural zone in which the growth of diamond crystals occurs.

THERMAL HISTORY OF THE EARTH: INFERENCES FROM BASALTS AND KOMATIITES

Claude Herzberg

Department of Earth and Planetary Sciences, Rutgers University, Piscataway NJ 08854, U.S.A.
herzberg@eps.rutgers.edu

I will provide a review of models on the thermal history of the Earth which have been proposed from parameterized convection models and the petrology of basalts and komatiites. The model of Davies [1] scales convective heat loss to mantle potential temperature T_P , in contrast with the models of Korenaga [2,3] which advocate sluggish convection. The Korenaga model predicts T_P was 1500-1600°C in the Archean, and has been supported by PRIMELT petrological modeling of basalts [3]. This model predicts residues with Mg#s of 92-93, which agrees with those observed as harzburgite xenoliths in kimberlite [4]. Models of Davies [1] and Ganne and Feng [5] predict the Archean ambient mantle was cooler in T_P by about 150°C; they also predict lower Mg#s, in contrast with what is observed [4]. Hot Archean ambient mantle is also consistent with volatile-depleted melting, although this is difficult to rigorously constrain.

Mantle plume models for Archean komatiites predict high T_P that was higher than ambient mantle. Melt inclusions in olivines from Alexo and Pyke Hill [6] show the parental magma contained significant H₂O, about 0.7%. Similarly, MgO-SiO₂ contents of the komatiite primary magmas are not consistent with volatile-free melting [7]. However, it takes a lot of volatiles to compromise T_P estimates [7], and the mantle plume model will remain secure as long as the primary magma contained no more than about 1% H₂O and 5% CO₂. However, uncertainties in degassing and the petrological calibrations might compromise this interpretation.

A difficult question is how Archean komatiite sources acquired H₂O and CO₂. Ingassing by subduction may have been limited by degassing during partial melting in a hot Archean mantle. One possible resolution to this problem may be primordial ingassing in a transient cool Hadean mantle [7].

References:

1. Davies, G. (2009): Effect of plate bending on the Urey ratio and the thermal evolution of the mantle // Earth Planet. Sci. Lett. V. 287 P. 513–518.
2. Korenaga, J. (2017): Pitfalls in modeling mantle convection with internal heat production // J. Geophys. Res. V. 122 P. 4064-4085.
3. Herzberg, C., Condie, K., Korenaga, J. (2010): Thermal history of the Earth and its petrological expression // Earth Planet. Sci. Lett. V. 292 P. 79-88.
4. Servali, A., Korenaga, J. (2018): Oceanic Origin of Continental Mantle Lithosphere // Geology, submitted.
5. Ganne, J., Feng, X. (2017): Primary magmas and mantle temperatures through time // Geochem. Geophys. Geosys. V. 18, doi:10.1002/2016GC006787.
6. Sobolev, A.V., Asafov, E.V., Gurenko, A.A. et al. (2016): Komatiites reveal a hydrous Archaean deep-mantle reservoir // Nature V. 531 P. 628-632.
7. Herzberg, C. (2016): Petrological evidence from komatiites for an early Earth carbon and water cycle // J. Petrol. V. 57 P. 2271- 2288.

EVOLUTION OF PLATINUM GROUP ELEMENTS DISTRIBUTION IN LITHOSPHERIC MANTLE OF SIBERIAN CRATON (BASED ON DATA ON UDACHNAYA PIPE XENOLITHS, YAKUTIA)

Ilyina O.V.¹, Pokhilenko L.N.¹, Agashev A.M.¹

¹ IGM SB RAS
olgailyina88@igm.nsc.ru

The work presents data on composition of platinum group elements (PGE) in the uniquely fresh xenoliths from the Udachnaya kimberlite pipe: megacrystalline dunites (olivines) and granular and deformed peridotites. Megacrystalline dunites, the most depleted peridotites from upper mantle [1], are located in the mantle section presumably at depths of about 140-180 км [2, 3]. Deformed peridotites represent the root parts of the lithospheric mantle (180-220 км [2], 200-230 км [3]). Equigranular peridotites are widespread over the entire section. PGE distribution differs in all types of studied peridotites (Fig. 1). Megacrystalline dunites and granular peridotites vary broadly in Ir, Os, Ru (I-PGE) contents. Deformed peridotites, on the contrary, are characterized by similar spectra of PGE distribution in the Os-Pt interval. The Pd and Re contents only show wide variations as opposed to dunites and granular peridotites. Granular peridotites are characterized by I-PGE distribution similar to that of dunites. We suppose that depletion in Pt and Pd in megacrystalline dunites occurred at high degree of partial melting as these elements are incompatible. Granular peridotites have positive correlation between PGE and Fe₂O₃ and negative correlation between PGE and Al₂O₃+CaO. PGE enrichment in granular peridotites occurred probably at the expense of ferruginous phase during mantle metasomatism. Deformed peridotites show no clear correlation between major elements and PGE while the extreme trend values show some correlation. We propose a complex model of PGE evolution in deformed peridotites: at the initial stage during mantle metasomatism rocks depleted in I-PGE due to increase in modal garnet and clinopyroxene contents. At the final stage the Pd and Re enrichment probably resulted from the submicron sulfide phases jiggling into intergranular space.

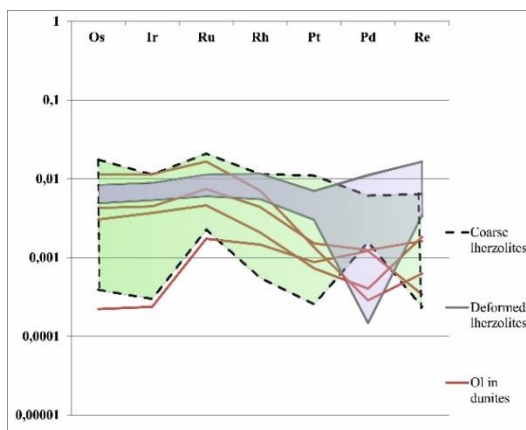


Fig. 1 – PGE distribution in Udachnaya pipe peridotite xenoliths (Yakutia)

References:

1. Pokhilenko N.P., Pearson D.G., Boyd F.R., et al. (1991): Megacrystalline dunites: sources of Siberian diamonds // Carnegie Institution of Washington Yearbook. V. 90. P. 11-18.
2. Griffin W.L., Sobolev N.V., Ryan C.G., et.al. (1993): Trace elements in garnets and chromites: diamond formation in the Siberian lithosphere // Lithos. V. 29. P. 235-256.
3. Pokhilenko N.P., Sobolev N.V., Kuligin S.S., et.al. (1999): Peculiarities of distribution of pyroxenite paragenesis garnets in Yakutian kimberlites and some aspects of the evolution of the Siberian craton lithospheric mantle//Proceedings of the VIIth international kimberlite conference, University of Cape Town, South Africa, 11-17 April, 1998. Vol. II. - Cape Town, 1999. - P. 689-698.

KIMBERLITES PETROLOGY OF CHUKUKSKAYA PIPE

Ivanov D.V.¹, Tolstov A.V.², Ivanov V.V.¹

¹Viluisk GSE JSC «ALROSA» (PC), Aikhal, ivanovdv@alrosa.ru

²SRGEE JSC «ALROSA» (PC), Mirny, tolstov@igm.nsc.ru

The Chukukskaya kimberlite pipe is located in the east of the Alakit-Markhinskoe kimberlite field in the western Yakutian diamondiferous province and has an irregular close to an oval shape. Its long axis is northeast trending (SE-60°). The surface size of the pipe at the level of the carbonate cap surface is 180x150 m with a surface area of 20866 m², which is classified, according to the "Instruction for applying the classification of reserves to primary diamond deposits" [Instruction ..., 1984], as small bodies class.

The upper part of the pipe has a near surface bell end. Under the overlying rocks, the orebody has gently undulating surface with a height varying from 20 to 25 m. The pipe is mainly composed of autolithic kimberlite breccias occasionally containing large (up to 20-25 m) xenoliths of the Ordovician carbonate rocks. Porphyry kimberlites are of rare occurrence.

The autolithic kimberlite breccias (AKB) of the Chukukskaya pipe are dense rocks of bluish and greenish-gray color with a characteristic autolithic structure and porphyric texture of the groundmass. The xenogenic material is represented by fragments of clay-carbonate rocks of the cap (up to 40-60%), rarely (1-5%) by fragments of metamorphic rocks of the basement. The groundmass is fine-grained of serpentine-carbonate composition. Phenocrysts make up 15-25% of the rock volume and are mainly represented by pseudomorphs of serpentine and calcite over olivine from the first mm to 3-7 cm in size.

According to petrographic analysis, AKB of the Chukukskaya pipe contain autoliths of round and oval shape, varying in size from 0.4 to 10 mm.

Porphyry kimberlites (PC) are of distinctive greenish-gray or bluish-gray color. The rocks have porphyric texture, while the structure is massive. The content of xenogenic material in PC, represented typically by fragments of clay-carbonate rocks, does not exceed 1-2% of the rock volume, rarely increasing to 5-7%. Minor (up to 1-3%) fragments of metamorphic rocks of the crystalline basement with a size varying from 0.1 to 3 cm, occasionally up to 7-8 cm, are represented by gneisses and shists. The groundmass is fine-grained of serpentine-carbonate composition. Predominant calcite forms elongated grains, of wide occurrence are appreciable amounts of chlorite and phlogopite in the form of laths and plates [2]. Porphyric phenocrysts represented mainly by pseudomorphs of serpentine and calcite over olivine, sometimes with an admixture of the oxide-ore mineral, make up to 20-25% of the rock volume.

The study of mineralogical and petrographic features of kimberlites petrology allows us to state that the Chukukskaya pipe is a typical representative of the Alakit-Markhinskiy diamondiferous region, whose prospects are currently far from exhausted [3].

References:

1. Instructions for applying the classification of reserves to primary diamond deposits. M.: SRC USSR, 1984.
2. Ivanov D.V., Ivanov V.V., Tolstov A.V. Features of indicator minerals of kimberlites of the new Yanvarskaya pipe (Western Yakutia). Proceedings of the higher education establishments. Geology and exploration. 2017, No.5. P. 20-26.
3. Ivanov D.V., Tolstov A.V., Ivanov V.V. Rocks petrology and features of the chemical composition of indicator minerals of kimberlites of the new Yanvarskoe body (Western Yakutia) // New in knowledge of ore forming processes: 7th Russian youth research and practice School. Moscow: IGEM RAS, 2017. P. 134-136.

MAGMATISM AND METALLOGENY OF LARGE IGNEOUS PROVINCES OF ASIA

Izokh A.E.^{1 2 3}, Poliakov G.V.¹, Ernst R.³, Borisenko A.S.^{1 2}, Gertner I.F.³,
Vrublevskii V.V.³, Tolstykh N.D.¹

¹ Institute of Geology and Mineralogy SB RAS izokh@igm.nsc.ru

² Novosibirsk State University

³ Tomsk State University

V.S. Sobolev paid much attention to the petrology of the Traps of the Siberian Craton [1]. He showed the main features of the petrographic and petrochemical composition of the traps formation and its connection with other formations and compared them with other Traps provinces. Traps (flood basalts) are now considered to be an integral part of Large Igneous Provinces (LIPs) associated with deep mantle plumes [2,3].

The magmatism and metallogeny of Large Igneous Provinces (LIPs) has received considerable attention in recent years. Detailed studies on these problems were reported only for the relatively young LIPs, such as Siberian, Emeishan, Tarim [3], and Precambrian LIPs of Siderian craton [4]. In the south of Siberia, the platinum-bearing massifs might be united into three age groups: Late Paleoproterozoic (Chiney complex, Malozadoisky massif), Late Mesoproterozoic (Srednecheremshansky massif), and Neoproterozoic (Kingash complex, Yoko-Dovyren massif, and massifs in the center of the East Sayan Mts.). On paleogeodynamic reconstructions, the position of the studied massifs is the evidence that three most precisely dated events in North Canada continued into southern Siberia: In the period 1880–1865 Ma, it was the Ghost–Mara River–Morel LIP; at 1270–1260 Ma, the Mackenzie LIP; and at 725–720 Ma, Franklin LIP. In Siberia, the mostly productive massifs with respect to PGE–Ni–Cu mineralization are those linked with the Franklin LIP: Verkhny Kingash, Yoko-Dovyren, and central part of the Eastern Sayan Mountains. The unique Cu–Ni–EPG deposits of the Norilsk region are confined to the highest temperature region of the Trap zone of the Siberian craton (250 Ma), which is considered as the central part of the head of the deep mantle plume. The affinity of platinum-bearing Cu–Ni deposits to the central parts of the plumes is well manifested for the Emeishan and Tarim plumes.

Following characteristics of the metallogeny in large igneous provinces to be revealed:

- 1) the close linkage between different mineralization types and particular pulses of mafic, alkaline mafic, and felsic magmatism;
- 2) the specific combination of mineralization types, which include magmatic Cu–Ni–Pt and Fe–Pt; hydrothermal Ni–Co–As, Au–As, Ag–Sb, Au–Hg, Sb–Hg and stratiform Cu;
- 3) the zoned distribution of mineralization types relative to LIPs' centers, with Cu–Ni–Pt, Fe–Pt and stratiform Cu mineralization localized in a LIP center, and hydrothermal mineralization bound to a LIP periphery;
- 4) the essential contemporaneity of the formation of each mineralization type in LIPs, and the existence of coeval but spatially separated Cu–Ni–Pt, Ni–Co–As and Au–As deposits;
- 5) the unified succession of ore-forming events;
- 6) the close relationship between the extent of mineralization and LIP igneous volumes, which in turn depend on the plume heat power.

The work was carried out at the expense of the RNF megagrant funds (project No 2016- 220-05- 135);

References:

1. V.S. Sobolev Petrology of Traps of the Siberian Platform // Proceedings of the All-Union Arctic Institute, vol. XLIII. Geology of L.: publishing house of the Main Directorate of the Northern Sea Route, 1936.
2. N.L. Dobretsov, A.S. Borisenko, A.E. Izokh, S.M. Zhmodik. A thermochemical model of Eurasian Permo-Triassic mantle plumes as a basis for prediction and exploration for Cu–Ni–PGE and rare-metal ore deposits// Russian Geology and Geophysics, 2010, т. 51 (9), с. 903-924.
3. R.E. Ernst (2014) Large igneous Provinces. Cambridge University Press, 653 p.
4. Mekhonoshin, A.S., **R.E. Ernst**, U. Söderlund, M. A. Hamilton, T.B. Kolotilina, A.E. Izokh, G.V. Polyakov, N.D. Tolstykh (2016) Relationship between platinum-bearing ultramafic–mafic intrusions and large igneous provinces (exemplified by the Siberian Craton). *Russian Geology and Geophysics*, v. 57, p. 822-833.

POLYCRYSTALLINE DIAMONDS FROM KAMCHATKA, RUSSIA AND POLYGENESIS OF DIAMOND IN NATURE

Kaminsky F.¹, Anikin L.P.², Wirth, R.³

¹ KM Diamond Exploration Ltd, West Vancouver, Canada
felixvkaminsky@aol.com

² Institute of Volcanology and Seismology, RAN, Petropavlovsk–Kamchatskii, Russia
alp@kscnet.ru

³ GFZ German Research Center for Geosciences, Potsdam, Germany
wirth@gfzpotsdam.de

Since the first discovery of diamonds in basaltoids of the Icha volcano complex in Sredinny Ridge, Kamchatka, Russia [1], a series of diamond finds was made in various magmatic rocks of Kamchatka: in meimechite dyke and lamproite-like tuffs in eastern Kamchatka [2], in the Philip ultramafic massif [3], and recently in fresh basaltic lavas of the Tolbachik fissure eruptions [4, 5]. In addition, we report finds of polycrystalline diamonds made in placer deposits from the Valizhgen Peninsula in Koryakia and recent lavas of the active Avacha volcano. These polycrystalline aggregates are composed of diamond grains, 1–10 µm in size, cemented (not sintered) by various SiC polymorphs, native Si⁰, silicides, tridymite, tilleyite, graphite, and amorphous material. Diamond grains contain inclusions of silicides, native β-Mn, tungsten and boron carbides, which are uncommon for both monocrystalline diamonds and carbonado. The structural and compositional features of diamond crystallites and associated minerals are characteristic for chemical vapor deposition (CVD) mechanism of formation.

The current information allows to distinguish several groups of differently formed terrestrial diamonds. (1) Static high *P-T* diamonds from kimberlites, lamproites and other deep-seated magmatic rocks; upper-mantle and lower-mantle diamonds occur within this group. (2) Diamonds from chromitites, the origin of which is still debatable. (3) Diamonds from metamorphic “ultra-high pressure” rocks. (4) Polycrystalline diamonds from volcanic rocks formed via the CVD mechanism. (5) Some enigmatic varieties of diamond, such as carbonado, formed, most likely, within the Earth’s crust under low *P-T* conditions. Hence diamond is a polygenetic mineral, which may be formed within a wide range of physico-chemical conditions.

References:

1. Kutyev, F.Sh., Kutyeva, G.V. (1975): Diamonds in basaltoids of Kamchatka // *Doklady Akademii Nauk SSSR*. V. 221. №1. P. 183–186 (in Russian).
2. Seliverstov, V.A., Kaminsky, F.V. (1994): High-pressure mineral associations in alkaline ultramafic volcanics of Kamchatka Peninsula, Russia // *International Volcanological Congress, Ankara Abstracts*, Ankara, Turkey. P. 160.
3. Shilo, N.A., Kaminskiy, F.V., Lavrova, et al. (1979): First diamond find in ultrabasic rocks of Kamchatka // *Doklady, Earth Science Sections*. V. 248. P. 176–179.
4. Gordeev, E.I., Karpov, G.A., Anikin, L.P., et al. (2014): Diamonds in lavas of the Tolbachik fissure eruption in Kamchatka // *Doklady Earth Sciences*. V. 454. №1. P. 47–49.
5. Karpov, G.A., Silaev, V.I., Anikin, L.P., et al. (2014): Diamonds and accessory minerals in products of the 2012–2013 Tolbachik fissure eruption // *Journal of Volcanology and Seismology*. V. 8. P. 323–339.

CHARNOCKITIZATION OF MAFIC AND ULTRAMAFIC GRANULITES: THE ROLE OF FLUID BRINES, MINERALOGICAL–GEOCHEMICAL TRENDS, EVOLUTION OF MINERAL ASSEMBLAGES, AND AN EVOLUTIONARY MODEL

Korikovskiy S. P.

IGEM RAS
korikovskiy@yandex.ru

Petrological and geochemical studies of charnockitization processes in mafic and ultramafic quartz-free Opx-Cpx±Grt-Hbl±Bt-Pl_{Ca} granulites [1,2,3], which are transformed into leucocratic Opx-Grt-Bt-Hbl-Pl_{Na}-Kfs-Qz anatectic enderbo-charnockites, have shown that this process cannot be adequately described within the framework of the traditional model of partial melting (so-called ultrametamorphism) because during charnockitization of mafic Si- and alkali-poor crystalline schists, silicic granite–charnockite anatexis is preceded by more and more intense Si-Na-K±Al-H₂O-Cl(F) metasomatism. Thereby mafic minerals (Opx, Cpx, Grt, Hbl, Bt) in the mafic granulites are surrounded by newly formed leucocratic (Anz-Olg) and Kfs-Olg-Qz reaction rims and the rocks themselves are penetrated by networks of newly formed Olg-Qz-, Kfs-Bt-Qz, Opx-Hbl-Olg-Kfs-Qz, (sometimes with Scp) and other types of metasomatic veinlets, in which Bt and Hbl are rich in Ti, Cl, or F because of silicic–alkaline halide-bearing composition of the brines and a certain temperature increase. Metasomatism of this type leads to progressively more intense debasification of the mafic granulites, i.e., removal of Mg, Fe, Ca, Ti, V, Cr, Zr, and HREE from them and simultaneous introduction of Si, Na, K, Al, Sr, Ba, Cl(F), as seen in variation diagrams for charnockitized mafic granulites. The partial melting of mafic granulites first of all occurs in their leucocratized domains, which are localized along fluid conduits and fractures, so that the granulites are *in situ* transformed first into nebulitic migmatites with granulite skialiths and eventually into anatectic charnockites.

A good indicator of a non-isochemical nature of the process is the continuous growth in the Fe mole fraction (Fe#, X_{Fe}), sometimes by factors of 2–2.5, of both the rocks (primary granulites) and their minerals in the course of charnockitization. It is important that the Fe# of the melanosome (residue) and leucosome simultaneously increase in the course of the process, which is in conflict with the model of ultrametamorphism in a **closed** system. The metasomatic pre-anatectic debasification of granulites takes place at the peak of granulite metamorphism, or when this peak is progradely approached, at T 750-900° and P 5-15 kbar. Along with thermobarometric data, this also follows from the origin of the charnockite assemblage Opx+Kfs+Qz and various reaction textures produced by the partial prograde decomposition of the most ferrous Bt and Hbl. Calculations, analyses of liquid inclusions, and, first and foremost, the ability of brines to dissolve mafic and ultramafic granulites indicate that charnockitizing fluids are aggressive chloride and fluoride brines whose total concentrations of salt components reach 0.45 [1,2,3]. Mg, Fe, Ca, and partly Al removed in the course of debasification, are partly disseminated outside charnockitization aureoles, and can be partly redeposited at rapid neutralization of the brines and yield cutting melanocratic basifite Opx-Cpx-Grt-Hbl-Pl_{Ca} veins or thin melanocratic rims around anatectic charnockite bodies. The identity of the *P–T* parameters of the mineral assemblages of the granulites, nebulitic migmatites replacing them, the anatectic rocks, and the debasifite and basifite metasomatites demonstrates that all of these rocks were produced within the frameworks of a single petrologic cycle at a fluid-dominant regime.

This study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research, project no. 15-05-04956).

References:

1. Aranovich L. Ya (2017) The role of brines in high-temperature metamorphism and granitization // *Petrology*. V. 25. № 5. P. 491-501.
2. Korikovskiy S.P., Aranovich L. Ya. (2010) Charnockitization and enderbitization of mafic granulites in the Porya area, Lapland Granulite Belt, Southern Kola Peninsula// *Petrology*. V. 18. № 4. P. 320-349.
3. Korikovskiy S.P., Aranovich L. Ya. (2015) Charnockitization of feldspar-free orthopyroxene-clinopyroxene-phlogopite metaultramafite in the Lapland Granulite Belt, Southern Kola Peninsula// *Petrology*. V. 23. № 3. P. 189-226.

THE INFLUENCE OF K AND NA ON NI PARTITIONING BETWEEN OLIVINE AND SILICATE MELT

Koshlyakova A.N.¹, Sobolev A.V.^{1,2}, Krashenninnikov S.P.¹, Batanova V.G.^{1,2}, Borisov A.A.³

¹ V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS
an.koshlyakova@gmail.com

² Institut des Sciences de la Terre (ISTerre) Université Grenoble Alpes, Grenoble, France

³ Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS

Olivine is one of the most widespread minerals of Earth's mantle. Consequently, olivine-melt equilibrium is used in petrological models to determine the conditions of formation and evolution of mantle melts. Nickel contents in magnesian magmatic olivine are widely used to indicate mantle source lithology [1]. At present, there is a large amount of experimental data on Ni partitioning between olivine and melt. However, the authors usually use low-alkali compositions and note the loss of alkalis during the experiments [2-8].

We present the results of more than 40 high-temperature experiments at atmospheric pressure, in which the contents of alkali in the melt are maintained high during the experiments. The starting compositions were mixtures of Hawaiian picrites and lamproites of Gausberg with addition of MgO.

Quenched runs were analyzed by EPMA at ISTerre, Grenoble, France. The experimental olivines and glasses were found to be compositionally homogeneous, glass varies in different experiments in terms of alkali content: K₂O 1-11 wt% and Na₂O 0.3-8 wt%. The results obtained, as well as the data on low-alkalis experiments, were used to establish a quantitative model of the dependence of the Ni partitioning coefficient on the melt composition and temperature. A strong positive correlation of D(Ni) on the K₂O content was observed.

This work is supported by Russian Science Foundation (project №14-17-00491).

References:

1. Sobolev A.V. et al. (2005): An olivine-free mantle source of Hawaiian shield basalts // *Nature* V. 434. №7033. P. 590
2. Leeman W.P., Lindstrom D.J. (1978): Partitioning of Ni²⁺ between basaltic and synthetic melts and olivines—an experimental study // *Geochim. Cosmochim. Acta*. V. 42. №6. P. 801-816
3. Hart S.R., Davis K.E. (1978): Nickel partitioning between olivine and silicate melt // *Earth. Planet. Sci. Lett.* V. 40. №2. P. 203-219
4. Takahashi E. (1978): Partitioning of Ni²⁺, Co²⁺, Fe²⁺, Mn²⁺ and Mg²⁺ between olivine and silicate melts: compositional dependence of partition coefficient // *Geochim. Cosmochim. Acta*. V. 42. №12. P. 1829-1844
5. Kinzler R.J., Grove T.L., Recca S.I. (1990): An experimental study on the effect of temperature and melt composition on the partitioning of nickel between olivine and silicate melt // *Geochim. Cosmochim. Acta*. V. 54. №5. P. 1255-1265
6. Ehlers K. et al. (1992): The effect of oxygen fugacity on the partitioning of nickel and cobalt between olivine, silicate melt, and metal // *Geochim. Cosmochim. Acta*. V. 56. №10. P. 3733-3743
7. Mysen B.O. (2007): Olivine/melt transition metal partitioning, melt composition, and melt structure—influence of Al³⁺ for Si⁴⁺ substitution in the tetrahedral network of silicate melts // *Geochim. Cosmochim. Acta*. V. 71. №22. P. 5500-5513
8. Wang Z., Gaetani G.A. (2008): Partitioning of Ni between olivine and siliceous eclogite partial melt: experimental constraints on the mantle source of Hawaiian basalts // *Contrib. Mineral. Petrol.* V. 156. №5. P. 661-678

AGE AND GEOCHEMICAL STUDIES OF ZIRCONS FROM THE YAKUTIAN KIMBERLITE PROVINCE

Kostrovitskiy^{1,2} S.I., Sun³ Jing, Yakovlev¹ D.A., Liu⁴ Chuan-Zhou, Wu⁴ Fuyuan, Matsuk⁵ S.S.

¹ Institute of Geochemistry SB RAS, Russia, Irkutsk, 664033 serkost@igc.irk.ru

² Institute of the Earth's Crust SB RAS, Russia, Irkutsk, 664033

³ College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing, 102249, China

⁴ Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029, China

⁵ Institute of geochemistry, mineralogy and ore formation NAS, Ukraine, Kiev

Generalization of original (97 analyses) and published data of U-Pb zircon ages from kimberlites and related rocks of the Yakut province (YKP) has been made. Four stages of activity of kimberlite volcanism (in Ma) - 1) 429-408, 2) 369-344, 3) 228-217, 4) 175-147 have been confirmed with a high degree of reliability. A comparison of the incompatible element concentrations (IE) in zircons and in the host kimberlites (studied earlier [1]) from different fields indicates a direct correlation between them. A higher level of IE content was observed in zircons from kimberlites and related rocks from some of northern fields (Ary-Mastakhskoe, Starorechinskoe, and Kuoykskoe fields). Spatial and temporal relationship of kimberlite and alkaline-basalt volcanism is evident. The reasons for the occurrence of kimberlite volcanism are discussed. Attention is focused on the spatial relations of the different age kimberlites to extended zones – corridors, which allows discussing the significant, perhaps decisive role of long-lived transform faults reaching the asthenosphere in initiating kimberlite volcanism. The frequent synchronization of kimberlite formation in different provinces and on different continents suggests that one of the reasons for the activation of kimberlite volcanism was impact events of a catastrophic scale for the whole Earth. Apparently, it is not a coincidence that the epochs of kimberlite occurrence on the Siberian platform are confined to the boundaries of the change of large stratigraphic units (eras, periods), in particular, the Silurian-Devonian, Devonian-Carboniferous, Middle Triassic-Late Triassic, Jurassic-Cretaceous.

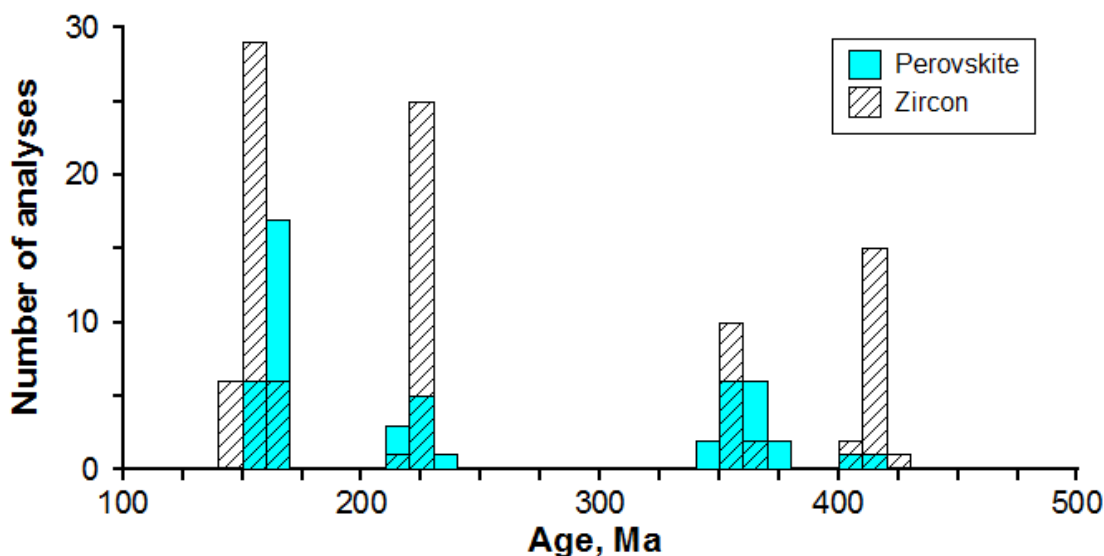


Fig. 1. Distribution of U-Pb ages for kimberlite volcanism, determined by zircons from [2] and zircons from current study.

References:

1. Kostrovitskiy S.I., Morikio T., Serov I.V., Yakovlev D.A., Amirzhanov A.A. Isotope-geochemical systematics of kimberlites of the Siberian platform (in Russian). *Geology and geophysics*. 2007. P. 48. Vol. 3. P. 350-371.
2. Sun J., Liu C.-Z., Tappe S., Kostrovitskiy S. I., Wu Fu-Yuan, Yakovlev D., Yang Yue-Heng, Yang Jin-Hui. (2014) Repeated kimberlite magmatism beneath Yakutia and its relationship to Siberian flood volcanism: insights from *in situ* U-Pb and Sr-Nd perovskite isotope analysis. *Earth and Planetary Science Letters*. V. 404. P. 283–295.
3. Davis G.L., Sobolev, N.V., Kharkiv, A.D. (1980) New data on age of Yakutian kimberlites, obtained by uranium-lead method by zircons. *Doklady AS USSR*, v. 254, pp. 175-179.

BREATHING OF VOLCANOES: TIME-DEPENDENT SEISMIC TOMOGRAPHY STUDIES OF THE NEVADO DEL RUIZ, GALERAS AND MT. SPURR

Koulakov I.¹, Vargas C.², West M.³, Smirnov S.⁴, El Khrepy S.⁵, Al-Arifi N.⁵

¹ IPGG SB RAS, Novosibirsk, Russia, KoulakovIY@ipgg.sbras.ru

² Universida Nacional de Colombia, Department of Geosciences, Bogota, Colombia,
cavargasj@unal.edu.co

³ Geophysical Institute, University of Alaska Fairbanks, Alaska, USA, mewest@alaska.edu

⁴ IGM SB RAS, Novosibirsk, Russia, ssmr@igm.nsc.ru

⁵ King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia, k_sami11@yahoo.com

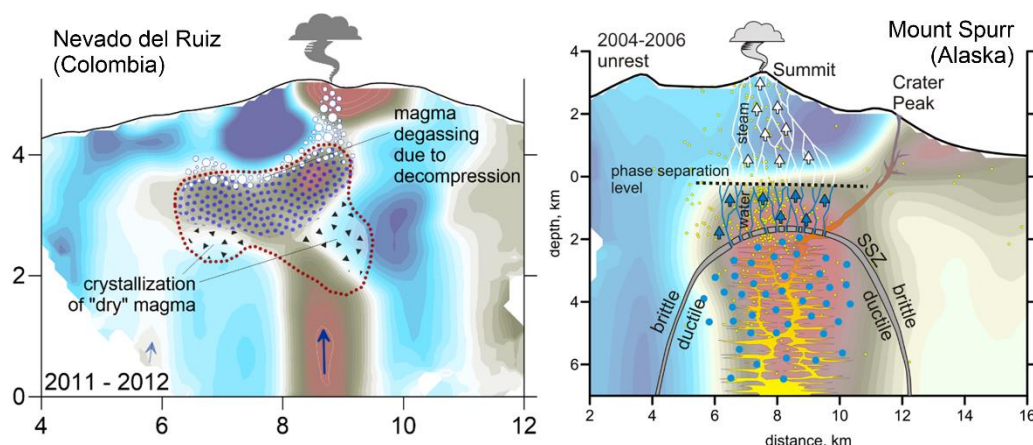


Figure 1. Snapshots of 4D tomography models for Nevado del Ruiz (left) and Mount Spurr (right) with possible interpretation. Background is the distribution of V_p/V_s ratio in the vertical sections crossing the volcanoes (brown – high V_p/V_s , liquids; blue – low V_p/V_s , dry rocks, gases).

We have developed an algorithm of repeated tomography that was implemented for studying different active volcanoes. The first example is Nevado del Ruiz in Colombia that is active since 2010. Beneath the volcano edifice, we have detected an anomaly of high V_p/V_s ratio that represents a shallow magma reservoir saturated with fluids. In the period from 2010 to 2014, this anomaly decreased the volume and amplitude, which represents gradual escape of fluids from the magma reservoir. In 2015-2016, this anomaly increased again that is explained by income of a new portion of fluid-rich magma from deeper sources. Such periodic “breathing” of magma reservoir is in agreement with the degassing regime and magma dome emplacement. Similar results were obtained for Galeras, another active volcano in Colombia.

We also performed repeated tomography studies for the Mount Spurr in Alaska. We explored the seismic structure beneath the volcano for the period from 1996 to 2012. Similarly as in the case of Nevado del Ruiz, in all time windows, we observed a large anomaly with high V_p/V_s ratio located right beneath the volcano. In episode 2, we observed a considerable ascent of the anomaly to approximately 2 km. We propose that these changes represent the fluid migration in the magma system that affects the partial melting and degassing processes in the plumbing system and controls the eruption activity of Mt. Spurr.

The repeated tomography studies performed for Mt. Spurr, Nevado del Ruiz and Galeras have revealed considerable changes of seismic velocities occurred within a few years. These temporal variations can be caused by fluid migration, which, in turn, affects the processes of melting/crystallization and degassing. All these factors control the occurrence of volcanic eruptions.

This study has been supported by RSF Grant 14-17-00430 and RFBR Grant 16-05-00477 and Complex program of SB RAS grant #44 0330-2018-0026.

SPECIFIC FEATURES OF DIAMOND POLYGENESIS FROM PLACER DEPOSITS OF THE NORTHEASTERN YAKUTIAN DIAMONDIFEROUS PROVINCE

Kovalchuk O.E., Bogush I.N.

SRGEE JSC “ALROSA” (PJSC)

oleg.kovalchuk@mail.ru

Study of the morphological characteristics of diamonds and their physical properties from the primary and placer deposits of the northern Siberian platform allowed us to determine their types based on the diamonds characteristics, in particular data of IR spectroscopy (Fig.1). Using these data, we analyzed sampling, performed zonation of territory, and make prognostic conclusions for the northeastern Siberian Platform.

The following types of diamonds are distinguished:

The type (I) diamonds are mainly with small and medium concentrations of nitrogen impurities, having small concentrations of B2-centers of medium and large sizes, and heavy carbon isotope composition. By morphology, these are laminar, more rarely rounded diamonds of I variety according to Yu.L. Orlov, with the presence of IV and II varieties. Primary sources are kimberlite bodies with low or medium diamond content.

The type (II) diamonds have total atomic nitrogen content of more than 600 ppm, the concentration of plate formations B2 is increased with their small (on average 20-25 nm) size ($\nu B2 \geq 1370$ cm⁻¹); light carbon isotope composition (typically less than 15 ‰ ¹³C). By the morphology, the crystals of the I variety are mostly rounded, rarely laminar, colorless, gray, lilac-brown as well as individual crystals of the Orlov's V, VII varieties, while the content of I variety crystals is on the average three times larger than the V and VII varieties. The primary sources are the deposits of an unknown genesis with presumably high diamond content.

The type(III) diamonds are of impact genesis. The primary sources are the rocks of the Popigay astromblem. The crystals belong to the Orlov's XI variety with specific morphological and optical-spectroscopic characteristics.

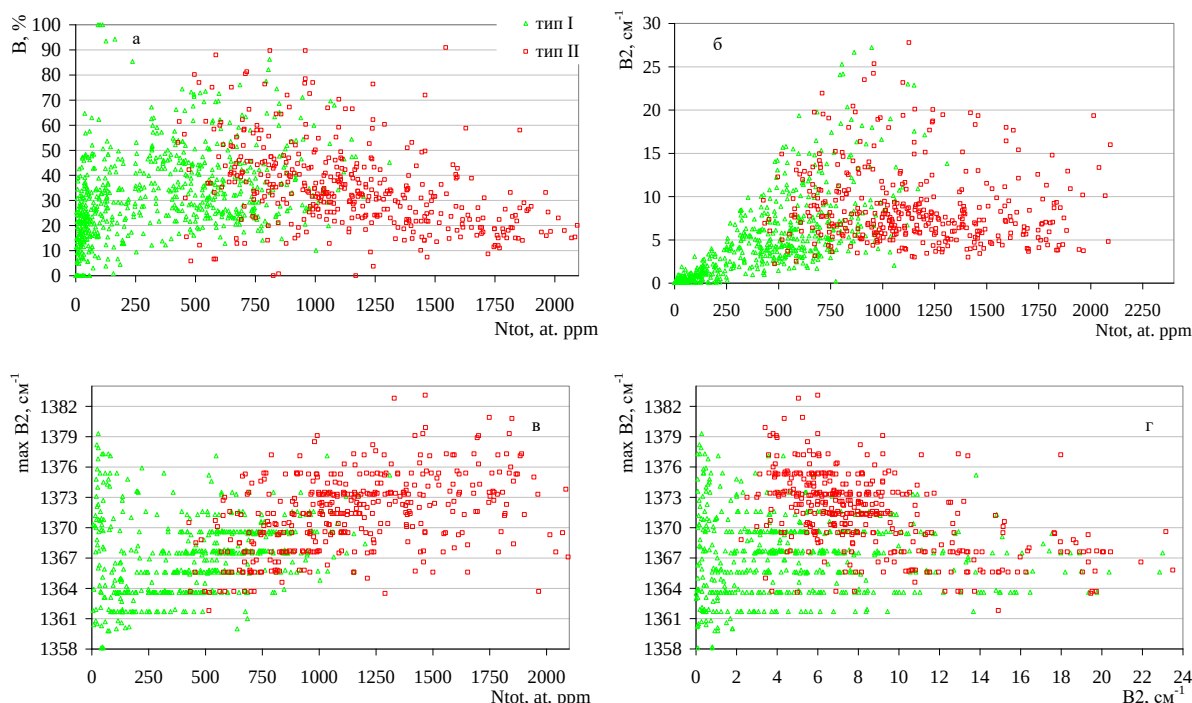


Fig.1. The nitrogen content and its aggregation (a), the absorption coefficient of the B2 center (b), the position of the maximum absorption band of the B2 center (c), and the characteristics of the B2 centers (d) in the I- and II- type diamonds.

HIGH-TEMPERATURE LOOP-TECHNIQUE EXPERIMENTS: THE NEW CONSTRAINTS ON OLIVINE AND SILICATE MELT EQUILIBRIA AT EARLY EARTH AND LUNAR MANTLE CONDITIONS

Krashennnikov S.P.¹, Sobolev A.V.^{1,2}, Batanova V.G.^{1,2}, Borisov A.A.^{1,3}, Kargaltsev A.A.¹

¹ Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS
spkrash09@gmail.com

² ISTERre, Université Grenoble Alpes, Grenoble, France

³ Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry

Understanding the principles of olivine-melt equilibria in terms of element partitioning at high temperatures is the key factor to more precise and clear interpretation of the mantle magma generation processes at early stages of Earth evolution and in Lunar mantle conditions [1,2]. Development of the EMP analytical protocols for trace elements in olivine [3] provide the new approach for numerical modelling and petrological reconstructions. New high-temperature loop experiments conducted in a one atmosphere gas-mixing Nabertherm furnace in Vernadsky Institute [4].

Hawaiian and Siberian picrite powdered and doped by major element oxides (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, CaO) and different amount of olivine used to reach the liquidus temperature up to 1600 °C for komatiites crystallization modelling. About 200 olivine-silicate melt pairs obtained at experimental conditions ranging from 1300 to 1600 °C and oxygen fugacity of dNNO ±2.

For more than 60 experiments devoted reproduce the Moon and Chondrite redox conditions Fe-wire used as a container at temperatures 1200-1500 °C and from -1 to -3 l.u. below IW buffer. Oxygen fugacity level has been chosen to reach equilibrium conditions of silicate melt and metal phase [5] to prevent neither precipitation of Fe in the silicate melt nor dissolution of Fe-wire. Glass compositions characterized by negligibly low Fe³⁺ contents due to very low oxygen fugacity. During the experiments, olivine crystals grow with very homogeneous compositions through the time of up to 100 hours with the relative standard error of 0.015 mol.% Fo#.

Testing of equilibrium conditions during the experimental runs and in the product compositions let to a new high-precision EMP analysis dataset of coexisting olivine and glass. Those experiments provide important information on major and trace element partitioning at extreme redox and temperature conditions and could be a good starting point for a new numerical modelling assessment of the magmatic processes T-fO₂ parameters and K_d calculations.

Research was made with financial support of Russian Science Foundation (project № 14-17-00491) and Russian Foundation for Basic Research (project № 17-05-00856).

References:

1. Asafov E.V., Sobolev A.V., Gurenko A.A. et.al. (2018) Belingwe komatiites (2.7 Ga) originate from plume with moderate water content, as inferred from inclusions in olivine // Chem. Geol., V. 478, P. 39-59
2. Papike J.J., Parker J.M., Shearer C.K., et al. (2005) Comparative planetary mineralogy: Valence state partitioning of Cr, Fe, Ti, and V among crystallographic sites in olivine, pyroxene, and spinel from planetary basalts // Am. Min. V. 90, P. 277-290.
3. Batanova V.G., Sobolev A.V., Kuzmin D.V. (2015) Trace element analysis of olivine: high precision analytical method for JEOL JXA-8230 electron probe microanalyser // Chem. Geol., V. 419, P. 149-157
4. Krashennnikov S.P., Sobolev A.V., Batanova V.G., et al. (2017) Experimental testing of olivine-melt equilibrium models at high temperatures // Dokl. Earth Sci., V. 475, P. 919-922.
5. Ariskin A.A., Borisov A.A., Barmina G.S. (1993) Simulating the equilibration of iron-silicate melts in basaltic systems // Geochem. Int., V. 30, № 4, P. 13-21.

PENTACOORDINATED SI IN SILICATES: NEW DATA

Gorelova L.A.¹, Pakhomova A.S.², Krivovichev S.V.³, Dubrovinsky L.S.⁴

¹ Subdepartment of Crystallography, St. Petersburg State University

² Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY), Hamburg, Germany

³ Federal Center “Kola Science Center”, Apatites

krivovichev@admksk.apatity.ru, skrivovi@mail.ru

⁴ University of Bayreuth, Bayreuth, Germany

In 2019, seventy years will have elapsed since academician V. Sobolev published his *Introduction into Mineralogy of Silicates* [1] where he analyzed a wealth of data on natural silicates, with implications for their structure, formation, and alteration. The book focuses mainly on crystal chemistry: crystallochemical considerations make its main tune and are invoked to explain various features of silicates, including optical properties, stability fields, and genesis. At that time, only slightly more than 100 structure types of silicates were known, most of them having their representatives in the natural mineral world. Almost all mineral species (except for SiP_2O_7) have tetracoordinated Si atoms and a structure consisting of SiO_4 tetrahedra bound either with each other or with the coordination polyhedra of other cations. Since 1949, the crystal chemistry studies of silicates with tetracoordinated anions have been in rapid progress, and ever new discoveries of silicate anions are appearing [2]. On the other hand, numerous publications on high-pressure silicates with hexacoordinated Si came out, one after another, since the 1960-s. These varieties are fewer than the phases with $^{\text{IV}}\text{Si}$, but they are of exceptional value for mineralogy and geochemistry: according to recent calculations, most of the mantle consists of perovskite-like phases with $^{\text{VI}}\text{Si}$. In this respect, an intermediate pentacoordinated phase was reasonably inferred to exist between $^{\text{IV}}\text{Si}$ and $^{\text{VI}}\text{Si}$ ($4 \rightarrow 5 \rightarrow 6$) rather than direct jump-like transition from tetra- to hexacoordinated Si ($4 \rightarrow 6$). NMR studies of silicate melts and glasses at upper mantle PT conditions show that most of Si should be pentacoordinated [3]. $^{\text{V}}\text{Si}$ coordination in an inorganic compound was first identified in a high-pressure phase of CaSi_2O_5 with tetragonal pyramidal coordination of some Si atoms [4]. According to recent high-pressure SR data, pentacoordinated silicon is typical of many metastable silicate modifications, including pyroxenes [5, 6] and framework or layered silicates [7, 8]. These results open a new page in the crystal chemistry of silicates and may call for major revision of the existing views on the state of silicate material deep in the Earth's interior.

References:

1. Sobolev, V.S., 1949. *Introduction into the Mineralogy of Silicates*. Lvov University Press, Lvov, 230 p. (in Russian)
2. Puscharovsky, D.Yu., Zubkova, N.V., Pekov, I.V., 2016. Structural chemistry of silicates: new discoveries and ideas. *Struct. Chem.* 27, 1593-1603.
3. Farnan, I., Stebbins, J.F., 1994. The nature of glass transition in a silica-rich oxide melt. *Science* 265, 1206–1209.
4. Angel, R.J., Ross, N.L., Seifert, F., Fliervoet, T.F., 1996. Structural characterization of pentacoordinated silicon in a calcium silicate. *Nature* 384, 441–443.
5. Finkelstein, G.J., Dera, P.K., Duffy, T.S., 2015. Phase transitions in orthopyroxene (En_{90}) to 49 GPa from single-crystal X-ray diffraction. *Phys. Earth Planet. Inter.* 244, 78–86.
6. Hu, Y., Kiefer, B., Bina, C.R., Zhang, D., Dera, P.K., 2017. High-pressure $\gamma\text{-CaMgSi}_2\text{O}_6$: does penta-coordinated silicon exist in the Earth's mantle? *Geophys. Res. Lett.* 44 (22), 11340–11348.
7. Pakhomova, A.S., Bykova, E., Bykov, M., Glazyrin, K., Gasharova, B., Liermann, H.-P., Mezouar, M., Gorelova, L.A., Krivovichev, S.V., Dubrovinsky, L., 2017. Closer look into close packing: pentacoordinated silicon in the high-pressure polymorph of danburite. *IUCrJ* 4, 671–677.
8. Gorelova, L.A., Pakhomova, A.S., Aprilis, G., Dubrovinsky, L.S., Krivovichev, S.V., 2018. Pentacoordinated silicon in the high-pressure modification of datolite, $\text{CaBSiO}_4(\text{OH})$. *Inorg. Chem. Front.*, in press.

MICROSTRUCTURE AND MINERAL INCLUSIONS IN CARBON AGGREGATES OF UREILITE METEORITES

Litasov K.D.¹, Ohfuji H.S.², Kagi H.³, Badyukov D.D.⁴

¹ IGM SB RAS, Novosibirsk, Russia

klitasov@igm.nsc.ru

² Geodynamic Research Center, Ehime University, Japan

³ Geochemical Research Center, University of Tokyo, Tokyo, Japan

⁴ Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, Russia

Ureilites contain up to 6 wt.% C as interstitial aggregates in peridotite matrix along with sulfide and iron phases. They are scarcely studied by means of transmission electron microscopy (TEM). Here we performed detailed mineralogical and microstructural study of ureilites Novo Urei and JAH 054 with particular attention to identification of microinclusions in carbon aggregates. The samples were polished using Ar-ion milling to avoid contamination of carbon aggregate surface during conventional polishing. Samples for TEM were prepared using focused ion beam (FIB) technique.

Two generations of olivine (primary Fa_{18-20} and recrystallized Fa_{1-3}) and orthopyroxene (primary with Fs_{28} and recrystallized Fs_{10-15}) were identified in Novo Urei. Primary mineralogy includes also sulfides (dobreelite, keilite) and FeNi-metal. Similarly, JAH 054 contains two generations of olivine (Fa_{17-20} and Fa_{3-4}) and orthopyroxene (Fs_{25} and Fs_{1-3}). Accessory minerals include troilite, daubréelite, FeNi-metal and chromite. Clinopyroxene and ultrafelsic glass ($\text{SiO}_2 = 75-82$ wt.%, $\text{Na}_2\text{O} = 2-3$ wt.%) were identified in smelted zones of both meteorites. Quenched SiO_2 crystals in this glass are represented by cristobalite (identified by Raman spectroscopy). In addition secondary minerals in JAH 054 include chlorite and anhydrite.

Using electronic diffraction, we identified diamond, graphite and lonsdaleite in carbon aggregates. The diamond crystals in Novo Urei (up to 20 μm) were much larger than in JAH 054 (<100 nm). EDS mapping of carbon aggregates in FIB films indicates that diamond zones do not contain any inclusions, whereas graphite-bearing zones contains inclusions of kamacite and Fe-Cr sulfide. We also investigated microinclusions in smelted zones of olivine and orthopyroxene recrystallization areas around carbon aggregates. These zones contain abundant voids and also sulfides, cohenite and possibly lawrencite. New mineralogical findings support multistage origin of ureilite during stochastic impact events at least one of which was of catastrophic characters [1, 2] and contradict with hypotheses of formation of smelted zones by reduction of Fe from olivine.

The work was supported by the Russian Foundation of Basic Research (projects no 17-05-00851).

References:

1. Miyahara, M., Ohtani, E., El Goresy, A. et al. (2015): Unique large diamonds in a ureilite from Almahata Sitta 2008 TC3 asteroid // *Geochim. Cosmochim. Acta*. V. 163. P. 14-26.
2. Goodrich, C.A., Hartmann, W.K., O'Brien, D.P. et al. (2015): Origin and history of ureilitic material in the solar system: The view from asteroid 2008 TC3 and the Almahata Sitta meteorite // *Meteor. Planet. Sci.* V.50. P.782-809.

FEATURES OF THE DIAMONDS OF THE SOUTHERN MARGIN OF THE SIBERIAN PLATFORM

Logvinova A.M.^{1 2}, Danilova Y.V.³, Gladkochub D.P.³

¹ Sobolev Institute of Geology and mineralogy SB RAS

logv@igm.nsc.ru

² Novosibirsk State University

³ Institute of the Earth's Crust SB RAS

dima@crst.irk.ru

Southern margin of the Siberian craton (Sayan area) is a promising region for the discovery of diamond deposits of various genetic types. In general, in the region, diamondiferous and potentially diamondiferous high-potassium magmatites are correlated with the Urik-Tumanshet pericratonic zone of the Early Proterozoic origin. The most promising area for discovering ore bodies of diamonds is the Udinskaya area (Nizhneudinsky, Chunskiy and Tayshet regions). On this territory, minerals-satellites of diamond were discovered: pyropes with high Cr content and low Ca content, as well as chromespinelides and picroilmenites (the size of individual grains up to 4 mm, well preserved), similar in composition to picroilmenites from industrial diamondiferous Yakutian kimberlites. An important criterion for determination the prospects for this territory was the discovery of diamonds in alluvial sediments on the left bank of the river Uda.

Complex methods were used for the first time to study 17 diamonds about 1 mm in size. Based on morphology, most of the crystals were classified to the 1st type according to Yu.L. Orlov classification [1]. They are presented by laminar crystals with octahedral, rhombic-dodecahedron and intermediate habitus, forming a continuous series of crystals with a laminar structure of the faces, on which practically don't have signs of mechanical deformation. Five crystals were of irregular shape with pronounced signs of deformation and traces of impact. On two crystals, green spots of pigmentation associated with radiation damage in placers were noted. Studies of the defect-impurity composition of the alluvial diamonds with pronounced candy sculpture showed low nitrogen content. In the nitrogen-free diamond, submicroscopic inclusions of Ca-carbonate were discovered. Inclusions of K, Fe, Ba, Sr-containing carbonates were identified in the peripheral zones. According to the previously published data, the type of the indigenous source is associated with the diamondiferous lamproites of Sayan area (Ingashinskoe field), in which the rounded diamonds are dominant [2, 3]. The data obtained earlier indicate the polygenetic origin of diamonds within the southern margin of the Siberian platform [4]. However, the morphological features of the most of the studied diamond crystals, the absence of mechanical deformations on their surface, the presence of characteristic diamond minerals, makes it possible to assume the existence of a kimberlite source within the Udinsk diamondiferous field.

This work was supported by the Russian Science Foundation (project No. 18-17-00101) and the Russian Foundation for Basic Research (project No. 16-05-00841).

References:

1. Orlov Yu. L. (1984): Mineralogy of diamond. Moscow: Nauka, 264 p.
2. Sekerin, A.P., Menshagin, Y.V.; Lashchenov, V.A. (1995): Pre-Sayan province of alkaline rock and lamproites // Doklady Akademii Nauk. V. 342. Iss 1. P. 82—86.
3. Gladkochub, D. P., Kostrovitskii, S. I., Donskaya, T. V. et al. (2013): Age of zircons from diamond-bearing lamproites of the East Sayan as an indicator of known and unknown endogenous events in the south Siberian Craton // Doklady Earth Sciences. V. 450. Iss 2. P. 597-601.
4. Egorov, K. N., Kiselev, A. I., Men'shagin, Yu. V. et al. (2010): Lamproite and Kimberlite of the Sayany Area: Composition, Sources, and Diamond Potential // Doklady Earth Sciences. V. 435. Iss 2. P. 1670-1675.

ISOTPIC-GEOCHEMICAL STUDY OF MEGACRYSTALLINE PERIDOTITES WITH A SUBCALCIUM GARNET FROM THE UDACHNAYA KIMBERLITE PIPE, SIBERIAN CRATON

**Malkovets V.G.^{1,2,3,4}, Pokhilenko L.N.², Pokhilenko N.P.², Griffin W.L.⁴, Tretiakova I.G.⁵,
Kostrovitsky S.I.⁶, Belousova E.A.⁴, O'Reilly S.Y.⁴**

¹ Geo-Scientific Research Enterprise ALROSA (PJSC), Mirny
vladimir.malkovets@igm.nsc.ru

² IGM SB RAS, Novosibirsk

³ Geology-Geophysics Department of the NSU, Novosibirsk

⁴ ARC CoE CCFS/GEMOC, Macquarie University, Australia

⁵ TsNIGRI, Moscow

⁶ Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk

Based on comparative mineralogical studies of xenoliths of megacrystalline harzburgite-dunites (MHD) with subcalcium Cr-rich pyrope and mineral inclusions in diamonds, it was established that MHD are the parent rocks of Siberian peridotitic diamonds [1,3,4]. The study of a new collection of MHD xenoliths from a unique fresh block of the Udachnaya kimberlite pipe has also confirmed the similarity of chemical compositions of MHD minerals and mineral inclusions in diamonds [2].

As a result of detailed mineralogical and geochemical studies of MHD xenoliths, we found evidences of multi-stage metasomatic enrichment involving fluids/melts of different compositions. The most recent episode of metasomatic modification is associated with kimberlitic and pre-kimberlitic fluids/melts. Interaction with such fluids is recorded by the formation of a kelyphitic rims on garnets, the replacement of orthopyroxene with clinopyroxene, and the formation of a veined interstitial association of djerfisherite + magnetite + monticellite, unstable at high pressures. We used SIMS to carry out a study of the distribution of trace elements in garnets to determine the internal zoning. As a result, it has been found that in the overwhelming number of investigated grains (> 90%) zoning is detected both for major and for trace elements (Ca, LREE, Sr, etc.). Most garnets have S-shaped REE distribution spectrum, which were formed during reaction of carbonatitic fluid/melt with REE depleted garnet.

In situ Re-Os dating of sulphides in MHD reveals two age stages in the evolution of MHD: T_{RD} 3.51-3.0 Ga and T_{RD} 2.12-1.87 Ga. The most ancient ages reflect the time of MHD formation in the depleted lithosphere of the Siberian craton. The Paleoproterozoic ages reflect the metasomatic transformation of the diamondiferous lithospheric mantle during the amalgamation of individual Archean terranes into the modern structure of the Siberian craton. The presence of the zoning for major and trace- elements indicates that the latest stage of the MHD transformation associated with kimberlitic or pre-kimberlitic fluids/melts.

Mineralogical research was carried out within the framework of the state assignment project (project No. 0330-2016-0006), with the support of the RFBR grant (project No. 16-05-01052). Geochemical and isotopic studies were supported by the Russian Science Foundation (project No. 18-17-00249).

References:

1. Pokhilenko N. P., Sobolev N. V., Boyd F. R., et al. (1993): Megacrystalline pyrope peridotites in the lithosphere of the Siberian platform: mineralogy, geochemical peculiarities and the problem of their origin // *Geol. Geofiz.* V. 34. №. 1. P. 71-84 (in Russian)
2. Pokhilenko L.N., Mal'kovets V.G., Kuz'min D.V. and Pokhilenko N.P. (2014): New data on the mineralogy of megacrystalline pyrope peridotite from the Udachnaya kimberlite pipe, Siberian Craton, Yakutian diamondiferous province // *Doklady Earth Sciences*, V. 454. №. 2. P. 179-184.
3. Sobolev N. V., Pokhilenko N. P. and Efimova E. S. (1984): Xenoliths of diamond-bearing peridotites in kimberlites and the problem of diamond origin. // *Geol. Geofiz.* V. 25. P. 63-80 (in Russian).
4. Pokhilenko N.P., Sobolev N.V., Lavrent'ev, Yu.G. (1977): Xenoliths of diamondiferous ultramafic rocks from Yakutian kimberlites // II Intern. Kimberlite Conf. Abstr. Santa Fe. No. 71.

SUEVITE OF THE POPIGAI IMPACT CRATER: SOME FEATURES OF GENESIS

Malygina E.V.¹, Shchukina E.V.¹, Nikolenko E.I.¹, Afanas'ev V.P.¹

¹ Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS
malygina@igm.nsc.ru

The Popigai impact crater, a large ring structure, 100 km in diameter, originated at about 35.7 Ma in the northeastern Anabar shield within the Popigai River catchment. The crater consists mainly of suevite and tagamite, which are diamond-rich impact rocks [1]. Diamond formed by solid-phase conversion from graphite in target rocks as a result of impact compression [2]. We used a number of suevite samples collected during the field trip of 2014.

Suevite is identical to tagamite and within-crater gneiss in the Popigai crater in its major-element composition and REE patterns [3]. The suevite samples are composed of up to 70 vol.% mono- and poly-mineral melt glasses (i), 5-7 vol.% diaplectic glass (ii); 25 vol.% fragments of target rocks and their minerals (iii); and 3-5 vol.% accretionary lapilli (iv) [2, 4]. The melt glasses have smooth, porous or foamy textures, often with traces of flow, and an apogneiss composition of Qz+kfs/Qz+Pl/Kfs+plag. The diaplectic glasses are mainly maskelynite ($\text{Ab}_{60}\text{An}_{31}\text{Or}_9$ to $\text{Ab}_{21}\text{An}_3\text{Or}_{76}$) and lechatelierite or, less often apo-Tu and apo-grt. The mineralogy of suevite comprises more than twenty five identified species [6], including the rock-forming Qz, Kfs ($\text{Or}_{91-98}\text{Ab}_{2-9}$), Pl ($\text{Ab}_{33-48}\text{An}_{65-43}\text{Or}_{9-2}$), Ap, Chlt, and mica, as well as the Grt ($\text{Alm}_{48-70}\text{Spe}_{0-28}\text{And}_{0-3}\text{Gro}_{1-18}\text{Py}_{2-40}$), Ilm ($\text{Cr}_{175-100}\text{Ge}_{10-9}\text{Py}_{0-16}\text{Hem}_{0-8}$), Px ($\text{Di}_{0-1}\text{Hd}_{0-1}\text{En}_{53-65}\text{Fs}_{34-46}$; $\text{Di}_{59-73}\text{Hd}_{19-27}\text{En}_{5-8}\text{Fs}_{2-4}$), Amf, Zr, Mnz, Sphe, Crt, Baddeleyite, Scheelite, Britholite, and Sulf accessories. The samples also contain metallic iron, Ru-nigrin, armalcolite, and zhanghengite (CuZn). Mineral formation was accompanied by metasomatism with loss and gain of elements (K, Na, Fe, Si, Mg, Ca, Al, and Ti).

Most of minerals in suevite bear signatures of shock metamorphism, such as linear cracks and planar deformation; diaplectic and melt glasses themselves evidence of the impact origin [5]. Lechatelierite lenses indicate that the impact event reached a temperature of $> 1700^\circ\text{C}$.

The obtained mineralogical and petrological results fully confirm the hypothesis of the suevite origin from an explosion cloud by mixing as a result of ballistic or relatively free dispersion during the crater formation [6].

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, Project No. 0330-2016-0006.

References:

1. Masaitis V.L., Kirichenko V.T., Mashchak M.S., et al. (2013): The primary deposits and deposits of impact diamonds of the Popigai region (Northern Siberia) // *Region. geologiya i metallogeniya*. № 54. P. 89–98 (In Russian).
2. Vishnevsky S.A., Raitala J., Gibsher N.A., et al. (2006): Impact Tuffisites of the Popigai Astrobleme // *Russian Geology & Geophys.* V. 47. P. 711–730.
3. E.V.Shchukina, V.P. Afanasiev, K.V. Lobov et al., (2017): New data on the composition of tagamites of the Popigai astrobleme // *Doklady Earth Science*. Vol. 473. Part 1. P. 333–337.
4. Vishnevskiy S.A. (2007): *Astroblemes* // Novosibirsk, “Nonparel”. 288 p. (in Russian).
5. Malygina E., Shchukina E., Afanas'ev V., et al. (2018): Mineralogy of suivites from the Popigai impact crater, Russia // in *EGU General Assembly, Geophysical Research Abstracts*, Vol. 20, EGU2018-2248. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2018/EGU2018-2248.pdf>
6. Vishnevsky S.A. (1994): The suevite megabreccia: a new type of explosion cloud deposits of the Popigai astrobleme. 1. General characteristic. Novosibirsk. (Preprint). Institute of Mineralogy and Petrology SB RAS.

THE GENESIS OF JADEITITE AND JADEITE-RICH ROCKS

Maresch W.V.¹, Schertl H.-P.¹, Hertwig, A.², Kawamoto, T.³

¹ Ruhr-University Bochum, Germany
walter.maresch@rub.de, hans-peter.schertl@rub.de

² University of Wisconsin-Madison, Madison, USA
andreas.hertwig@rub.de

³ Kyoto University, Japan
kawamoto@bep.vgs.kyoto-u.ac.jp

Jadeitite, or jadeite jade, is a metamorphic rock composed predominantly of the mineral jadeite, NaAl(Si₂O₆). About 20 jadeitite occurrences are presently known [1]. This rare rock-type is associated with serpentinite-matrix mélange units generated in subduction zones, but the genesis of such mono-mineralic Na-Al-Si-rich rocks is still debated. Early petrological studies [2][3] suggested formation by comprehensive metasomatic replacement of blocks of igneous, metamorphic or sedimentary protoliths in the serpentinite via high-pressure aqueous fluids (“R-type jadeitites” [4]). Later, Harlow and coworkers (see summary in [1]) advocated the concept that massive jadeitites form by direct precipitation from a high-pressure aqueous fluid (“P-type jadeitites” [4]). Detailed criteria to distinguish P- and R-types have now evolved ([5][6] and references therein), and occurrences are being reinvestigated.

We have studied the serpentinite mélanges of the Rio San Juan Complex of the Dominican Republic [7]. Here, jadeite-rich rocks occur as loose blocks and also as concordant layers or discordant veins in lawsonite blueschist, allowing primary contact relationships to be studied: 1) Major/minor element analysis indicates that derivation of many jadeite-rich rocks by isochemical overprinting or simple metasomatic recrystallization (desilification, addition of CaO or Na₂O) from oceanic plagiogranite is possible (R-type). 2) SIMS U–Pb dating, REE and trace-element analysis as well as oxygen isotope ratios of zircon indicate growth in a magmatic rock and not in a hydrothermal environment (R-type). Zircon from loose blocks and both interlayered jadeitite and blueschist host is indistinguishable in age (~115 Ma) and composition. Younger domains ~75 Ma in age may date jadeitite later formation. 3) Discordant jadeitite veins with crack-seal features are P-type, but contain no zircon. 4) Very few jadeitites show oscillatory jadeite growth indicative of open-system P-type. 5) 125 analyzed primary aqueous-fluid inclusions in jadeite, quartz, apatite and lawsonite yield a well-defined mean of 4.5±1.1 wt% (±1 s.d.) NaCl equiv in both P- and R-type jadeite-rich rock [8], indicating a pervasive homogeneous fluid.

P- and R-type processes can be considered to be end-member scenarios in both space and time in a subduction zone. Hybrid genetic processes should be expected.

References:

1. Harlow G.E., Sorensen S.S., Sisson V.B., et al. (2014): The geology of jade deposits. Mineralogical Association of Canada, Short Course Series, Vol. 44, P. 305–374.
2. Coleman, R.G. (1961): Jadeite deposits of the Clear Creek Area, New Idria District, San Benito County, California. // *J. Petrol.*, № 2, P. 209–247.
3. Dobretsov N.L. (1963): Mineralogy, petrography and genesis of ultrabasic rocks, jadeitites, and albitites from the Borus Mountain Range (The West Sayan). // *USSR Academy of Sciences (Siberian Branch). Proc. Inst. Geol. Geophys.* №15, P. 242–316.
4. Tsujimori T., Harlow G.E. (2012) Petrogenetic relationships between jadeitite and associated high-pressure and low-temperature metamorphic rocks in worldwide jadeitite localities. // *Eur. J. Min.*, № 24, P. 371–390.
5. Yui T.-F., Fukuyama M. (2015) A revisit to the Yorii jadeite–quartz rock, the Kanto Mountains, central Japan: Implications for petrogenesis. // *J. Asian Earth Sci.*, № 108, P. 58–67.
6. Hertwig, A., McClelland, W.C., Kitajima, K., et al. (2016): Inherited igneous zircons in jadeitite predate high-pressure metamorphism and jadeitite formation in the Jagua Clara serpentinite mélange of the Rio San Juan Complex (Dominican Republic). // *Contr. Mineral. Petrol.*, 2016, № 171, P. 48.
7. Schertl H.-P., Maresch W.V., Hertwig A. (2018) Jadeitites and related HP-rocks from Hispaniola and their bearing on the dynamics of subduction zones. // *this meeting*
8. Kawamoto T., Hertwig A., Schertl H.-P., et al. (2018): Fluid inclusions in jadeitite and jadeite-rich rock from serpentinite mélanges in northern Hispaniola: Trapped ambient fluids in a cold subduction channel. // *Lithos*, № 308-309, P. 227–241.

Ca-CARBONATE-Fe REACTION IN MODEL PERIDOTITE: IMPLICATION FOR FORMATION OF Ca-RICH SILICATES IN THE UPPER MANTLE

Martirosyan N.S.¹, Podborodnikov I.V.^{1 2}, Shatskiy A.¹, Litasov K. D.¹², Yoshino T.³

¹ IGM SB RAS

martirosyan_naira@igm.nsc.ru

² Department of Geology and Geophysics NSU,

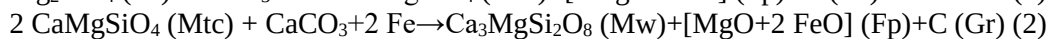
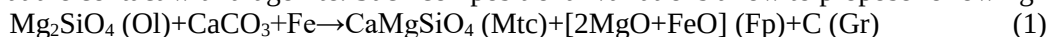
³ Institute for Planetary Materials, Okayama University, Misasa, Japan

Subduction of the tectonic plates provides a large flux of carbonates, predominantly calcite, incorporated in the oceanic sediments, hydrothermally altered basalts and peridotites [1]. Previous investigations have shown that Ca-carbonates can be transported down to the depths of the deep upper mantle without sufficient decarbonation and melting beneath the island arcs [1]. The presence of Ca-carbonates at the depth's exceeding 200 km is proven by the findings of Ca-rich mineral inclusions in super-deep diamonds, including dolomite and calcite [2].

One of the factors which will control preservation of carbonates in the deep mantle is the redox conditions. Oxygen thermobarometry measurements on garnet peridotites from cratonic lithosphere reveal that mantle becomes more reduced with depth [3]. Below 250-300 km mantle rocks would contain metallic Fe [3]. Findings of metallic iron and iron carbides as inclusions in diamonds [4] are in good agreement with this concept. Under such conditions, carbonates and carbonatite melts will react with Fe dispersed in the silicate rocks with formation of reduced carbon phases diamonds or carbide [5].

In the present work, we studied CaCO₃/olivine-Fe system, which allows to model phase relations in the carbonate-peridotite system in the presence of metallic iron. Experiments were conducted at 6 GPa and 1100-1300°C with duration 2, 12 and 24 h using multianvil apparatus. Samples were analyzed by EDS and Raman spectroscopy.

In all samples, substantial amount of aragonite was preserved, while iron was detected only in experiment with the shortest duration. Formation of merwinite (Mw), monticellite (Mtc), ferropericlase (Fp), graphite (Gr) and silicate-bearing carbonatite melt was observed. All new phases form distinct layers: Mtc, Fp and Gr were detected at the contact with olivine; whereas Mw, Fp, Gr and carbonatite melt are located at the contact with aragonite. Such compositional variations allow to propose following reactions:



The present experiments show the possible mechanism of monticellite and merwinite formation. Mtc is a typical mineral of kimberlites and alkaline rocks. Mw was found with Ca-carbonate and olivine in diamond inclusions from Juina, Brazil [2]. Formation of both minerals can be considered as an indicator of the CaCO₃ metasomatic activity in the ultramafic assemblages. Further evolution of the peridotite system will possibly lead to the formation of clinopyroxene.

This work was supported by the Russian Foundation of Basic Research (projects no 18-35-00104).

References:

1. Dasgupta, R., Hirschmann, M.M. (2010): The deep carbon cycle and melting in Earth's interior // *Earth and Planetary Science Letters*, 298: 1-13.
2. Zedgenizov, D.A., Shatskiy, A., Ragozin, A.L., et al. (2014). Merwinite in diamond from Sao Luiz, Brazil: A new mineral of the Ca-rich mantle environment // *American Mineralogist*, 99: 547-550.
3. Frost, D.J., McCammon, C.A. (2008). The redox state of Earth's mantle // *Annu. Rev. Earth Planet. Sci. Lett.*, 36: 389-420.
4. Smith, E.M., Shirey, S.B., Nestola, F., et al. (2016). Large gem diamonds from metallic liquid in Earth's deep mantle // *Science*, 354: 1403-1405.
5. Martirosyan, N.S., Litasov, K.D., Shatskiy, A., et al. (2015). The reactions between iron and magnesite at 6 GPa and 1273–1873 K: Implication to reduction of subducted carbonate in the deep mantle // *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 110: 49-59.

TI-BEARING PHASES IN THE MANTLE: EVIDENCE FROM EXPERIMENTS WITH THE Na_2O – MgO – SiO_2 – TiO_2 SYSTEM AT 7–24 GPa

Matrosova (Sirotkina) E.A.^{1 2}, Bobrov A.V.^{1 2}, Bindi L.³, Irifune T.⁴

¹ V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry

ekaterina.a.sirotkina@gmail.com

² Geological Faculty, MV Lomonosov Moscow University

³ University of Florence, Italy

⁴ University of Ehime, Japan

The behavior of impurities has important implications for the chemical and phase compositions of the deep Earth material. Solubility of trace elements in high-pressure phases has been poorly studied yet, but, even in minor amounts, they may influence the physicochemical parameters of mantle equilibria and crystal chemistry of mantle phases [1, 2]. The mantle stores quite small amounts of titanium (~0.2 wt.% TiO_2 in pyrolite) [3], but Ti-rich mineral assemblages may form during subduction of oceanic crust.

The maximum solubility of titanium in mantle phases and its effect on phase change parameters were studied in experiments with an enstatite-geikielite system at pressures from 10 to 24 GPa and a constant temperature of 1600°C. The studies revealed the influence of Ti on the parameters of mantle equilibria and placed constraints on unit cell sizes of some phases involved into reactions.

The stability field of Na-Ti-pyroxene was determined experimentally at the University of Ehime (Matsuyama, Japan), under $P = 10$ –24 GPa and $T = 1000$ –1300°C, on a multi-anvil high-pressure apparatus. Depending on P - T conditions, the run products included main phases of Na-Ti pyroxene (at 10 GPa) or Na pyroxene coexisting with the $\text{Na}(\text{Ti}_{1.5}\text{Mg}_{0.5})\text{O}_4$ phase that has a calcioferrite structure (at 16 GPa); the 24 GPa runs produced MgSiO_3 bridgmanite with high Na and Ti contents. These phases made up at least 90 vol.% in the experimental samples.

The Na-Ti-pyroxene obtained in the 10 GPa runs occurred as small euhedral prismatic crystals, within 30 μm , with a composition (57.23 wt.% SiO_2 , 9.52 wt.% MgO , 14.39 wt.% Na_2O , and 17.41 wt.% TiO_2 , a total of 98.55 wt.%, according to EMPA) proximal to the ideal $\text{Na}_{0.99}(\text{Mg}_{0.51}\text{Ti}_{0.47})\text{Si}_{2.03}\text{O}_6$ stoichiometry. Higher-temperature runs (1300 instead of 1000°C) yielded minerals with lower Ti contents. The 16 GPa runs led to the formation of Na-pyroxene ($\text{NaMg}_{0.5}\text{Si}_{2.5}\text{O}_6$), the calcioferrite $\text{Na}(\text{Ti}_{1.5}\text{Mg}_{0.5})\text{O}_4$ phase (within 10 μm crystal), and stishovite. The MgSiO_3 bridgmanite that formed at >24 GPa occurred as massive cracked aggregates of up to 70 μm grains and contained 17 mol.% MgTiO_3 and up to 3.8 wt.% Na_2O .

The study was supported by grant MK-1277.2017.5 from the President of the Russian Federation for young candidates of science and by grant 17-55-50062 from the Russian Foundation for Basic Research.

References:

1. Panero, W.R., Akber-Knutson, S., Stixrude, L., 2006. Al_2O_3 incorporation in MgSiO_3 perovskite and ilmenite. *Earth Planet. Sci. Lett.* 252, 152–161.
2. Andraut, D., 2007. Properties of lower-mantle $\text{Al}(\text{Mg},\text{Fe})\text{SiO}_3$ perovskite. *Geological Society of America. Special Papers.* 421, 15–36.
3. Ringwood, A.E., 1966. The chemical composition and origin of the Earth. In: *Advances in Earth science*. Hurley, P.M. (Eds), M.I.T. Press, Cambridge, pp. 287–356.

THE Fe–Fe₂P PHASE DIAGRAM AT 6 GPa

Daniil A. Minin^{1,2*}, Anton F. Shatskiy^{1,2}, Konstantin D. Litasov^{1,2}, Hiroaki Ohfuji³

¹V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Russian Academy of Science, Siberian Branch, Novosibirsk 630090, Russia

²Novosibirsk State University, Novosibirsk 630090, Russia

³Geodynamic research center, Ehime University, Matsuyama, Japan

*e-mail: daniil_minin@igm.nsc.ru

Fe–P is one of the basic phase diagrams for understanding the core formation in asteroids and planets. Recent finding of high-pressure minerals in iron meteorites [Holtstam et al., 2003; Litasov and Podgornyykh, 2017] and abundance of complex Fe–Ni–P–S quench textures with unusual bulk compositions indicate great importance of the study of related systems at elevated pressures. Although high-pressure modifications of meteorite appear under shock conditions for the short time, static high-pressure experiments are more relevant for interpretation of these processes relative to shock wave experiments, where duration of shock is too short to model meteorite impacts. We have experimentally determined the Fe–Fe₂P phase diagrams at 6 GPa and 900–1600 °C. Experiments have been conducted in ceramic (3MgO·4SiO₂) capsules using a uniaxial multianvil apparatus ‘Discoverer’ installed at IGM SB RAS, Novosibirsk.

The Fe–Fe₂P system has two intermediate compounds: Fe₃P and Fe₂P (Fig. 1a). The Fe–Fe₃P eutectic is established at 1075 °C and 16 mol% P. The Fe₃P compound melts incongruently at 1250 °C to produce Fe₂P and liquid containing 23 mol% P. The Fe₂P compound melts congruently at 1575 °C. In whole studied temperature range, metallic iron dissolved measurable amounts of P suggesting an existence of limited solid solutions of P in Fe. The maximum P content in Fe, 4.2–5.2 mol%, is established at 1100–1200 °C. A comparison with the Fe–FeP phase diagrams at 1 atm and 23 GPa indicate similar phase relations, whereas eutectic and peritectic temperature gradually increases.

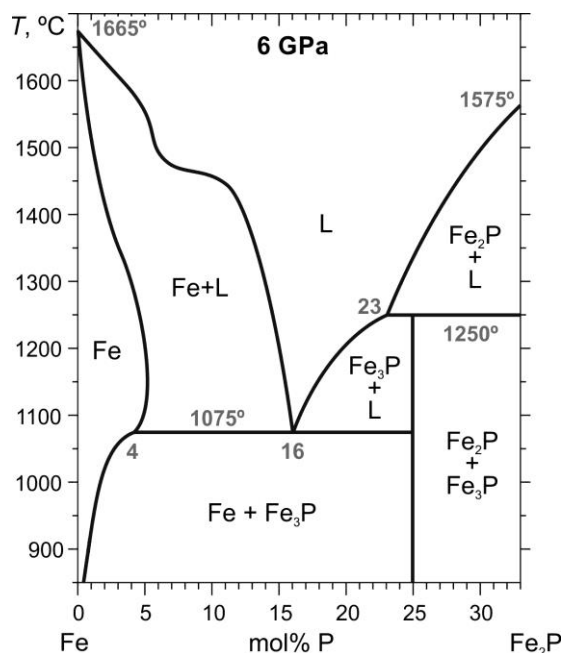


Fig.1 Fe–Fe₂P phase diagram

The work was supported by Russian Science Foundation (project № 17-17-01177).

References:

1. Holtstam D., Broman C., Söderhielm J., et al. (2003): First discovery of stishovite in an iron meteorite // *Meteoritics & Planetary Science*. V. 38. №11. P. 1579-1583.
2. Litasov K.D., Podgornyykh N.M. (2017): Raman spectroscopy of various phosphate minerals and occurrence of tuite in the Elga IIE iron meteorite // *Journal of Raman Spectroscopy*. V. 48. №11. P. 1518-1527.

USING MICRO-RAMAN TECHNIQUE TO ESTIMATE CO₂ CONTENT IN MELT INCLUSIONS FROM KAMCHATKA

Mironov N.L.¹, Nazarova D.P.¹, Smirnov S.Z.², Portnyagin M.V.^{1,3}

¹ V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Moscow
nmironov@geokhi.ru

² V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk

³ GEOMAR Research Centre for Ocean Research Kiel, Germany

Melt inclusions (MIs) in olivine, which can escape degassing during magma ascent and eruption, provide direct information about volatiles (e.g. H₂O, CO₂, S, Cl, F) in primitive magmas [1-3]. Melt inclusions often contain fluid bubbles, which were shown contain a major fraction of CO₂ initially dissolved in melt at the moment of inclusion entrapment. Previous studies have shown that fluid density in the bubbles can be quantified using micro-Raman technique [4]. The data can be used to calculate the bulk CO₂ content in melt inclusions. In the course of this study, the micro-Raman technique to measure CO₂ fluid density was established using Horiba Labram HR800 machine in IGM RAS in Novosibirsk. On the initial stage of the project, we made an instrument specific calibration between the Fermi diad distance and CO₂ density of fluid bubbles (Fig.1a). This calibration together with accurate determination of the size, shape and volume of melt inclusions and their bubbles was used to identify decrepitated inclusions, type of fluid bubble (shrinkage, fluid dissolution, fluid excess) and to estimate minimal CO₂ content in parental magmas of Kamchatka (Fig 1b). The data is used to estimate minimal CO₂ contents in parental magmas of a number of volcanoes in Kamchatka, magma crystallization pressure and to evaluate CO₂ contribution of the mantle and subducted slab in the magma sources.

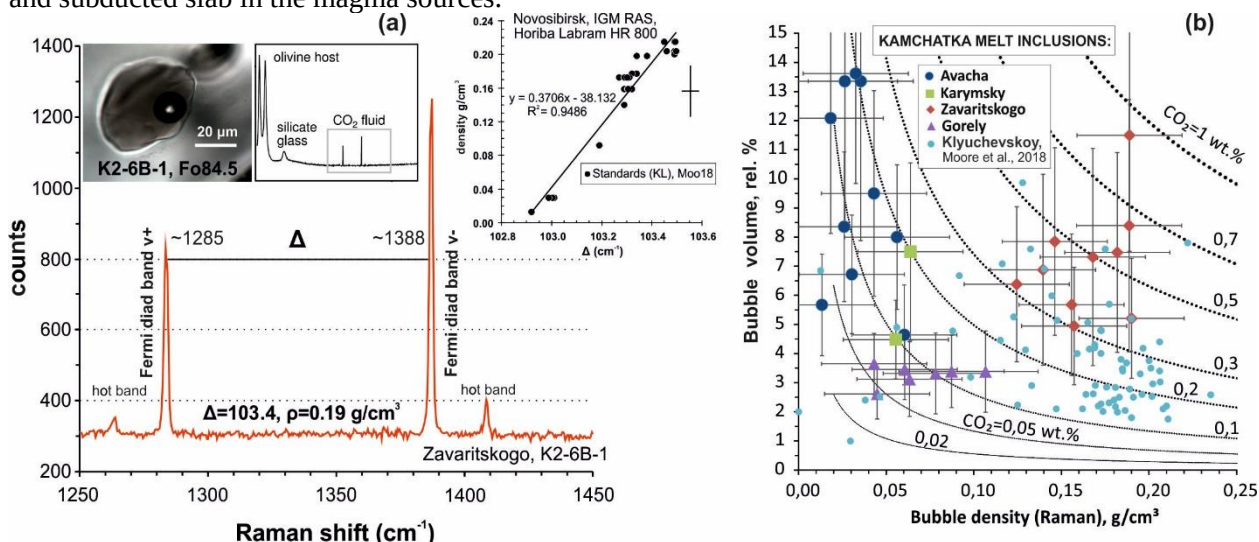


Fig. 1 Raman-spectra of a typical low-density CO₂ fluid bubble inside MIs and calibration line for CO₂ density (a). Diagram (b) shows data on bubbles CO₂ densities and their relative volumes for studied Kamchatka arc MIs. The curves show minimum CO₂ contents of MIs accounting only their bubbles.

The research was supported by Russian Foundation for Basic Research (№ 17-35-50081_mol-nr).

References:

1. Sobolev A.V., Chaussidon M. (1996) H₂O concentrations in primary melts from island arcs and mid-ocean ridges: Implications for H₂O storage and recycling in the mantle // *Earth Planet. Sci. Lett.* V. 137. P. 45-55.
2. Wallace P.J. (2005) Volatiles in subduction zone magmas: concentrations and fluxes based on melt inclusion and volcanic gas data // *J. Volc. Geoth. Res.* V. 140 (1-3). P. 217-240.
3. Portnyagin M., Hoernle K., Plechov P., Mironov N., Khubunaya S. (2007) Constraints on mantle melting and composition and nature of slab components in volcanic arcs from volatiles (H₂O, S, Cl, F) and trace elements in melt inclusions from the Kamchatka Arc // *Earth Planet. Sci. Lett.* V. 255 (1-2). P. 53-69.
4. Moore L.R., Mironov N.L., Portnyagin M.V., Bodnar R.J., Gazel E. (2018) A comparative study of volatile contents of primitive arc bubble-bearing melt inclusions determined by mass-balance versus experimental homogenization methods // *J. Volc. Geoth. Res.* In press. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2018.1003.1007.

MANTLE MELTING CONDITIONS BENEATH KARYMSKY VOLCANO, KAMCHATKA

Nazarova D.P.^{1*}, Portnyagin M.V.^{1 2}, Krasheninnikov S.P.¹

¹ V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Moscow, Russia

[*nazarovadariap@gmail.com](mailto:nazarovadariap@gmail.com)

² GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, Germany

The composition and origin of parental subduction-related magmas is one of fundamental problems of petrology and geochemistry. Here we present new data on the composition of olivine phenocrysts, melt inclusions and inclusions of chromium spinel in olivine from high Mg# basalts of Karymsky volcano [1]. The conditions of parental magma origin of Karymsky volcano were quantified using modern methods of micro-element thermobarometry. The parental magmas were estimated to crystallize at 1114 ± 27 °C [2] and oxygen fugacity of $\Delta QFM = 1.5 \pm 0.4$ [4]. The low temperatures are in agreement with direct determination H₂O content in melt inclusions [2, 3], which showed that the parental melts contained at least 4.5 wt.% H₂O. Primary melts of Karymsky volcano originate from about 12% melting of an E–DMM - like peridotite source [5] at a temperatures of 1230 ± 15 °C and pressure of ~ 1.5 GPa as estimated using models [6, 7]. The mantle temperature estimates are lower than those obtained earlier for Kamchatkan volcanoes [6] and indicate that the peak temperature conditions in the mantle wedge beneath Kamchatka may not exceed 50 °C below the solidus of dry peridotite.

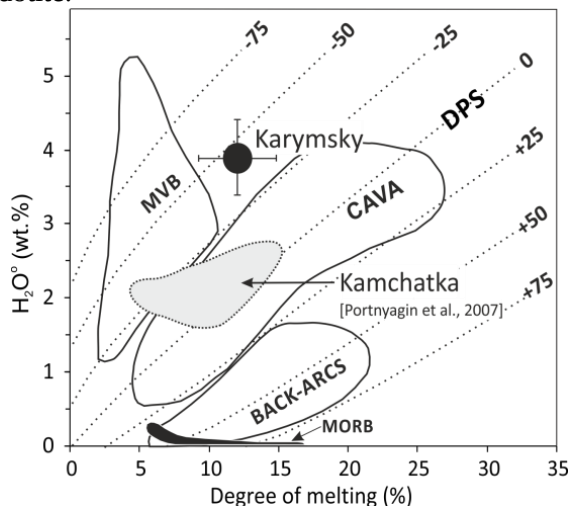


Рис.1. Relationships between degrees of partial mantle melting and H₂O contents in parental melts.

References:

1. Grib E.N., Perepelov A.B.(2008): Olivine-Bearing Basalts at the Karymskii Volcanic Center: Mineralogy, Petrogenesis, and Magma Sources// J. Volc. Seism. V.2. № 4. P. 228-247
2. Coogan L.A., Saunders A.D., Wilson R.N. (2014): Aluminum-in-olivine thermometry of primitive basalts: Evidence of an anomalously hot mantle source for large igneous provinces//Chem. Geol. V. 368, p. 1-10
3. Almeev R.R., Holtz F., Koepke J. et al. (2007): The effect of H₂O on olivine crystallization in MORB: Experimental calibration at 200 MPa // Am Mineralogist. V. 92. P. 670–674.
4. Nikolaev G.S., Ariakin A.A., Barmina G.S. et al.(2016): Test of the Ballhaus-Berry-Green Ol-Opx-Sp Oxybarometer and Calibration of a New Equation for Estimating the Redox State of Melts Saturated with Olivine and Spinel // Geochemistry. 54(4). P. 301-320
5. Sobolev A.V., Hofmann A.W., Kuzmin D.V. et al. (2007): The Amount of Recycled Crust in Sources of Mantle Derived Melts // Science. V. 316. P. 412-417
6. Portnyagin M.V., Hoernle K. et al. (2007): Constraints on mantle melting and composition and nature of slab components in volcanic arcs from volatiles (H₂O, S, Cl, F) and trace elements in melt inclusions from the Kamchatka Arc. // Earth and Planetary Science Letters. V. 255 (1_2). P. 53–69.
7. Lee C.-T.A., Luffi P., Plank T. et al.(2009): Constraints on the depths and temperatures of basaltic magma generation on Earth and other terrestrial planets using new thermobarometers for mafic magmas //Earth Planet. Sci. Lett. 279 (1), P.20–33

RECENT DISCOVERIES IN SUPER-DEEP DIAMONDS

Fabrizio Nestola

Department of Geoscience, University of Padova, Italy

It is reported that a very small portion (about 6%) of the world diamond population could be defined as “super-deep diamonds” (Stachel and Harris 2008). Such diamonds are those believed to form at depths in the mantle below about 300 km (see the recent work by Anzolini et al. 2018) and in a few cases it is reported that they could crystallize at depths even higher than 600-700 km (Pearson et al. 2014; Smith et al. 2016; Nestola et al. 2018). Such diamonds are definitively different with respect to those defined as “lithospheric diamonds” as they usually show a lower nitrogen content, a significant degree of plastic deformation, always irregular shapes, but more important, super-diamonds show a series of mineral inclusions totally different from those found in lithospheric diamonds. The talk wants to explore the most recent discoveries found in super-deep diamonds from the hydrous ringwoodite inclusion found within a Brazilian diamond in 2014 (Pearson et al. 2014), to the that of metallic iron found in super-deep diamonds from Letseng mine (Lesotho) (Smith et al. 2016), to the very recent discovery of the first natural CaSiO₃ perovskite inclusion found within a diamond from Cullinan mine (South Africa).

References

1. Anzolini, C., Prencipe, M., Alvaro, M., Romano, C., Vona, A., Lorenzon, S., Smith, E.M., Brenker, F.E., Nestola, F. (2018) Depth of formation of super-deep diamonds: Raman barometry of CaSiO₃-walstromite inclusions. *American Mineralogist*, 103, 69–74.
2. Nestola, F., Korolev, N., Kopylova, M., Rotiroti, N., Pearson, D.G., Pamato, M.G., Alvaro, M., Peruzzo, L., Gurney, J.J., Moore, A.E., Davidson, J. (2018) CaSiO₃-perovskite in diamond confirms the recycling of oceanic crust into the lower mantle. *Nature*, doi: doi:10.1038/nature25972.
3. Pearson, D., Brenker, F., Nestola, F., McNeill, J., Nasdala, L., Hutchison, M., Matveev, S., Mather, K., Silversmit, G., and Schmitz, S. (2014) Hydrous mantle transition zone indicated by ringwoodite included within diamond. *Nature*, 507, 221–224.
4. Smith, E.M., Shirey, S.B., Nestola, F., Bullock, E.S., Wang, J.H., Richardson, S.H., Wang, W.Y. (2016) Large gem diamonds from metallic liquid in Earth's deep mantle. *Science*, 354, 1403-1405.
5. Stachel, T., and Harris, J. (2008) The origin of cratonic diamonds—constraints from mineral inclusions. *Ore Geology Reviews*, 34, 5–32.

EFFECT OF MINERAL-FORMING COMPONENTS IN MELTS ON THE LIQUIDUS SURFACE TOPOLOGY OF CR SPINEL (MODEL SPINMELT-2.0): IMPLICATIONS FOR CHROMITITE GENESIS

Nikolaev G.S.¹, Ariskin A.A.², Barmina G.S.¹

¹ V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry
gsnikolaev@rambler.ru

² Geological Faculty, MV Lomonosov Moscow University

The topology of the liquidus surface and the composition of Cr spinel have been studied, using the SPINMELT-2.0 [1, 2] model, in a series of melts derived from the model composition B1 that approximates the parent magma of the Bushveld complex. The compositions of the model system were varied by successive input or withdrawal of mineral-forming components (Fo, Fa, En, Fs, Di, An, and Ab) to and from the primary melt.

The modeling results show that olivine endmembers (Fo, Fa) cause almost no influence on the Cr spinel liquidus but affect the magnesian ratio (mg#) of chromitite. The effect of the En and Fs components added to the melt on the composition of crystallizing Cr spinel is minor: it slightly decreases its liquidus. Increase in Di contents in the melt reduces the liquidus but does not influence the spinel composition. Plagioclase endmembers (An, Ab) cause temperature increase; the spinel composition depends on variations of An but is indifferent to Ab.

The melt exposed to filter pressing, during compaction of cumulate masses in the magma chambers of stratiform intrusions, is expected to reequilibrate with the surrounding cumulate. The discovered features of the liquidus surface topology in Cr spinel may be responsible for the respective changes in its solubility in the filtered melt, as well as for its redistribution. The latter may include precipitation of spinel on a geochemical barrier when the melt reacts with the feldspar matrix of protoanorthosite layers.

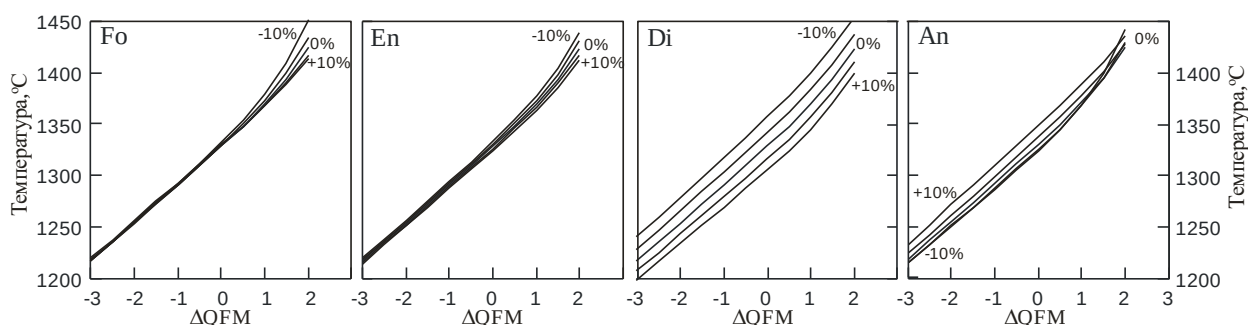


Fig.1 Variations of melt components vs. spinel liquidus: model composition B1. Isopleths are at every 5 wt. %

The study was supported by the Russian Science Foundation (Project 16-17-10129).

References:

1. Nikolaev, G.S., Ariskin, A.A., Barmina, G.S., 2018. SPINMELT-2.0: Simulation of the spinel-melt equilibrium in basaltic systems at pressures within 15 kbar. I. Problem formulation, calibration and testing of the model. *Geokhimiya*, No. 1, 28–49.
2. Nikolaev, G.S., Ariskin, A.A., Barmina, G.S., 2018. SPINMELT-2.0: Simulation of the spinel-melt equilibrium in basaltic systems at pressures within 15 kbar. II. Program description, topology of the spinel-melt model system and its petrological applications. *Geokhimiya*, No. 2, 135–146.

METAMORPHIC INDICATORS OF ACTIVE TECTONIC SETTINGS (EXAMPLE FROM YENISEI RIDGE)

Likhanov I.I., Reverdatto V.V., Nozhkin A.D., Polyanskiy O.P., Krylov A.A.

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy
likh@igm.nsc.ru

Metamorphism is a consequence and an indicator of tectonic and magmatic activity while correlation of these processes has implications for the sequence of events in the history of the lithosphere. Investigation into *P-T-t* trends is a promising tool for identifying tectonic and magmatic causes of metamorphism. Interpretation of these trends in the multistage cyclic evolution of orogenic belts that experienced different types of metamorphism in various combinations is a challenge [1]. These combinations record different tectonic settings and certain geological and tectonic patterns of the crust growth. These issues are discussed for the case of Precambrian metamorphic complexes of the Yenisei Ridge [2] produced by contact [3] and zoned LP/HT [4] metamorphism under magmatic heat, as well as collisional MP/HT [5] and HP/LT [6] metamorphism associated with thrusting and subduction; stress metamorphism induced by deformation in shear zones [7]; and UHT granulite metamorphism [8]. The reconstructed *P-T-t* trends in the evolution of metamorphic complexes are indicators of the types of metamorphism in different tectonic settings. Thus, the tectono-thermal history of metamorphism has been traced by modeling based on analysis of geological events. The new data can be used in petrological and geodynamic reconstructions [2, 6, 7, 9, 10].

References:

1. Reverdatto, V.V., Likhanov, I.I., Polyanskiy, O.P., Sheplev, V.S., Kolobov, V.Yu., 2017. Causes and Models of Metamorphism. Izd. SO RAN, Novosibirsk, 331 p. (in Russian)
2. Likhanov, I.I., Nozhkin, A.D., Savko, K.A., 2018. Accretionary tectonics of metamorphic complexes in the western margin of the Siberian craton. *Geotektonika* 52 (1), 28-51.
3. Likhanov, I.I., Reverdatto, V.V., Sheplev, V.S., Vershinin, A.E., Kozlov, P.S., 2001. Contact metamorphism of Fe- and Al-rich graphitic metapelites in the Transangarian Region of the Yenisey Ridge, eastern Siberia, Russia. *Lithos* 58, 55-80.
4. Likhanov, I.I., Reverdatto, V.V., 2011. Neoproterozoic collisional metamorphism in overthrust terranes of the Transangarian Yenisey Ridge, Siberia. *Int. Geol. Review* 53 (7), 802-845.
5. Likhanov, I.I., Polyansky, O.P., Reverdatto, V.V., Memmi, I., 2004. Evidence from Fe- and Al-rich metapelites for thrust loading in the Transangarian Region of the Yenisey Ridge, eastern Siberia. *J. Metamorph. Geol.* 22, 743-762.
6. Likhanov, I.I., Régnier, J.-L., Santosh, M., 2018. Blueschist facies fault tectonites from the western margin of the Siberian Craton: Implications for subduction and exhumation associated with early stages of the Paleo-Asian Ocean. *Lithos* 304-307, 468-488.
7. Likhanov, I.I., Reverdatto, V.V., Kozlov, P.S., et al., 2015. P-T-t constraints on polymetamorphic complexes of the Yenisey Ridge, East Siberia: implications for Neoproterozoic paleocontinental reconstructions. *J. Asian Earth Sci.* 113, 391-410.
8. Likhanov, I.I., Nozhkin, A.D., Reverdatto, V.V., et al., 2016. Metamorphic evolution of ultrahigh-temperature Fe-Al granulites in the Southern Yenisei Ridge and tectonic implications. *Petrologiya* 24 (4), 423-440.
9. Likhanov, I.I., Reverdatto, V.V., Kozlov, P.S., et al., 2015. P-T-t reconstruction of the metamorphic history of the southern Yenisey Ridge (Siberian craton): petrological implications and relation with super-continental cycles. *Russian Geology and Geophysics* 55 (6), 1031-1056.
10. Likhanov I.I., Santosh M. (2017): Neoproterozoic intraplate magmatism along the western margin of the Siberian Craton: implications for breakup of the Rodinia supercontinent. *Precambrian Res.* 300, 315-331.

KIMBERLITES OF THE BARYLAI CLUSTER IN THE KHOMPU-MAYA FIELD (CENTRAL YAKUTIA)

Oleinikov O.B.¹, Oparin N.A.¹

¹ Institute of Geology of Diamonds and Precious Metals
olei-oleg@yandex.ru

Geophysical surveys and drilling in the southern Yakutian uplift run in 2014–2015 by the *Yakutkgeologiya* State Mining Enterprise of the Sakha Republic (Yakutia) revealed the Daban and Aprelskaya kimberlite pipes that make up the Barylai cluster in the previously discovered Khompu-Maya kimberlite field [1]. The kimberlites intrude Upper Cambrian carbonate deposits and are buried under 105 to 140 m of clastic sediments. The pipes consist of kimberlite breccia and porphyritic kimberlite of generally homogeneous lithology. The main rock components include carbonate pseudomorphs of serpentine after olivine macrocrysts and phenocrysts; sedimentary and serpentinite xenoliths; as well as macrocrysts of pyrope, Cr spinel, and Mg ilmenite. Fresh sites in the kimberlites have a fine-grained groundmass composed mainly of fine-flake phlogopite with anhedral segregations of carbonate phases and sporadic residual serpentines. There are also poorly crystallized residual primary phases of Cr spinel, apatite, phlogopite, and Ba phlogopite, as well as scarce micrometer grains of zircon and baddeleyite. Both kimberlites underwent formation of secondary carbonates and share similarity in the composition and in the late magmatic and postmagmatic origin of the constituent minerals. The inferences from data on petrography and mineralogy of the kimberlites are consistent with the results of their semi-quantitative XRD analysis. Some composition difference between the two pipes is due to different rates and extent of late magmatic, postmagmatic and supergene processes. These processes are recorded in major-element compositions of the Daban and Aprelskaya kimberlites, which have moderate and high titanium contents, respectively. The presence of Mg–Fe, high-Ti and low-K fresh kimberlites deep in the Aprelskaya pipe suggests its diamond potential, which was confirmed by discovery of two diamond microcrysts in the rocks.

The study was carried out as part of government assignment (Project 0381-2016-0003)

References:

1. Smelov, A.P., Andreev, A.P., Altukhova, Z.A., Babushkina, S.A., Bekrenev, K.A., Zai'tsev, A.I., Izbekov, E.D., Koroleva, O.V., Mishnin, V.M., Okrugin, A.V., Surnin, A.A., 2010. Kimberlites of the Manchara pipe: A new kimberlite field of central Yakutia. *Russian Geology and Geophysics* 51 (1), 153–159.

GROWTH PROCESSES OF DIAMOND FUNCTIONAL CRYSTALS AND PROSPECTS OF THEIR APPLICATION

Palyanov Yu.N.¹, Borzdov Yu.M.¹, Khokhryakov A.F.¹, Kupriyanov I.N.¹, Sokol A.G.¹

¹IGM SB RAS
palyanov@igm.nsc.ru

One of the most urgent problems in the field of diamond crystal growth is the production of diamonds with specified set and concentration of defect-impurity centers [1]. Experimental studies are performed in a wide range of P-T parameters and compositions using the BARS high-pressure equipment developed at IGM SB RAS. The largest (up to 6 carats) high-quality single-crystal diamonds are obtained in the growth systems based on Fe, Ni, and Co. The influence of the main growth conditions (temperature, pressure, growth rate, crystallization medium composition, type and concentration of dopants) on the real structure of diamond crystals (defect-impurity centers, stresses, linear and planar defects) is determined. As a result, the main types of diamonds that exist in nature are reproduced, and diamonds that do not have natural analogs are produced: low-dislocation crystals, semiconducting crystals with p- and n-type conductivity, and crystals co-doped with boron and nitrogen.

High-pressure high-temperature (HPHT) annealing (up to 2650°C), radiation damage (electron irradiation) and ion implantation are applied as effective methods for modifying the defect-impurity structure and changing the properties of diamond. The prospects of using crystals with the given properties as elements of X-ray and infrared optics, ionizing radiation detectors, sp²-sp³ heterostructures for microelectronics and diamond anvils are demonstrated.

In recent years, a special interest in diamond is determined by the possibility of creating in its lattice optically active centers, promising for the emerging quantum technologies and other high-tech applications. Currently, new growth media for diamond synthesis are actively investigated. We have carried out studies on the crystallization of diamond in new and poorly explored systems P-C [2], S-C [3], Sb-C [4], Sn-C [5], Ge-C [6], Cu-C [7] and melts based on Mg [8]. The boundary conditions and mechanisms of diamond crystallization are determined. The occurrence of Cu and Ge impurities in the lattice of synthesized diamonds is proved. Spectroscopic methods (PL and EPR) substantiate the formation of germanium-vacancy (GeV) optical and paramagnetic centers. The prospects of GeV centers for use as quantum memory nodes [9] and temperature sensors [10] are established.

This work was supported by the Russian Science Foundation (grant No. 14-27-00054) and state assignment project (project No. 0330-2016-0007).

References

1. Palyanov Y.N., Kupriyanov I.N., Khokhryakov A.F., Ralchenko V. Crystal Growth of Diamond, in: P. Rudolph (Ed.) Handbook of Crystal Growth (Second Edition). Volume 2a. Elsevier, 2015, pp. 671–713.
2. Palyanov Yu.N., Kupriyanov I.N., Sokol A.G., Khokhryakov A.F., Borzdov Yu.M. (2011):Diamond Growth from a Phosphorus-Carbon System at HPHT Conditions // Cryst. Growth Des. 2011. V.11. P. 2599–2605.
3. Palyanov Yu.N., Kupriyanov I.N., Borzdov Yu.M. et al. (2009):Diamond crystallization from a sulfur-carbon system at HPHT conditions // Cryst. Growth Des. V. 9. №6. P. 2922-2926.
4. Palyanov Yu.N., Borzdov Yu.M., Kupriyanov I.N. et al. (2015): Diamond Crystallization from an Antimony–Carbon System under High Pressure and Temperature // Cryst. Growth Des. N 15 (5). P. 2539–2544.
5. Palyanov Yu.N., Borzdov Yu.M., Kupriyanov I.N., Bataleva Yu.V., Khokhryakov A.F. (2015): Diamond crystallization from a tin-carbon system at HPHT conditions // Diam. Relat. Mater. 2015. V. 58. P. 40-45.
6. Palyanov Yu.N., Kupriyanov I.N., Borzdov Yu.M., Surovtsev N.V. (2015): Germanium: a new catalyst for diamond synthesis and a new optically active impurity in diamond // Sci. Rep. 5. 14789.
7. Kupriyanov I.N., Borzdov Yu.M., Palyanov Yu.N. (2016): HPHT growth and characterization of diamond from a copper-carbon system // Diam. Relat. Mater. V. 69. P. 198–206.
8. Palyanov Yu.N., Kupriyanov I.N., Borzdov Yu.M. et al. (2016): High-pressure synthesis and characterization of Ge-doped single crystal diamond // Cryst. Growth Des., 2016. V. 16. Iss. 6. P. 3510–3518.
9. Siyushev P., Metsch M.H., Ijaz A. et al. (2017): Optical and microwave control of germanium-vacancy center spins in diamond // Physical Review B. 96. 081201(R).
10. Fan J.W., Cojocaru I., Becker J. et al. (2018): Germanium-Vacancy Color Center in Diamond as a Temperature Sensor // ACS Photonics. 5 (3). P. 765–770.

EXPERIMENTAL MODELING OF DIAMOND

Palyanov Yu.N.¹

¹ V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy
palyanov@igm.nsc.ru

The problem of diamond formation was approached on the basis of petrological studies and experimental results on diamond synthesis in the works by V.S. Sobolev [1]. The key issues in modern models that explain diamond formation in different tectonic settings include the composition of the growth medium, carbon sources, and possible crystallization mechanisms. Experimental modeling shows which media can maintain diamond growth at typical natural P-T conditions of 4-6 GPa and 900-1500 °C [2].

The diamond crystallization capacity of different media was compared in experiments on a multi-anvil split-sphere high-pressure apparatus according to the degree of graphite-to-diamond conversion, as a function of composition at constant P, T, t parameters. The conditions of diamond crystallization depend on the composition of the growth medium. The lowest P-T parameters of diamond synthesis are not limited by the respective eutectic reactions while their fit to the diamond stability field is a necessary but not sufficient condition.

In the experiments at 900-1500°C and 4-6 GPa, diamond synthesis occurs neither in C-H-N-S fluids nor in silicate and sulfide melts. On the other hand, H₂O- and CO₂-bearing ultra-alkaline carbonate melts, H₂O-CO₂ fluids, and melts of transitional metals are efficient diamond-forming media at the P-T conditions of the lithospheric mantle. As H₂O, nitrogen, and sulfur are added to the charge, metal-carbon melts transform to graphite producing ones.

The most challenging problems of diamond genesis concern diamond crystallization mechanisms in the lithospheric mantle. These mechanisms were studied experimentally by diamond synthesis from graphite, recrystallization in a gradient field, growth medium evolution, cooling, as well as redox reactions. The experiments provide constraints on the boundary conditions of different diamond crystallization mechanisms and on the possibility of their effectuation during diamond genesis. The considered potential carbon sources include graphite, carbon-bearing fluids (hydrocarbons and CO₂), carbides, and carbonates. According to the experimental results, diamond forms most probably by redox reactions [3]. In the suggested model, carbonate melts and CO₂ fluids that form by decarbonation reactions are considered as crystallization media and as carbon sources, while elemental metals, carbides, sulfides, and hydrogen are reducing agents.

The study was supported by grant 14-27-00054 from the Russian Science Foundation

References:

1. Sobolev, V.S., 1960. Conditions for diamond formation. *Geologiya i Geofizika*, No. 1, 7-72.
2. Shirey, S.B., Cartigny, P., Frost, D.G., et al., 2013. Diamond and the geology of mantle carbon. *Rev. Min. Geochem.* 75, 355-421.
3. Palyanov, Yu.N., Bataleva, Yu.V., Sokol, A.G., et al., 2013. Mantle-slab interaction and redox mechanism of diamond formation. *PNAS* 110 (51), 20408-20413.

DJERFISHERITE IN KRESTOVSKAYA INTRUSION ROCKS (POLAR SIBERIA) AND ITS GENESIS

Panina L.I., Isakova A.T.

IGM SB RAS

panina@igm.nsc.ru, atnikolaeva@igm.nsc.ru

Djerfisherite in Krestovskaya Intrusion have been discovered in primary melt inclusions, mono- and polysulphide globules, and in djerfisherite-hydrogarnet clusters in monticellite-containing rocks. Inclusions were represented by three types. Type I was present in the nuclei of perovskite phenocrysts and monticellite grains and corresponded to one of the early stages of crystallization of the parent larnite-normative alkaline-ultrabasic magma enriched with water and other volatile components [1]. Among the daughter phases of the inclusions clinopyroxene (Cpx), serpentine (Srp), phlogopite (Phl), apatite (Ap), nepheline (Ne), hydrogarnet (hGrt), magnetite (Mgt), djerfisherite (Dj), pectolite (Pct), calcite (Cal) were detected. Type II of inclusions was found in perovskite and monticellite, and III in perovskite, monticellite and melilite. The appearance of types II and III of melt inclusions was associated with the immiscibility at 1230-1250 ° C and separation of a highly fluidized water-containing silicon poor melt enriched with alkalis and sulphides from magma, accompanied by tectonic fragmentation of crystallizing minerals. In the composition of type II inclusions hGrt, Srp, Dj, Phl, Cal, Mgt were present. Type III of inclusions was represented by Cpx, Ne, Ap, Mgt, Dj, Cal, Pct. Djerfisherite-hydrogarnet segregations were confined to phenocrysts of titanomagnetite and perovskite and cracks in the monticellite. The mineral composition of the djerfisherite-hydrogarnet segregations together with their surroundings was similar to that of type II inclusions. It contains hGrt, Dj, Srp, Phl, Cal, Mgt. This similarity gives grounds to associate the formation of djerfisherite-hydrogarnet segregations, as well as type II inclusions with the spatial separation and crystallization of a highly fluidized low-silica melt enriched with water, alkalis and sulphides. Crystallization of the melt was accompanied by a multiple manifestation of silicate-sulfide immiscibility and occurrence of globular, emulsion-like and myrmekitic structures in djerfisherite-hydrogarnet segregations, as well as formation of djerfisherite globules and polysulphide precipitates in hydrogarnet – calcite - serpentine substrate. Occasionally, in the djerfisherite-hydrogarnet segregations the enlargement of the djerfisherite is noted with the formation of ridges, strips, veins, which is explained by the high mobility and low viscosity of sulfides. The rare grains of hizlewoodite, godlevskite, pentlandite, which are present in the djerfisherite-hydrogarnet segregations, often have the same morphology as djerfisherite, which indicates their simultaneous and joint crystallization from the same melt. The chemical composition of the djerfisherite from mono- and polysulphide globules, djerfisherite-hydrogarnet segregations and type II inclusions is characterized, as in most kimberlites of Yakutia, by high (12.1-16.7 wt. %) Ni and low (0.1-0.9 wt. %) Cu. The composition of the djerfisherite of type II and III inclusions is distinguished by low (3.3-1.6 wt.%) concentration of Ni and high (40.9-52.2 wt.%) Fe and in the III type inclusions by sufficient amounts of Cu: from 7.6 to 10.6 wt. %.

This work was supported by the RFBR (project No. 17-05-00285a) and the RSF (project No. 14-17-00602P).

References:

1. Panina, L. I., Isakova, A. T.; Sazonov, A. M. (2018): The Olivinite of the Krestovskaya Intrusion-the Product of Larnite-Normative Alkali Ultramafic Magma: Melt Inclusion Data // Petrology, T. 26. №2. C. 167-180.

SYMMETRY OF DISTORTED DIAMOND CRYSTALS AND ITS EXPLORATION

Pavlushin A.D.¹, Stepenshchikov D.G.²

¹ Institute of Geology of Diamonds and Precious Metals,
pavlushin@diamond.ysn.ru

² Geological Institute, Kola Science Center
stepen@geoksc.apatity.ru

Anisotropy of the growth medium leaves imprint on the shapes of diamond crystals, which may thus provide additional knowledge on the diamond formation conditions if appropriate methods are used to measure and analyze the symmetry of distorted crystals. The natural crystals are commonly imperfect because their faces grow at different rates. Such distortions can be described with several parameters, especially visible symmetry, which is the most informative. Visual examination may be subjective and poorly efficient in the case of minor distortion or great numbers of samples to be measured for statistical data.

We suggest a new method for analysis of distorted cubic, octahedral, and dodecahedral diamonds by measurements of false crystal edges and spacing of parallel faces. The data are processed with a specially designed software that allows interactive input of measured variables, subsequent modeling of 3D crystal images, and visual assessment of symmetry using a modified method of Shafranovsky [1] (Fig. 1). The obtained symmetry parameters represent typical features of kimberlitic and placer octahedral diamonds from the Yakutsk diamond province. The modeling reveals specific patterns in the statistical distribution of combinatory octahedral species and types of visible crystal symmetry.

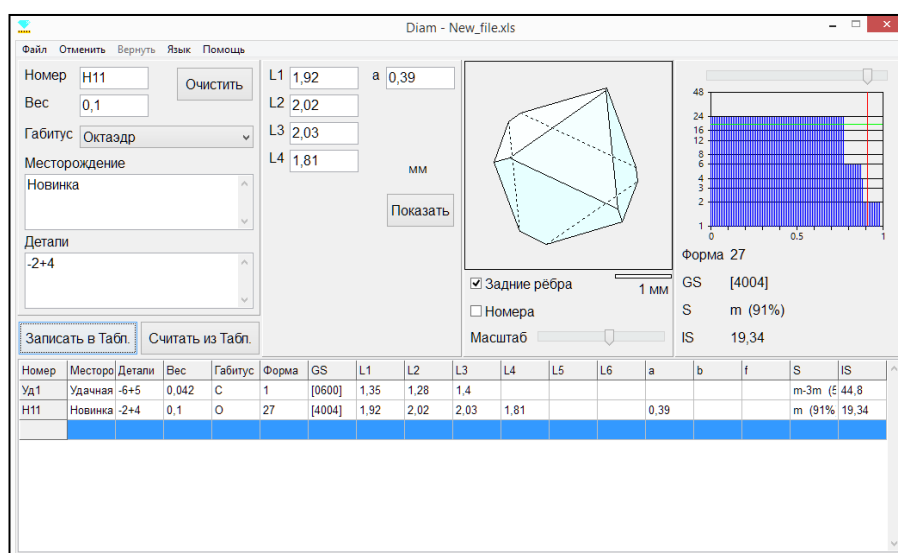


Fig. 1. Software interface for analysis of visible symmetry in diamond crystals

The study was carried out on contract with ALROSA company No. 02-NIR-V-17 of 13.03.2017

References:

1. Shafranovsky, I.I., Koren', R.V., Dubov, P.L., 1971. A method for studying distorted crystal shapes. Reports, USSR Mineralogical Society 100 (1), 42-48.

DISTRIBUTION OF DIAMONDS IN METAMORPHIC ROCKS: EVIDENCE FROM DETAILED EXPLORATION AT THE KUMDY-KOL DEPOSIT

Pechnikov V.A.

Central Research Institute of Geological Prospecting
pechnikov56@mail.ru

The views of the diamond potential of metamorphic rocks have expanded considerably for thirty years after the first publication on diamond microinclusions in metamorphic-hosted garnets [1]. Nevertheless, the problem remains insufficiently investigated. This study focuses more on the patterns of diamond distribution revealed at the Kumdy-Kol deposit rather than on specific facts.

The Kumdy-Kol deposit, a reference site, is located within the Kokchetav metamorphic complex, near Lake Kumdy-Kol. It is traceable for more than 1 km in the NE-SW direction and varies in width from 250 m in its NE flank to 50 m in the southwest.

The structure of the deposit results from processes of different ages and scales [2, 3]. It lies between garnet-muscovite granites in WNW and migmatites in ESE. The diamond hosts are composed of 80% garnet-biotite gneiss that enclose eclogites and garnet-pyroxene boudins (5%), as well as silicate-carbonate and biotite-quartz lenses (15%). All rocks strike in the SW-NE direction and dip steeply (at 60-70°) to the southeast. There are also narrow (<15 m) branching zones of strongly chloritized graphite- and sulfide-bearing metasomatites among the gneisses striking along an NNE system of faults. All these lithologies are cut by dolerite dikes concentrated in the NE flank. The youngest W—E system of oblique reverse faults splits the deposit into blocks shifted a few tens of meters one relative to another.

According to detailed sampling within the deposit, the diamond-bearing body has a linear-branching structure, is associated with metasomatic rocks and crosscuts the host metamorphics. The maximum diamond contents continuous along the strike and in depth are controlled by linear zones of metasomatites.

The occurrences of diamond and graphite show close paragenetic relationship [4]. The above considerations, together with micrometer sizes of diamond crystals, allow a new perspective on diamond formation in the crust.

References:

1. Sobolev, N.V., Shatsky, V.S., 1987. Inclusion of carbon minerals in metamorphic-hosted garnets. *Soviet Geology and Geophysics* 28 (7), 77-80
2. Lavrova, L.D., Pechnikov, V.A., Pleshakov, A.M., et al., 1999. A New Genetic Type of Diamond Deposits. *Nauchnyi Mir*, 221 pp. (in Russian)
3. Pechnikov, V.A., Kaminsky, F.V., 2008. Diamond potential of metamorphic rocks in the Kokchetav Massif, northern Kazakhstan. *Eur. J. Mineral.* 20, 395-413.
4. Pechnikov, V.A., Kaminsky, F.V., 2011. Structural and microstructural regularities of the distribution of diamond in metamorphic rocks of the Kumdy-Kol and Barchi-Kol deposits, Kokchetav massif, Northern Kazakhstan. *The Canadian Mineralogist* 49, 673-690

HIGH FO_2 VOLCANIC EXHALATION SYSTEMS WITH EXCEPTIONAL MINERALOGY AND CHEMISTRY

**Pekov I.V.^{1 2}, Agakhanov A.A.³, Zubkova N.V.¹, Koshlakova N.N.¹, Shchipalkina N.V.¹,
Sandalov F.D.¹, Yapskurt V.O.¹, Turchkova A.G.¹, Sidorov E.G.⁴**

¹ Geological Faculty, MV Lomonosov Moscow University
igorpekov@mail.ru

² V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry

³ A.E. Fersman Mineralogical Museum

⁴ Institute of Volcanology and Seismology

Active fumarolic fields of Tolbachik volcano in Kamchatka is among most prominent examples of an exhalation mineral-forming system with high oxygen fugacity. By the time being, more than 250 mineral species have been identified in the Tolbachik fumarolas, out of which 106 first discoveries, including 61 species discovered by the authors. The mineralization is exceptionally diverse and remarkable by a specific combination of physicochemical conditions and formation mechanisms: high temperatures (up to 750°C reliably observed) and atmospheric pressures, very high fO_2 (due to mixing of volcanic gases and air), gas transport of components, precipitation of many high-temperature mineral phases directly from the gas phase, particular gas chemistry (very high enrichments in alkali metals and chalcophile elements). These properties of the Tolbachik fumarolas are responsible for particular behavior of many chemical components, especially their partitioning between phases; unusual patterns of isomorphism in minerals; and formation of peculiar crystal structures. We use the case of Tolbachic volcano to highlight some features of mineralogy and chemistry in modern fumarolic mineral-forming systems of this kind.

The Tolbachik fumarolas contain 55 arsenates, all anhydrous: a new type of As mineralization, which occur in extremely rich accumulations, including minerals with the highest contents of alkalis (>17 wt.% Na_2O+K_2O) and titanium (up to 28 wt.% TiO_2). Most of vanadium resides in As-V garnets of the berzeliite-shaferite series. Abundant silicate mineralization in high-temperature fumarolic deposits occurs mainly as feldspar, micas, pyroxene, forsterite, andradite, and feldsparic modifications, often with unusual chemistry. As^{5+} (up to 42 wt.% As_2O_5 in feldspar (filatovite) and 3 wt.% in forsterite) and P in these mineral species typically substitute for silicon, while Cu, Zn, and Sn substitute for Al, Mg, and Fe. Hauynite contains up to 3.7 wt.% MoO_3 and 1.7 wt.% WO_3 . Fumarolic spinels commonly contain copper and often exist as Cu spinel and the $CuAl_2O_4$ phase (up to 27 wt.% CuO). Sb resides in rutile-tripuhyite oxides (up to 53 wt.% Sb_2O_5). Exhalation cassiterite is widespread but most of tin is hosted by Sn-bearing hematite (up to 7 wt.% SnO_2). New fluoroborates host most of W, Mo and B (up to 20 wt.% WO_3). The Tolbachik fumarolic exhalations also bear sulfate and chloride Cs mineralization, including the natural compound Cs_2ZnCl_4 with the greatest Cs enrichment (44 wt.% Cs). Trivalent thallium is a species-forming component in chlorides (up to 40 wt.% Tl in kalithallite). Fluorine speciation distinctly correlates with temperature: only oxonium salts with an additional F^- anion form above 300–350°C (fluorosilicates, fluorosulfates, fluoroarsenates, fluoroborates, etc.) and only fluoride crystallizes at colder temperatures. No hydrogen and carbon are found in minerals crystallized at $t > 150\text{--}200^\circ\text{C}$ in these systems.

The study was supported by the Russian Science Foundation (Project 14-17-00048) for mineralogical and chemical analytical work, as well as by the Russian Foundation for Basic Research (Project 17-05-00179) for crystal chemistry of exhalation arsenates.

EXPERIMENTAL MODELING OF METASOMATISM IN SUPRASUBDUCTION MANTLE: THE ROLE OF SUBSTRATE AND MIGRATION OF COMPONENTS

Perchuk, A.L.^{1,2}, Yapskurt, V.O.¹, Griffin, V.³, Sur, M.Yu.¹, Gain C.³, Zinoviev N.G.¹

¹ Subdepartment of Petrology, Geological Faculty, MV Lomonosov Moscow University
alp@geol.msu.ru

² D.S. Korzhinsky Institute of Experimental Mineralogy

³ GEMOC National Research Center, Macquarie University

Crust-mantle interactions in a subduction zone have been studied in two sets of experiments on a piston-cylinder apparatus at 750-900 °C and 2.9 GPa, with natural samples and mineral mixtures.

The first set of experiments focused on metasomatism of dunite and lherzolite (mantle analogs), as well as on transport of elements released from carbonated amphibolite (slab analog) undergoing eclogitization [1]. Elements were transported from the crust to the mantle by impregnating, concentrated, and diffuse fluxes which entrained melts, carbon, and water from the metabasaltic layer. The impregnating flux led to dissolution of clinopyroxene and formation of the Opx±Grt±Mgs±Chl assemblage in peridotite. Migration of compositionally similar fluids through dunite and lherzolite maintained the formation of harzburgite. The concentrated flux along the capsule walls produced the Omp±Phn±Qz assemblage in metabasalt and caused the segregation of melts detached from peridotite, with a secondary assemblage of Omp±Grt±Phl±Opx±Mgs. The diffusion flux formed Opx±Mgs±Grt reaction zones at the boundary between compositionally different layers (metabasalt/peridotite, melt/peridotite). The melts were geochemically similar to high-Al adakites. Metasomatism changed the REE spectra of dunite which showed chromatographic fractionation in the case of the impregnating flux. As a result of metabasalt-lherzolite interaction, LREE increased progressively in the former but decreased in the latter, relative to the primary composition, i.e., the transport of elements was counter to the fluid flow.

The other set of experiments simulated the interaction of blueschist with harzburgite and websterite, with implications for the role of the mantle substrate in the input and release of components and for the style of metasomatism at the crust-mantle boundary in subduction zones [2]. Aqueous fluids (with dissolved components and CO₂) that released from blueschist produced compositionally different mineral assemblages: Na- and K-bearing assemblages in websterite and harzburgite, respectively, while K and CO₂ complementary to websterite and Na complementary to harzburgite remained held in metabasalt.

Thus, the ascending slab-derived fluids not always fertilize the mantle wedge, while the conditions at the slab-mantle boundary are favorable for migration of components in different directions. This may affect the style of metasomatism in the mantle wedge, the composition of primary magma, and the evolution of the slab material.

The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project 16-05-00495).

References:

1. Perchuk, A.L., Yapskurt, V.O., Griffin, W.L., Shur, M.Yu., Gain, S.E.M., 2018. Three types of element fluxes from metabasite into peridotite in analogue experiments: Insights into subduction-zone processes. *Lithos* 302-303, 203-223.
2. Perchuk, A.L., Yapskurt, V.O., Zinovieva, N.G., Shur, M.Yu., 2018. Migration of Na, K, and CO₂ in different directions upon interaction of blueschist with harzburgite and websterite in analog experiments at the P-T conditions of a subduction zone. *Petrologiya* 26 (6), in press.

DISTRIBUTION OF FELSIC AND MAFIC INTRUSIVE AND EXTRUSIVE ROCKS IN THE CRUST: CORRELATION WITH MAGMA VISCOSITY PATTERNS

Persikov E.S.

D.S. Korzhinky Institute of Experimental Mineralogy
persikov@iem.ac.ru

Many years ago, V.S. Sobolev suggested to account for the relative distribution of felsic, intermediate, and mafic igneous rocks in terms of viscosity patterns of hydrous magmas under varying temperatures and pressures. However, it was impossible to check the hypothesis at that time, when experimental and theoretical studies of the viscosity of hydrous melts at high pressures just began. After almost fifty years of research, a physicochemical model has been created that allows reliable viscosity prediction for heterogeneous magmas of any composition in a variable P-T field in the crust and upper mantle [1, 2]. See example calculated viscosities of hydrous granitic magmas at the solidus (blue) and liquidus (red) PT conditions (Fig. 1) over an almost complete range of crustal depths.

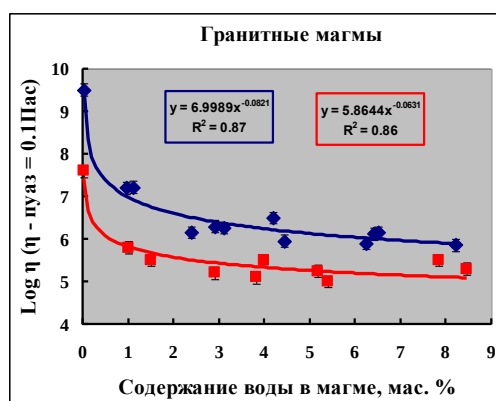


Fig. 1. Viscosity of hydrous granitic magmas at crustal pressures and temperatures ($P(\text{H}_2\text{O}) = 100 \text{ atm} - 3 \text{ kbar}$, P_{lit} to 10 Kbar , $T = 650 - 1100 \text{ }^\circ\text{C}$) Poise Pa s Water content, wt.% Granitic magma

According to the modeling results (Fig. 1), granitic magmas with 2-8 wt. % H_2O are highly mobile melts in a large range of PT parameters and crustal depths (1 – 30 km). Their viscosity ($\sim 10^5$ Poise) is commensurate with that of basaltic lavas, which provides the homogeneity of huge granitic batholiths. On the contrary, granitic magmas that loose water upon degassing in volcanic and subvolcanic facies of the crust become highly viscous ($\sim 10^8 - 10^9$ Poise). Such viscous magmas cannot outpour but rather erupt relatively seldom as extrusions or in explosive catastrophic events, and most often emplace and crystallize as plutonic facies. The high viscosity of anhydrous granitic magma explains why intrusive granites are more abundant than extrusive rhyolites in the crust.

The study was carried out as part of Program 19 run by the Presidium of the Russian Academy of Sciences.

References:

1. Persikov, E.S., 2007. Structural chemical model to calculate and predict the viscosity of magmatic melts in full range of compositions and conditions. General Assembly EGU-2007. Vienna. Geophysical Research Abstracts,
2. V. 9. A-02262. SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2007-A-02262.
3. Persikov, E.S., Bukhtiyarov, P.G., 2009. Interrelated structural chemical model to predict and calculate viscosity of magmatic melts and water diffusion in a wide range of compositions and T - P parameters of the Earth's crust and upper mantle. Russian Geology and Geophysics 50 (12), 1079–1090.

VLADIMIR S. SOBOLEV: DIRECTOR OF A.E. FERSMAN MINERALOGICAL MUSEUM

Plechov P.Yu.¹

¹ Mineralogical Museum pplechov@gmail.com

Vladimir S. Sobolev (30 May 1908 – 1 September 1982) is a prominent scientist and science manager, a founder of schools of thought in Lvov and then in Siberia. Many bright episodes of his biography have been described in multiple publications [1-4]. In the last year of his life (from 9 April 1981 to 1 September 1982), he headed the A.E. Fersman Mineralogical Museum, Russian Academy of Sciences. The preserved archive accounts, catalogs of samples, and memoirs of his colleagues allow adding another tragic page to the biography of Sobolev.

АВТОБИОГРАФИЯ

академика **СОБОЛЕВА ВЛАДИМИРА СТЕПАНОВИЧА**
Фамилия, имя, отчество

Родился в 1908 году в г. Луганске в семье артиллерийского офицера.
Отец умер в 1916 г. в г. Киеве, мать убита бандитами в 1920 г. в г.
Купянске. Жил в семье деда, Острякова Николая Яковлевича, адвоката в

Fig. 1. A fragment of Sobolev's autobiography. Mineralogical Museum.

The document reads:

AUTOBIOGRAPHY of academician Sobolev Vladimir Stepanovich.

Born in 1908, in the town of Lugansk, in a family of an artillery officer. The father died in 1916 in Kiev. The mother was killed by bandits in 1920 in the town of Kupyansk. V.S. lived with the family of his grandfather, Ostryakov Nikolay Yakovlevich, a lawyer, in...

The archive stores the dossier of academician V. Sobolev (Fig. 2), references by academicians A. Trofimuk and D. Korzhinsky, copies of his various certificates. The list of publications by V. Sobolev (till 1977) includes 231 items.

ЛИЧНАЯ КАРТОЧКА № _____
I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Фамилия <i>Соболев</i>	11. <i>минералог</i> основная профессия (специальность)
имя <i>Владимир</i> отчество <i>Александрович</i>	
2. Год рождения <i>1908</i> месяц <i>май</i> число <i>30</i>	стаж работы по этой специальности
3. Место рождения <i>г. Ворошиловград</i>	12. Общий стаж работы <i>60 лет</i>
	13. Непрерывный стаж <i>52</i>
4. Национальность <i>русский</i>	14. последнее место работы, должность
5. Партийность <i>чл. ВКП(б)</i>	дата и причина увольнения
6. Состоит ли членом ВЛКСМ с какого года	15. Семейное положение <i>женат</i> состав семьи
7. Член профсоюза <i>да</i> с какого года	с указанием года рождения
8. Образование <i>высшее</i>	
а)	

Fig.2. A fragment of V.S. Sobolev's dossier. Mineralogical Museum.

For only one year when he was the Museum director, V.S. Sobolev organized the construction of a Laboratory building and the renovation of the museum exposition, which was finished later by A. Godovikov, his disciple, and launched research in new fields.

References:

1. Vladimir S. Sobolev (1908–1982), 1990. Nauka, Moscow, 114 pp. (Data for biographies of scientists. Ser. Geosciences. Issue 38). (in Russian)
2. A prominent researcher, 2009. 100-th anniversary of academician V.S. Sobolev. Vestnik RAN 79 (4), 335–340.
3. Sobolev Vladimir S, 2011, in: Academicians of the Institute of Geology and Geophysics (USSR AS -RAS). INGG, Novosibirsk, pp. 55–71. (in Russian)

THE SYSTEM Na_2CO_3 – CaCO_3 AT 3 GPa: LINK BETWEEN PHASE RELATIONS AND VARIETY OF Na-Ca DOUBLE CARBONATES AT ≤ 0.1 AND 6 GPa

Podborodnikov I.V., Shatskiy A.F., Arefiev A.V., Rashchenko S.V., Rashchenko S.V.,
Chanyshv A.D., Litasov K.D.

IGM SB RAS, NSU,
podborodnikov@igm.nsc.ru

It was suggested that alkali-alkaline earth carbonates may have a substantial role in petrological processes relevant to metasomatism and melting of the Earth's mantle. Because natrite, Na_2CO_3 , Na-Ca carbonate (shortite and/or nyerereite), and calcite, CaCO_3 , have been recently reported from xenoliths of shallow mantle (110–115 km) origin [1], we performed experiments on phase relations in the system Na_2CO_3 – CaCO_3 at 3 GPa and 800–1300 °C [2]. We found that the system has one intermediate compound, $\text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4$, at 800 °C, and two intermediate compounds, $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ and $\text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4$, at 850 °C. CaCO_3 crystals recovered from experiments at 950 °C and 1000 °C are aragonite and calcite, respectively. Maximum solid solution of CaCO_3 in Na_2CO_3 is 20 mol% at 850 °C. The Na-carbonate– $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ eutectic locates near 860 °C and 56 mol% Na_2CO_3 . $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ melts incongruently near 880 °C to produce $\text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4$ and a liquid containing about 51 mol% Na_2CO_3 . $\text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4$ disappears above 1000 °C via incongruent melting to calcite and a liquid containing about 43 mol% Na_2CO_3 . At 1050 °C, the liquid, coexisting with Na-carbonate, contains 87 mol% Na_2CO_3 . Na-carbonate remains solid up to 1150 °C and melts at 1200 °C. The Na_2CO_3 content in the liquid coexisting with calcite decreases to 15 mol% as temperature increases to 1300 °C.

Considering the present and previous data, a range of the intermediate compounds on the liquidus of the Na_2CO_3 – CaCO_3 join changes as pressure increases in the following sequence: $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ (0.1 GPa) $\rightarrow$ $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$, $\text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4$ (3 GPa) $\rightarrow$ $\text{Na}_4\text{Ca}(\text{CO}_3)_3$, $\text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_4$ (6 GPa) (Fig. 1). Thus, the $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ nyerereite stability field extends to the shallow mantle pressures. Consequently, findings of nyerereite among daughter phases in the melt inclusions in olivine from the sheared garnet peridotites [3] are consistent with their mantle origin.

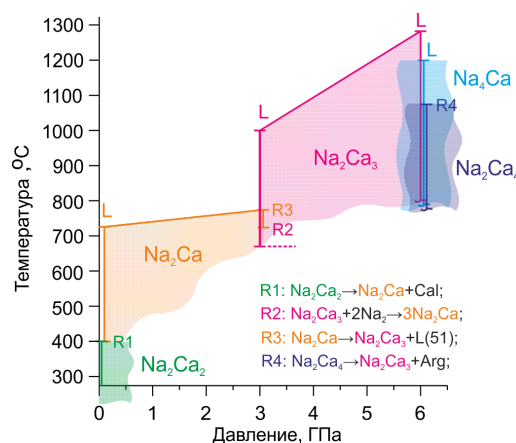


Fig.1 – Variety of double carbonates established in the Na_2CO_3 – CaCO_3 system at ≤ 0.1 GPa (Niggli, 1916; Kröger et al., 1943; Cooper et al., 1975), 3 GPa [2], and 6 GPa (Shatskiy et al., 2013, 2015).

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No 17-05-00501).

References:

1. Giuliani, A., Kamenetsky, V.S., Phillips, D., Kendrick, M.A., Wyatt, B.A., and Goemann, K. (2012) Nature of alkali-carbonate fluids in the sub-continental lithospheric mantle. *Geology*, 40(11), 967-970.
2. Podborodnikov, I.V., Shatskiy, A., Arefiev, A.V., Rashchenko, S.V., Chanyshv, A.D., and Litasov, K.D. (2018) The system Na_2CO_3 – CaCO_3 at 3 GPa. *Physics and Chemistry of Minerals*, DOI: 10.1007/s00269-018-0961-2.
3. Golovin, A., Sharygin, I., Kamenetsky, V., Korsakov, A., and Yaxley, G. (2018) Alkali-carbonate melts from the base of cratonic lithospheric mantle: links to kimberlites. *Chemical Geology*, 483(4), 261-274.

PERSPECTIVES OF DISCOVERY OF DIAMONDIFEROUS KIMBERLITES OF MIDDLE PALEOZOIC AGE INSIDE THE NORTHERN PART OF SIBERIAN PLATFORM.

**Pokhilenko N.P., Sobolev N.V., Afanasiev V.P., Agashev A.M., Malkovets V.G.,
Pokhilenko L.N., Tychkov N.S.**

VS Sobolev Institute of Geology and Mineralogy,
SB RAS, Novosibirsk, e-mail: chief@igm.nsc.ru

Three different cycles of kimberlite emplacement are known inside the Siberian Platform (SP): Middle Paleozoic, Triassic, and Jurassic (e.g., Davis et al., 1980; Brakhfogel, 1995; Kinny et al., 1997), and near 1300 kimberlite bodies in 29 fields formed between Silurian and Jurassic times were found inside the platform. U-Pb dating of “kimberlite” zircons from 31 kimberlite bodies of 19 kimberlite fields (Malkovets et al., 2017) allowed to define the next cycles of kimberlite formation: Late Silurian – Early Devonian (423-407 Ma), Late Devonian – Early Carboniferous (370-344 Ma), Late Triassic (235-222 Ma), and Jurassic (160-145 Ma). All the economic kimberlites of SP are of Middle Paleozoic age, and this feature was connected with significant changes of structure and composition of its lithospheric mantle (LM) under influence of sublithospheric melts of the Siberian Permo-Triassic Super Plume (Pokhilenko, Sobolev, 1998; Pokhilenko et al., 1999, 2015). Thus, all the prospects of discovery of new large diamond deposits inside the SP are related with a new finds of high-grade kimberlites of Middle Paleozoic age, and this require a solution of two connected problems: 1) discovery of a new fields of potentially diamondiferous kimberlites; 2) revealing of economically efficient diamond deposits inside these fields.

A comparative analysis of existing to date results of a complex studies of xenogenic material of the LM origin from the Siberian kimberlites of different age combined with results of study of the LM minerals from the terrigenous sediments of the SP Northern part showed a presence of high perspectives of discovery of several new fields of high-grade kimberlites of the Middle-Paleozoic age inside the territory between Lena and Anabar Rivers: 1) to South and 2) to North from the Kyutyungde Graben; 3) to West and 4) to East of Udzhinsky Uplift. There is necessity of correction of exploration methods and their adaptation to the regional conditions for successful solution of this problem.

This study was supported by RFBR Grant # 16-05-00811 and IGM Basic Project # IX.130.1.1. (0330-2016-0006).

PROSPECTS FOR DISCOVERY OF MIDDLE PALEOZOIC DIAMONDIFEROUS KIMBERLITES IN THE NORTHERN SIBERIAN CRATON

**Pokhilenko N.P., Sobolev N.V., Afanasiev V.P., Agashev A.M., Malkovets V.G., Pokhilenko
L.N., Tychkov N.S.**

VS Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, Novosibirsk chief@igm.nsc.ru;

Middle Paleozoic (Silurian) and Mesozoic (Triassic, and Jurassic) major events of kimberlite emplacement in the Siberian Craton produced around 1300 bodies in 29 fields [1-3]. U-Pb dating of zircons from 31 kimberlites in 19 fields [4] revealed Late Silurian – Early Devonian (423-407 Ma), Late Devonian – Early Carboniferous (370-344 Ma), Late Triassic (235-222 Ma), and Jurassic (160-145 Ma) cycles of kimberlite magmatism. All economic kimberlites of the region emplaced in the Middle Paleozoic when the structure and composition of the cratonic lithospheric mantle (LM) underwent significant changes under the influence of sublithospheric melts derived from the Permian Triassic Siberian Superplume [5-7]. Thus, discoveries of new large diamond deposits in the Siberian craton can be expected from Middle Paleozoic kimberlites. For this two coupled problems should be solved: (1) discovering new potentially diamondiferous kimberlite fields and (2) revealing economic diamond deposits in their limits.

Judging by the available data on xenogenic material of the LM origin in the Siberian kimberlites of different ages and on LM minerals in clastic sediments from the northern craton part, several yet unknown fields of Middle Paleozoic high-grade kimberlites may exist between the Lena and Anabar Rivers, south and north of the Kyutyungde basin and west and east of the Udzha Uplift. Their discovery requires appropriate adaptation of the exploration methods to the regional conditions.

The study was supported by Grant # 16-05-00811 from the Russian Foundation for basic Research and was carried out as part of the IGM Basic Project # IX.130.1.1. (0330-2016-0006).

References:

1. Davis et al., 1980;
2. Brakhfogel, 1995;
3. Kinny et al., 1997
4. Malkovets et al., 2017
5. Pokhilenko and Sobolev, 1998;
6. Pokhilenko et al., 1999,
7. Pokhilenko et al., 2015.

XENOLITHS OF POLYMICT BRECCIAS FROM THE SIBERIAN KIMBERLITES

Pokhilenko L.N.¹, Afanasyev V.P.¹, Pokhilenko N.P.^{1,2}

¹ IGM SB RAS, ² NSU

lu@igm.nsc.ru, avp-diamond@mail.ru, chief@igm.nsc.ru

Polimict breccia is a complex rare type of deep mantle rocks. Less than ten similar samples from South Africa and Yakutia were noted in the international literature [1-3]. In fact, it is a conglomerate of different-parageneses rocks fragments and the same named minerals of a wide range of compositions (examples of garnet and mica compositions see in Table 1, components in wt%; for comparison, there is a composition of garnet from S-2 - polymict breccia, Sytykanskaya pipe [3]).

Table 1 – Composition variations of of the same name minerals from polymict breccias UV162/09 (Udachnaya pipe, the central part of the Siberian craton) and SH-18/20 (Noyabrskaya pipe, north-eastern part of the Siberian craton)

sample	UV162/09	SH18/20	S-2	UV162/09	SH18/20
mineral	garnet	garnet	garnet	phlogopite	phlogopite
SiO ₂	40.6-42.4	41-41.7	41.3-42.2	39-41	38.6-44
TiO ₂	0.7-2.21	0-1.3	0.3-1.19	1.7-8.4	2.4-4.7
Al ₂ O ₃	19-21.7	19.3-21.7	18.6-21.4	7.8-13.9	9.7-15.1
Cr ₂ O ₃	0.55-2.04	0.76-5.32	0.13-5.33	0-1.1	0.8-1.3
FeO	10.85-13.19	8-10.4	7.3-12.4	4.8-9.6	4.4-5.7
MgO	14.68-20.89	18.5-20.3	17.2-21.1	20.1-23.3	20.4-25.6
CaO	2.23-6.16	4.7-6.4	4.31-7.36	0-1.6	-
Na ₂ O	n.d.	n.d.	0.01-0.15	0.1-0.4	0.3-0.7
K ₂ O	n.d.	n.d.	n.d.	9-10.4	6.8-9.9

Olivine and ilmenite in the studied samples are also heterogeneous: 1) UV162 / 09: Ol Mg # 85.6-88, Ilm Mg # 24.2-50.2, Cr₂O₃ 0.3-3.9; 2) SH-18/20: Ol Mg # 87.5-91.6; Ilm Mg # 39.5-42.9, Cr₂O₃ 0.9-7.3 The equilibrium of the mineral associations of the individual sections makes it possible to determine the P-T conditions of some stages of the formation of these complex rocks: UV162/09: 1) grt + opx - 1200 ° C and 6 GPa; 2) Al-opx-Al-cpx from the garnet rims - 1100 ° C and 2 GPa. REE-patterns of a garnet from SH18/20, normalized on chondrite, show a different degree and nature of enrichment, indicating different sources of metasomatism and/or several stages of this process. In general a large variety of mineral compositions and chemical compositions of the same name minerals, the presence of fine-grained minerals along with the large grains of those minerals, composition zonality, exsolution structures, kelfitic rims - all indicate extremely unbalanced conditions and the rapid formation of rocks obtained by mixing contrast compositions at great depths in the mantle before the capturing them by the kimberlite melt.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 16-05-00811) and within the framework of project No. 0330-2016-0006.

References:

1. Lawless P.J., Gurney J.J., Dawson J.B. (1979): Polymict peridotite from the Bultfontein and De Beers Mines, Kimberly, South Africa. In: Boyd, F.R., Meyer, H.O.A. (Eds.), The Mantle Sample: Inclusions in Kimberlite and Other Volcanics. American Geophysical Union. Washington. P. 145–155.
2. Zhang H.-F., Menzies M.A., Matthey D.P., Hinton R.W., Gurney J.J. (2001): Petrology, mineralogy and geochemistry of oxide minerals in polymict xenoliths from the Bultfontein kimberlites, South Africa: implication for low bulk-rock oxygen isotopic ratios // Contributions to Mineralogy and Petrology. V. 141. P. 367–379.
3. Pokhilenko N.P. (2009): Polymict breccia xenoliths: Evidence for the complex character of kimberlite formation. // Lithos. V. 112S. P. 934-941.

POSSIBLE MECHANISMS FOR THE YAKUTSK-VILYUI LIP FORMATION: PLATE-EXTENSIONAL VS. MAGMA ASSISTED RIFTING

Polyansky O.P.¹, Prokopiev A.V.², Reverdatto V.V.¹,
Babichev A.V.¹, Koroleva O.V.², Tomshin M.D.²

¹ V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, pol@igm.nsc.ru

² Diamond and Precious Metal Geology Institute, SB RAS, prokopiev@diamond.ysn.ru

Dyke swarms extending for hundreds of kilometers with a cumulative thickness of hundreds of meters to kilometers are a specific feature of continental rifting, and are widely used in tectonic plate reconstructions. It has been known that many of the large igneous provinces (LIPs) are spatially associated with intracontinental sedimentary basins, particularly with rift-related ones. In relation to the problem of the Vilyui basin origin [1, 2] and the associated Yakutsk-Vilyui LIP (Siberian platform) [3], it is vital to establish time correlation between the dyke intrusion and the stages of extension and rapid subsidence in different parts of the basin. New ⁴⁰Ar/³⁹Ar isotope ages are obtained for nine Middle Paleozoic mafic dykes of Yakutsk-Vilyui LIP and all recently published dates are summarized. We estimated the volume of mafic magmatism in the Vilyui paleorift and in the whole of the Middle Paleozoic Yakutsk-Vilyui LIP of the Siberian craton. The total minimal volume of Middle Paleozoic magmatism produced in the Yakutsk-Vilyui LIP amounts to about 100–215 K km³, which is much less than the earlier estimates.

Backstripping method of the basin analysis has been used to analyze sedimentation data on 14 boreholes, within an area of 400x250 km along the longitudinal and transverse axes of the Vilyui basin. Two stages of rapid subsidence are recognized. The first rifting stage happened in the Middle-Late Devonian at 400-375 Ma. The second foreland stage was recorded in the Middle-Late Jurassic at 190-140 Ma. The reconstructions show that the lithosphere thinning is nonuniform over depth. The mantle lithosphere usually stretches more than the crust: by a factor of 1.2-2.0 against the 1.1-1.4-fold in the crust. The expansion due to dyke intrusion was estimated within about 6%. The greatest extension is predicted for the deepest (up to 14 km) central part of the Linde depression (by a factor of 1.43-1.83) and for the neighboring Tangnary depression (by a factor of 1.39-1.77). The degree of extension decreases toward the periphery of the Vilyui basin.

The data independently obtained by isotope-geochronological and backstripping analysis suggest two models for the development of the Vilyui basin. A numerical thermomechanical model is first developed for studying possible relations between two mechanisms: intraplate extension (passive rifting) and mantle magmatic diapir (active rifting). The first model is based on observations in spreading sedimentary basins. Older magmatic feeder channels normally occupied marginal positions, which were consistent with crustal spreading away from the axial zone of dyke intrusion. The spatial age distribution analysis of the dykes did not reveal their younging in the direction from the marginal zones to the central axis of the rift basin.

The second scenario has been based on the model of a magmatic or “active” rifting. Active rift models in which the driving forces providing for extension are generated by mantle plume impingement on the base of the lithosphere. Two major pulses of mafic magmatism are identified. Isotope ages of the dykes vary from 373-374 Ma at the time of main peak of dyke intrusion to 362-364 Ma at the second peak. This sequence of dyke intrusion may be due to the area expansion during basaltic magma underplating beneath the crust. The combined model shows the contribution of the far-field extension forces and the effect of convective flows around the mantle plume with the temperature of 1500°C in the magmatic heat source operating for a period no less than 10 Ma.

This research was partly supported by RFBR (grant no. 17-05-00848) and Program of the SB RAS Presidium (projects no. 28 and 53).

References:

1. Polyansky, O.P., Prokopiev, A.V., Babichev, et al. (2013): The rift origin of the Vilyui basin (East Siberia), from reconstructions of sedimentation and mechanical mathematical modeling// Russian Geology and Geophysics, V. 54 (2), P. 121–137.
2. Ernst R.E., 2014. Large igneous provinces. Cambridge University Press. 653 p.
3. Polyansky O.P., Prokopiev A.V., Koroleva O.V. et al. (2017): Temporal correlation between dyke swarms and crustal extension in the middle Palaeozoic Vilyui rift basin, Siberian platform// Lithos, V. 282-283, P. 45-64.

EXPERIMENTAL STUDY OF NATURAL MELT INCLUSIONS IN OLIVINE AT CONTROLLED P-T- fO_2 AND IN PRESENCE OF VOLATILES: 10-YEAR PROGRESS AND PERSPECTIVES

**Portnyagin M.V.^{1,2}, Mironov N.L.¹, Almeev R.R.³,
Botcharnikov R.E.⁴, Krashennnikov S.P.¹, Holtz F.³**

¹ V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Moscow
mportnyagin@geokhi.ru

² GEOMAR Research Centre for Ocean Research Kiel, Germany

³ Leibniz Universität Hannover, Germany

⁴ Johannes Gutenberg Universität Mainz, Germany

Melt inclusions in olivine are unique probes of primitive melts, providing insights into the composition and evolution of mantle-derived magmas [1]. The amount of published melt inclusion data is rapidly growing and has a significant impact on the current models of mantle magmatism and its sources in different geodynamic settings over the entire Earth's history. Interpretation of the melt inclusion data is, however, strongly relayed on belief in that the processes occurring in melt inclusions after their entrapment in host mineral are well understood and can be tracked using numerical modeling.

Ten years ago we initiated a systematic study of melt inclusions in olivine using experiments at precisely controlled P-T- fO_2 conditions and in presence of volatiles. The aim of these studies is two-fold: 1) to investigate whether melt inclusions are able to resist changing conditions in host magma (cooling, decompression, degassing, mixing) and preserve their initial composition, and, if not, 2) to reconstruct the initial composition of melt inclusions by forcing their re-equilibration at conditions of entrapment in olivine.

In this talk, we will give an overview of our published [2-4] and new results, and perspectives. In particular, we will summarize data of hydrogen diffusivity in olivine, its mechanisms and the time scales of melt inclusion re-equilibration. We will show that hydrogen loss from melt inclusions causes large changes in major element composition of melt inclusions. These changes are not olivine crystallization and Fe-Mg exchange and, therefore, they are overlooked or misinterpreted in published studies. Our more recent data provide evidence that fluorine also can exchange rapidly, yet not as fast as hydrogen, between melt inclusions and external melt, causing decoupling of fluorine from other halogens and incompatible elements in inclusions. Further, we will show how experimental homogenization at high H_2O pressure can be used to reconstruct the initial CO_2 content in primitive island-arc melts. Finally, we will introduce our research plans, which include a global assessment of CO_2 abundance in primitive arc magmas, study of redox equilibria and its preservation in melt inclusions, and reconstruction of cooling rates of melt inclusions using experimental calibration.

References:

1. Sobolev A.V. (1996): Melt inclusions in minerals as a source of principal petrological information // *Petrology*. V. 4. P. 209-220
2. Portnyagin M., Almeev R., Matveev S., Holtz F. (2008): Experimental evidence for rapid water exchange between melt inclusions in olivine and host magma // *Earth Planet. Sci. Lett.* V. 272. P. 541-552
3. Mironov N., Portnyagin M., Botcharnikov R., Gurenko A., Hoernle K., Holtz F. (2015): Quantification of the CO_2 budget and H_2O - CO_2 systematics in subduction-zone magmas through the experimental hydration of melt inclusions in olivine at high H_2O pressure // *Earth Planet. Sci. Lett.* V. 425. P. 1-11
4. Moore L.R., Mironov N.L., Portnyagin M.V., Bodnar R.J., Gazel E. (2018): A comparative study of volatile contents of primitive arc bubble-bearing melt inclusions determined by mass-balance versus experimental homogenization methods // *J. Volc. Geoth. Res.* In press. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2018.1003.1007

FORMATION OF MOSAIC DIAMONDS FROM THE ZARNITSA KIMBERLITE

Ragozin A.L.^{1,2}, Zedgenizov D.A.^{1,2}, Shatsky V.S.^{1,2,3}, Kuper K.E.⁴

¹ V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy
ragoz@igm.nsc.ru

² Novosibirsk State University

³ Vinogradov Institute of Geochemistry

⁴ Institute of Nuclear Physics

The Zarnitsa kimberlite was the first pipe discovered by L. Popugaeva in 1954 [1] in the Daldyn field of the Daldyn-Alakit district in the Yakutian diamond province, 14 km east of Udachnyi town. Most of the Zarnitsa diamond crystals (>95%) are of variety I according to Orlov's classification [2] and the others are gray polycrystalline aggregates (variety VIII), crystals with selvages (IV), and variety II cubes; there are also dark gray, almost black diamonds morphologically similar to varieties V and VII.

We report new data on mosaic diamonds from the Zarnitsa kimberlite, which share some morphological features and appearance with placer mosaic diamonds of varieties V and VII found in the northeastern Siberian craton and coming from yet unknown primary deposits. Although being similar, the crystal structure of the Zarnitsa kimberlitic diamonds and their placer counterparts formed in different ways. The structure of the varieties V and VII placer diamonds results from splitting of crystals [3], while the Zarnitsa diamonds crystallized by geometric selection on originally polycrystalline seeds [4, 5]. The latter mechanism implies coarsening of grains from distinctly polycrystalline cores toward the periphery and formation of a radial structure [4]. As we have found out, besides the different structure formation mechanisms, the two groups of crystals differ in mineralogy of inclusions, defects and impurities, as well as in the carbon isotope composition. Unlike the mosaic placer diamonds of varieties V and VII, those from the Zarnitsa kimberlite (i) enclose peridotitic minerals (olivines and subcalcic Cr-bearing pyropes), (ii) contain the amounts of nitrogen typical of natural kimberlitic diamonds (0-1761 ppm); (iii) have a particular distribution of impurity centers over the samples (nitrogen defects become less aggregated from core to rim according to the "annealing" model); (iv) show typical mantle $\delta^{13}\text{C}$ values (-1.9 to -6.2 ‰; -4.2‰ on average).

The study was carried out as part of government assignment (Project 0330-2016-0007) and was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project 16-05-00614).

References:

1. Moor, G.G., Sobolev, V.S., 1957. On Siberian kimberlites. *Miner. Sbornik Lvov Geol. Obshch.* 11, 369-371.
2. Orlov, Yu.L., 1977. *The Mineralogy of the Diamond*. Wiley, New York, 235 pp.
3. Ragozin, A.L., Zedgenizov, D.A., Kuper, K.E., Shatsky, V.S., 2016. Radial mosaic internal structure of rounded diamond crystals from alluvial placers of Siberian platform. *Mineralogy and Petrology* 110, 861-875.
4. Ragozin, A., Zedgenizov, D., Kuper, K., Palyanov, Y., 2017. Specific internal structure of diamonds from Zarnitsa Kimberlite Pipe. *Crystals* 7, 133.
5. Shubnikov, A.V., 1946. On the geometric selection principle in the formation of a crystalline aggregate. *Dokl. AN SSSR* 51, 679-681.

CARBON ISOTOPE SIGNATURE OF DIAMONDS GROWN VIA REDOX MECHANISM

V.N. Reutsky¹, Yu.N. Palyanov¹, Yu.M. Borzdov¹, A.G. Sokol¹, M. Wiedenbeck²

¹ ИГМ СО РАН
reutsky@igm.nsc.ru
² GFZ Potsdam,

An experimental investigation of the interaction of metal iron with Mg-Ca carbonate at high temperature and high pressure [1] delivers evidence of a possibility of generation of wide variations of carbon isotope ratio in diamonds grown via this mechanism. Twenty-seven measurements were done on a total of 10 cubo-octahedral crystals, which were recovered from the single ampoule where the RedOx interaction took place at 6.5 GPa and 1550°C. Despite using single carbon source with $\delta^{13}\text{C}$ equal to +0.2‰ VPDB, the diamond crystals show a range of $\delta^{13}\text{C}$ values from -0.5 to -17.1‰ VPDB. The rest of carbonate after the experimental run have shown shifting of its $\delta^{13}\text{C}$ up to +1.4‰. The newly formed iron carbide has $\delta^{13}\text{C} = -6.5\text{‰}$. The general distribution of carbon isotopes between phases in the system is in agreement with recent theoretical and experimental results of carbon isotope fractionation at high PT-conditions [2,3].

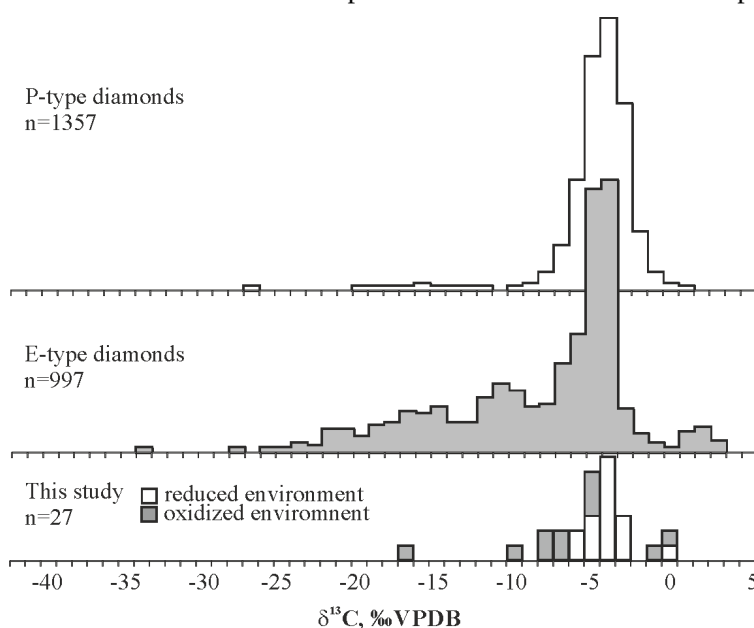


Fig.1 – A comparison of distributions of carbon isotope compositions of natural diamonds with certain types of mineral inclusions and of diamond crystals, generated via RedOx reaction of metallic iron and pure Mg-Ca carbonate.

Diamonds grown in the metal-rich part of the system are relatively constant in their carbon isotope compositions with average $\delta^{13}\text{C}$ value -4.55‰ (sd = 1.33, n = 16). Those diamonds recovered from the carbonate dominated part of the capsule show a much wider variations and significantly lower average $\delta^{13}\text{C}$ value -7.10‰ (sd = 4.58, n = 11). Overall distribution of obtained $\delta^{13}\text{C}$ values fits well the distribution of carbon isotope compositions of natural diamonds of both peridotitic and eclogitic suits of mineral inclusions (Fig. 1).

The experimentally observed distribution of diamond' $\delta^{13}\text{C}$ using a single carbon source with carbon isotope ratio of marine carbonate is similar to that found in certain classes of natural diamonds. Our data indicate that the $\delta^{13}\text{C}$ distribution in diamonds that resulted from a redox reaction of model marine carbonate with reduced mantle material is hardly distinguishable from the $\delta^{13}\text{C}$ distribution of mantle diamonds.

This study was supported by the Russian Science Foundation under Grant No. 14-27-00054.

References:

1. Palyanov Y.N., Bataleva Y.V., Sokol A.G., et al. (2013): Mantle–slab interaction and redox mechanism of diamond formation // Proceedings of the National Academy of Sciences. V. 110. №51. P. 20408-20413.
2. Horita J., Polyakov V.B. (2015): Carbon-bearing iron phases and the carbon isotope composition of the deep Earth // Proceedings of the National Academy of Sciences. V. 112. №1. P. 31-36.
3. Reutsky V.N., Palyanov Y.N., Borzdov Y.M., Sokol A.G. (2015): Isotope fractionation of carbon during diamond crystallization in model systems // Russian Geology and Geophysics. V. 56. №1. P. 239-244.

CUBIC GRAPHITE IN THE NATIVE IRON OF SIBERIAN TRAPPS

Ryabov V.V.

IGM SB RAS
trapp@igm.nsc.ru

Graphite with a cubic crystal shapes is scarce in nature. It was observed in meteorites in association with diamond and called cliftonite. The most representative locations of the cubic graphites are described in mafic-ultramafic Beni Bousera massif in Morocco and in the native iron from the trapp intrusive bodies of Siberian platform. The nature of cliftonite is not clear. It is supposed that cliftonite from meteorites and Beni Bousera massif is a pseudomorph after either some cubic mineral or was formed after diamond. The cliftonite with native iron in trapps was supposedly formed in the upper mantle with subsequent transportation in the shallow magma reservoir [1].

Native iron in the trapp intrusive bodies as related with Pt-Fe ores with elevated concentrations of Ni, Co, Cu, Pt, Pd [2]. Inclusions of graphite, which form platelets, flake aggregates, radial spheroids, rings, micro- and nanotubes, cones, bulb- and hedgehog-like aggregates, were observed in the ore-bearing rocks. Cubic crystals are observed only in rich sponge-like ores of the native iron. They form small single (0,1-0,5 mm) crystals, clusters and rarely multicrystal aggregates (up to 0,5x0,9 cm), which grew over the silicate matrix (Fig.1). The amounts of graphite cubes vary largely. The sample weighting 200-300 g can contain up to several hundreds of cliftonite crystals [1]. On the other hand cliftonite has never been found in rocks, which are poor in native iron. Cohenite in native iron is frequently observed as phenocrysts, exsolution textures and as rims at the boundary between the cliftonite and the rock. The iron with abundant exsolution lamellas of cohenite never contain cliftonite. On the contrary, when iron contains abundant cliftonite the cohenite is rare.

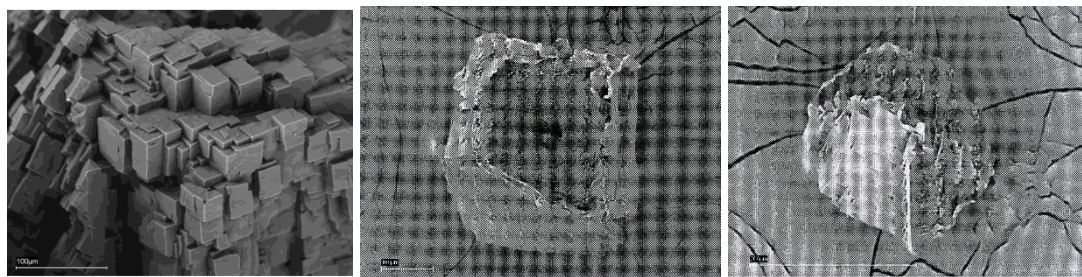


Fig. 1. Polycrystalline aggregate of graphite cubes (left) and damaged at the corner and faces cubic “boxes”, which revealed internal regularly textured graphite filling (right and center).

Cubic graphite crystals have different internal filling. The petrographic thin sections reveal densely packed fine-flake graphite aggregates, which form either spherocrystals with sectoral extinction in the polarized light, or loose intergrowth of platelet and textured graphite individuals (see Fig. 1). The rectangle step-like growth textures are frequently found on the cube faces.

Only outer rim of the cliftonite crystal has cubic shape. It is filled by textured graphite. It can be supposed that the nature of cubic shapes of the graphite boxes is related to interaction of hydrocarbons with ore components leads to formation of specific carbon-transition metal species, which affected the catalytic decomposition of the carbon lattice and formation of the cubic graphite structure [3].

Reference:

1. Levashov V.K., Oleinikov B.V. (1984): Earth cliftonite in the association with native iron of gabbro-dolerites of the Ozernaia Mountain (Siberian platform) // *Doklady Akademii Nauk SSSR*. V 278, Iss 3, P.719-722.
2. Ryabov V.V., Lapkovsky A.A. (2010): Native iron(-platinum) ores from the Siberian Platform trap intrusions // *Australian Journal of Earth Sciences*. 57. P. 707-730.
3. Vol'pin M.E. (1980): Complexes of graphite with transition metals – the new class of the metalorganic compounds // *Vestnik Akademii Nauk SSSR*. Iss 3. P. 21-27.

CARBONATE-BEARING SOURCE OF GRANITOIDS IN THE SOUTHERN MARGINAL ZONE OF THE LIMPOPO COMPLEX, SOUTH AFRICA, AS AN EVIDENCE FOR INTERACTION OF GRANULITE COMPLEX WITH

Safonov O.G.¹²³, van Reenen D.D. 3, Mityaev A.S. 21, Yapaskurt V.O. 21, Reutsky V.N. 4, Varlamov D.A. 1, Shcherbakov V.D. 21, Smit C.A. 3

¹ Korzhinskii Institute of Experimental Mineralogy RAS, Chernogolovka, Russia
oleg@iem.ac.ru

² Department of Petrology, Moscow State University, Moscow, Russia

3 Department of Geology, University of Johannesburg, Johannesburg, South Africa

4 Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB of RAS, Novosibirsk, Russia

During exhumation from the lower crust, high-grade complexes actively interact with ancient cratons. The interaction produces fluxes of fluids and magmas from the buried cratonic sequences to the overthrusting granulites. Composition of these fluids and magmas is predetermined by composition of granite-greenstone material of the adjacent cratons. The Archean greenstone sequences commonly include carbonate lithologies varying from marine dolomites to hydrothermal calcite veins. Such carbonate-bearing layered sequences could serve as sources both for CO₂ and granitoid melts invading the granulites.

In the present study, we report evidences for carbonate-bearing source for granitoid magmas effecting the Southern Marginal Zone (SMZ) of the Neoarchean Limpopo complex, South Africa [1]. These magmas intruded the SMZ in the period of time 2.67-2.68 Ga after metamorphic peak (2.71-2.72 Ga) during the exhumation of the SMZ onto the Northern Kaapvaal craton [2]. Following to fluid inclusion data and mineral equilibria modeling, the magmas carried CO₂-rich fluids. Recently we reported the $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ values for graphite (-6.5 to -8.6 ‰) and fluid inclusions (-4.10 ± 1.2 ‰) from the granitoids [3]. These values differ from $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -15.0$ to -12.5 ‰, which have been known for graphite from metapelites of the SMZ [4]. We assumed that the magmas and their fluids have originated from the source outside the granulite complex. The «heavy» isotope signatures correspond to the source within the cratonic greenstone sequences, which involved Archean hydrothermal carbonate veins ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} > -9$ ‰).

In addition, we present new data of the carbonate-bearing polyphase inclusions in garnets from the granitoids. Following to morphology, these inclusions were interpreted as inclusions of crystallized carbonate-silicate melts. The inclusions contain predominantly (Mg, Fe)CO₃ with $X_{\text{Mg}} = 0.24 - 0.78$. A common silicate component of the inclusions is Fe-Mg-bearing pyrophyllite. Raman spectra revealed CO₂, CH₄ and liquid H₂O in the inclusions. Carbonate-silicate inclusions coexist with polyphase inclusions composed of biotite, quartz, K-feldspar, plagioclase, sillimanite, which represent relics of granitic melts. Carbonate-silicate and silicate inclusion show compositional trends, that implies genetic relations between carbonate-silicate and granitic melts.

Relics of the fluidized carbonate-silicate melts in garnets of the granites support the conclusion on the carbonate-bearing source for the granite magmas deduced from the carbon isotope study. Depletion of the inclusions in Ca and enrichment in Mg, Fe and Al implies that this source included metapelites intercalated with carbonate rocks. During anatexis, this source produced some carbonatitic melts, which were subsequently dispersed in the voluminous granite melts, while issued CO₂ propelled granite intrusion.

Study is supported by the Russian Scientific Foundation (project 18-17-00206).

References:

1. van Reenen D.D., Smit C.A., Perchuk L.L. et al. (2011): Thrust exhumation of the Neoarchean ultrahigh-temperature Southern Marginal Zone, Limpopo Complex: Convergence of decompression-cooling paths in the hanging wall and prograde P-T paths in the footwall // *Geol. Soc. Am. Memoirs*. V. 207. P. 189-212.
2. Safonov O.G., Tatarinova D.S., van Reenen D.D. et al. (2014): Fluid-assisted interaction of peraluminous metapelites with trondhjemitic magma within the Petronella shear-zone, Limpopo Complex, South Africa // *Precambrian Res.* V. 253. P. 114-145.
3. Safonov O.G., Reutsky V.N., Varlamov D.A., et al. (2018): Composition and source of fluids in high-temperature graphite-bearing granitoids associated with granulites: examples from the Southern Marginal Zone, Limpopo Complex, South Africa // *Gondwana Res.* (in press).
4. Vennemann T.W., Smith H.S. (1992): Stable isotope profile across the orthoamphibole isograd in the Southern Marginal Zone of the Limpopo Belt, South Africa // *Precambrian Res.* V. 55. P. 365-397.

GIS TECHNOLOGIES FOR LARGE-SCALE PREDICTION OF “KIMBERLITE CONTROLLING FAULT” – “KIMBERLITE CLUSTER” EXPLORATION TARGETS IN AREAS OF TRAP MAGMATISM

Salikhov R.F.¹, Tolstov A.V.²

¹ PAO ALROSA, Vilui Geological Survey

SalikhovRF@alrosa.ru

² PAO ALROSA, Research Geological Prospecting Company

TolstovAV@alrosa.ru

The large-scale prediction of exploration targets like “kimberlite-controlling fault” – “kimberlite cluster” in areas of trap magmatism is based on detection of kimberlite field elements by geological and geophysical surveys coupled with paleogeographic analysis, with the use of GIS technologies. Prospects for residual diamond potential are assessed proceeding from the knowledge of basement and sediment tectonics as revealed by geophysics (magnetic, gravity, and seismic surveys with the appropriate survey density), as well as from heavy mineral concentrate (HMC) sampling and reconstructed topography of the carbonate basement paleosurfaces.

The diamond potential of a license area in Yakutia (21 pipes and 9 dikes, including two deposits of Yubileinaya and Krasnopresnenskaya) was estimated by medium-scale *ArcView* GIS modeling for Sheet Q-49-XXI, XXII of the Geological Map-200 [1], with reference to the known kimberlites. The zones of dynamic influence that covered all known bodies (100%) were considered as having high potential for the presence of kimberlites.

Kimberlite magmatism has multiple controls. Most researchers agree that high potential should be assigned to an area with the greatest number of kimberlite magmatism signatures and prediction criteria. Successive GIS procedures (*Buffer*, *Clip*, *Explode*) were applied to identify potentially kimberlite-bearing sites which comply with all selected structural criteria: ore guides, ore distribution systems, and secondary (dependent) signatures (demasking systems). These sites are considered as potential structural traps for kimberlite mineralization. Their prospects and the respective ranking for sequence of exploration works were supported by HMC criteria.

The high, moderate, and low prospects of the dispersion trains of kimberlite indicator minerals (KIMs) were estimated from Cr contents and the presence of diamonds in pyropes.

For highly promising old KIM trains, the influence zone up to 1000 m [2] spread toward the next watershed of the buried Lower Paleozoic topography.

Second-priority sites are those beyond the KIM trains, which were identified proceeding uniquely from structural criteria (settings in which dolerites lie on the carbonate basement, zones of smooth topography, etc.).

Thus, successive GIS procedures allowed excluding the areas explored by drilling from the list of highly promising sites. Sites less than 1 ha were excluded at the next stage. Finally, the most promising sites were outlined for drilling checks.

References:

1. Salikhov, R.F. et al., 2005. The National Geological Map of the Russian Federation, Scale 1:200 000, Upper Vilui Series (second edition). Sheet Q-49-XXI, XXII (Aikhal). Explanatory Note. St. Petersburg http://geo.mfvsegei.ru/200k/q-49/q-49-21,22/Download/Zap_Q-49-XXI,XXII.pdf
2. Salikhov, R.F., 2004. The use of the transverse placer productivity criterion for large-scale prediction of primary diamond deposits, in: Efficiency of Diamond Prediction and Exploration: Past, Present, and Future (DIAMOND-50). Proc. Conf. On the First Discovery Anniversary of the Diamondiferous Kimberlite Pipe Zarnitsa. RF Ministry of Natural Resources, VSEGEI, ALROSA. St. Petersburg, 298 – 300.

FORMATION OF XENOLITHIC MAFIC GRANULITES FROM THE UDACHNAYA KIMBERLITE: P-T CONDITIONS INFERRED BY PHASE EQUILIBRIUM MODELING

Sapegina A.V.^{1 2}, Perchuk A.L.^{1 2}, Safonov O.G.^{1 2}, Malkovets V.G.³

¹ D.S. Korzhinsky Institute of Experimental Mineralogy

² Subdepartment of Petrology, Geological Faculty, MV Lomonosov Moscow University
ann-sapegina@yandex.ru,

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy

Xenoliths of crustal metamorphic rocks in kimberlites provide insights into the structure, evolution, and continental crust growth. We report the results of detailed petrological studies of mafic granulite xenoliths from the Udachnaya kimberlite in the Daldyn-Alakit kimberlite field of Yakutia. The xenoliths are composed of coarse granoblastic euhedral or angular particles of clinopyroxene, garnet, and plagioclase (scapolite in one sample), as well as opaque minerals of titanomagnetite, ilmenite, and iron sulfides. All samples contain regressive metamorphic amphibole, as well as later products of granulite interaction with kimberlite magma.

Garnets ($x_{Mg} = 0.31$ and $x_{Ca} = 0.17$) and plagioclases ($x_{Ca} = 0.30$) are homogeneous, with local heterogeneities at some rim sites resulting from metasomatic reactions with kimberlite melts. Clinopyroxenes show distinct zoning, with compositionally uniform cores ($x_{Mg} = 0.74$) containing exsolved iron oxides and orthopyroxene (Fig. 1, b). Inverted pigeonite reported previously from the exsolution lamelli [2, 3] indicates crystallization at $>1000^{\circ}\text{C}$. The rims, free from exsolved phases, have higher Mg contents depending on the contact mineral: $x_{Mg} \sim 0.78$ for garnet and $x_{Mg} \sim 0.73$ for plagioclase. Both rims and cores of pyroxenes contain 1-2 mol. % jadeite and 8-10 mol. % aegirine. Scapolite belongs to the silvialite-meionite series.

The P-T conditions of metamorphism were reconstructed by calculating the bulk chemistry of two representative samples, with and without clinopyroxene cores. Equilibrium phase diagrams (pseudosections) were plotted for these compositions using the *Perple_X* software [1], and the sought P-T conditions were estimated from the composition isopleths corresponding to naturally occurring minerals: ~ 0.8 GPa and ~ 680 - 700°C for the Gt + Cpx + Pl ($\pm$ Scp) assemblage. The obtained temperature estimates are consistent with the results of Gt – Cpx geothermometry.

Modeling shows that granulites originated at the lower-middle crust boundary. The clinopyroxene cores do not belong to the metamorphic assemblages and may be non-reequilibrated remnants of juvenile crust composed of mafic magmas [3] produced by decompression melting of rising asthenospheric material.

The study was supported by the Russian Science Foundation (Project 18-17-00206).

References:

1. Connolly, J.A.D., 2005. Computation of phase equilibria by linear programming: A tool for geodynamic modeling and its application to subduction zone decarbonation. *Earth Planet. Sci. Lett.* 236, 524-541.
2. Stenina, N.G., Shatsky, V.S., 1985. Exsolution lamelli in clinopyroxenes of eclogitic rocks. *Soviet Geology and Geophysics* 26 (3), 51-64.
3. Shatsky, V.S. et al., 2005. Structure and evolution of the lower crust in the Daldyn-Alakit district, the Yakutian diamond province, from data on xenoliths. *Russian Geology and Geophysics* 46 (12), 1273-1289.

JADEITITES AND RELATED HP-ROCKS FROM HISPANIOLA AND THEIR BEARING ON THE DYNAMICS OF SUBDUCTION ZONES

Schertl H.P.¹, Maresch W.V.¹, Hertwig, A.²

¹ Ruhr-University Bochum, Germany

hans-peter.schertl@rub.de, walter.maresch@rub.de

² University of Wisconsin-Madison, Madison, USA

andreas.hertwig@rub.de

Serpentinite mélanges in the Rio San Juan Complex (RSJC) host HP-metamorphic tectonic blocks such as blueschist, eclogite, orthogneiss, marble, metapelite, cymrite-bearing rocks etc., as well as a variety of quartz-free and quartz-bearing jadeitites and jadeite-rich rocks. Such mélanges form within subduction channels of intra-oceanic arc systems [1, 2].

The different rock types reveal a broad diversity of PTt-paths that are nevertheless closely interrelated and reflect the evolving dynamics of the subduction zone over a time interval of more than 60 Myr. The highest PT conditions are recorded in the early stages of subduction-zone evolution, and PT-paths can be both clockwise and anticlockwise with low (“warm”) P/T-gradients. The maximum PT-conditions of about 800°C/2.5 GPa are recorded in eclogites; a Lu-Hf-isochron age yields 103.9 Ma. Omphacite-bearing blueschists document a continuous cooling and steepening of the PT-gradient, and the recorded peak metamorphic conditions are 500-550°C/1.6-1.8 GPa at 80.3 Ma (Rb-Sr on Phe-Amp-WR). Very steep (“cold”) P/T-gradients are derived for jadeite blueschists; Rb-Sr-ages (Phe-Amp-WR) of 62.1 Ma and Ar-Ar ages of 71.9 Ma date the peak metamorphic conditions of 360-380°C at about 1.7 GPa [1].

The principal types of jadeite-bearing rocks observed in the RSJC can be categorized as (1) jadeitites *s.str.* (matrix-quartz-free, albite-bearing, > 90 vol% jadeite), as well as (2) jadeitites *s.str.* (quartz-bearing) and jadeite quartzites (JQ) which grade into jadeite-lawsonite quartzites (JLQ) and even lawsonite quartzites (LQ) [2]. Independent of the formation process envisaged (“P-type” or “vein precipitation” versus “R-type” or “metasomatic replacement” [3, 4; see also 5]), petrographic observations such as omphacite rims enveloping jadeite crystals or late omphacite veins and pumpellyite+lawsonite veins in blueschist country rocks of the jadeitites indicate a change of the fluid toward more Ca-rich compositions. In this respect, it should be noted that the formation of jadeite has its analog in a process that also typically occurs in serpentinite rocks, *i.e.* the process of rodingitization [6].

References:

1. Krebs, M., Schertl, H.-P., Maresch, W.V., et al. (2011): Mass flow in serpentinite-hosted subduction channels: P-T-path patterns of metamorphic blocks in the Rio San Juan mélange (Dominican Republic). // J. Asian Earth Sci., № 42, P. 569–595.
2. Schertl, H.-P., Maresch, W.V., Stanek, K.P., et al. (2012): New occurrences of jadeite, jadeite quartzite and jadeite-lawsonite quartzite in the Dominican Republic, Hispaniola: Petrological and geochronological overview. // Eur. J. Min., № 24, P. 199–216.
3. Tsujimori T., Harlow G.E. (2012): Petrogenetic relationships between jadeite and associated high-pressure and low-temperature metamorphic rocks in worldwide jadeite localities. // Eur. J. Min., № 24, P. 371–390.
4. Yui, T.-F., Maki, K., Usuki, T., et al. (2010): Genesis of Guatemala jadeite and related fluid characteristics: insight from zircon. // Chem. Geol., № 270, P. 45–55.
5. Maresch W.V., Schertl H.-P., Hertwig, et al. (2018): The genesis of jadeite and jadeite-rich rocks. // this meeting.
6. Li, X.-P., Zhao, L.-Q., Schertl, H.-P., et al. (2017): Rodingites from the Xigaze ophiolite, Southern Tibet – new insights to the process of sea floor rodingitization. // Eur. J. Min. № 29, P. 821-837.

PROSPECTS OF FINDING NEW DIAMOND DEPOSITS IN THE NORTHERN TERRITORIES OF THE EASTERN EUROPEAN PLATFORM

Schukina E.V.¹, Schukin V.S.²

¹ IGM SB RAS

shchukinalena@igm.nsc.ru
helenashchukina@gmail.com

² ООО «Прозекс-Сервис»
vlad.shchukin@mail.ru

In this paper, we assess the diamond potential of the north of the East European Platform, on the basis of aeromagnetic survey data and the results of studying the morphology and chemical composition of 1513 grains of indicator minerals from kimberlite (IMK, pyrope, olivine, Cr-diopside) identified in the slime samples that were collected in the four studied areas, located in the northeast (within the Arkhangelsk Diamond Province, AAP) and the southwestern parts of the Arkhangelsk Region (Fig. 1). All investigated areas are located within the ancient cratons: Kolskiy (area "R" and "K"), Karelian (area "L") and Shenkursky (area "S"). Composition of the IMK and mineral thermobarometry for pyrope and chrome diopside showed that parameters of the lithospheric mantle under the studied territories, such as composition (70-80% lherzolites, 6-17% harzburgites, 2-10% verlites), structure (lower boundary in the interval of 190-230 km, the thickness of the "diamond window" is about 60-100 km) and the thermal regime (35-40 mV/m²) are typical of lithospheric mantle of the kimberlite provinces around the world, including the AAP. Relatively high amounts of IMK with a primary magmatic surface (17-39% for pyrope, 92-100% for olivines, and 12-40% for Cr-diopsides) indicate possible presence of local kimberlite sources in all four areas. High amounts of pyrope from the diamond association (11-30%) may indicate the potentially high diamond content of the sources. Based on the obtained results, it can be stated that the studied areas can be recommended for prospecting for diamonds, with a high probability of finding new potentially diamond-rich kimberlites.

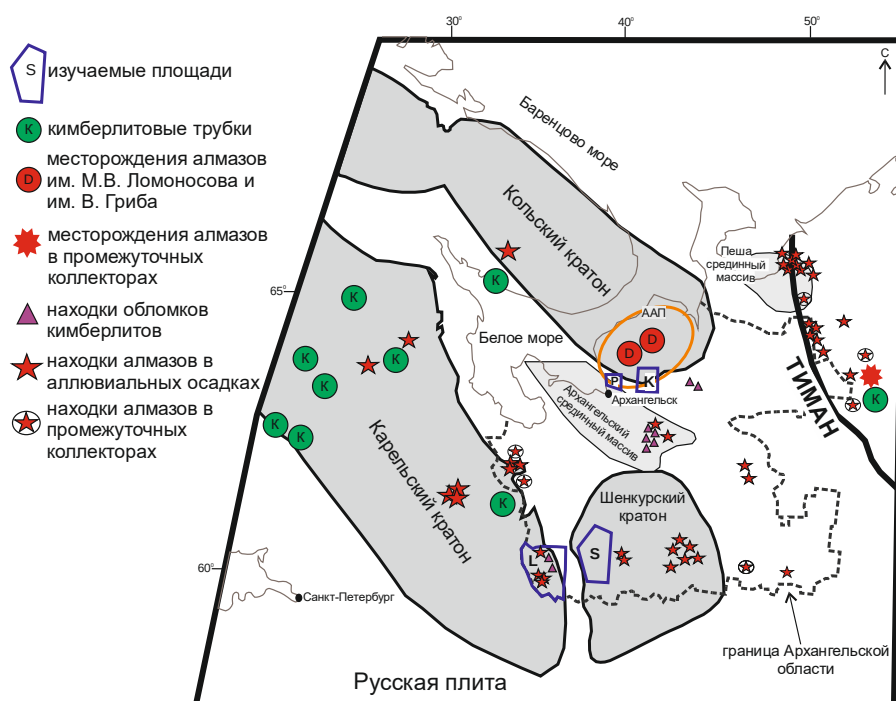


Fig.1 Tectonic scheme of the north of the East European platform.

The Russian Science Foundation (project No. 17-77-10008) supported the work.

METAMORPHIC HP-UHP EVOLUTION OF GRT LHERZOLITE AND GRT-OL WEBSTERITE OF THE MARUN-KEU COMPLEX, POLAR URALS

Selatitsky A.Yu.¹, Kulikova K.V.²

¹ V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy selya@igm.nsc.ru

² Institute of Geology, Komi SC, RAS Ural Branch fopolina1@yandex.ru

The Marun-Keu eclogite-gneiss complex is among key metamorphic complexes of the Polar Urals that records Paleozoic subduction and collision events [1 and references therein]. It extends for ~70 km from north to south along the Main Ural Fault in the paleocontinental sector of the region. In its southern part, the complex consists of eclogitic boudins and lenses, Grt peridotite, and eclogitic gabbro among metamorphic volcanic-sedimentary rocks [2]. Previous publications focused mostly on eclogites [3 and references therein] that formed under maximum pressures of 21-23 kbar and temperatures of 660-690 °C [1]. UHP metamorphism of the Marun-Keu rocks was revealed by Grt-Opx geothermobarometry of peridotite (first data on three samples were reported in [3]). By the time being, we have analyzed 14 samples of Grt lherzolite and Grt-Ol websterite and obtained maximum P-T estimates of the metamorphism peak for 7 samples: 38-39 kbar and 830-850 °C, corresponding to subduction to a depth of 117 km. The P-T parameters of the regression stage (24.5-14 kbar, 695-575 °C) are within the range for eclogite.

Several mineral assemblages found in the samples record multi-stage metamorphic changes of the igneous protolith during subduction and exhumation. They represent the stages of

(i) magmatism, with preserved residual cumulate textures: cumulus Ol-1 and intercumulus Opx-1 and Cpx-1, with CrSpl-1 inclusions. According to data of [2] and our field observations of 2017, Grt peridotites preserve remnant Pl peridotite (up to a few meters);

(ii) progressive metamorphism: Grt-1 (low-Mg; scarce relict cores), resorbed Spl hercynite in garnet;

(iii) metamorphism peak: Grt-2 (high-Mg), low-Al-Opx-2 (relict cores in porphyroblasts); Cpx-2 inclusion in Grt-2;

(iv) regressive metamorphism: Grt-3 (low-Mg), high-Al-Opx-3 (core and rims of porphyroblasts, matrix grains), Grt-4 (low-Mg high-Ca domains and zones along cracks in Grt-3), Cpx-3, Ol-2, Amp-pargasite, CrSpl-2, Mgs, Dol, Cal. These phases form the structure and texture of the rocks which underwent strong regressive alteration, judging by predominant Grt-3, carbonates, and abundant amphibole, which indicates involvement of fluids at the respective stage. The evolution of garnet chemistry during metamorphism was described in [4].

Remnant plagioperidotite in Grt peridotite boudins, gabbro in eclogite, as well as major-element correlations and garnet composition features [5], indicate that the mafic-ultramafic protoliths of the Marun-Keu eclogite and Grt peridotite emplaced into the crust before subduction; then they sank into the mantle, experienced UHP metamorphism, and were exhumed.

References:

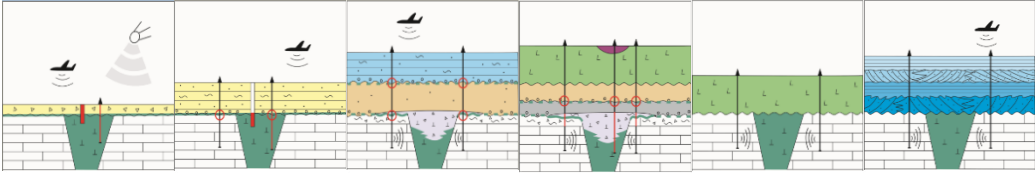
1. Kurenkov, S.A., Simonov, V.A., Shatsky, V.S., et al., 2005. Regional tectonics. Transactions, Geol. Inst. Issue 561. Book 2. Kazakhstan, Tien Shan, Polar Urals. Nauka, Moscow, 130-157. (in Russian)
2. Udovkina, N.G., 1971. Eclogites of the Polar Urals. Nauka, Moscow, 191 pp. (in Russian)
3. Selatitsky, A.Yu., Kulikova, K.V., 2017. First data on UHP metamorphism in the Polar Urals. Doklady Earth Sci. 476 (6), 681–684.
4. Selatitsky, A.Yu., Kulikova, K.V., 2017. Evolution of garnet chemistry during metamorphism of peridotites in the Marun-Keu UHP complex, polar Urals. Bull. Inst. Geol. Komi SC UrB RAS, 8, 36–43. (<http://geo.komisc.ru/images/stories/vestnik/2017/272/36-43.pdf>)
5. Selatitsky, A.Yu., Kulikova, K.V., 2018. Garnet chemistry: implications for crustal genesis of the protoliths of the UHP peridotites in the Marun-Keu complex (Polar Ural). Bull. Inst. Geol. Komi SC UrB RAS, 2, 38–47. (<http://geo.komisc.ru/images/stories/vestnik/2018/278/38-47.pdf>)

PROBLEMS OF SEARCHING MINERALOGY IN THE COVERED TERRITORIES

Serov I.V., Nikiforova A.Y.

¹«ALROSA» JSC, Mirny, Russia
seroviv@alrosa.ru, nikiforovaay@alrosa.ru

To maintain the mineral resource base for diamond mining enterprises, it is necessary to constantly replenish it. The stock of easily developed bodies is now almost exhausted. With the increasing complexity of geological settings and the growing thickness of overlapping rocks, the effectiveness of the remote geophysical search methods decreases. Therefore, new methodological approaches of geological prospecting works (GPW) for diamonds are required.



Метод / Геотип	I ГЕОТИП. Маломощный элювиально- дельтавиальный покров до 3м	II ГЕОТИП. Терригенные отложения до 20м	III ГЕОТИП. Терригенные отложения и продукты кор выветривания мощностью 20-200м	IV ГЕОТИП. Породы трапповой формации залегающие на терригенных отложениях	V ГЕОТИП. Породы трапповой формации на кимберлитомещающем цоколе	VI ГЕОТИП. Терригенные отложения с преобладанием в основании прибрежно- морских и дельтовых фаций
Аэромагнитная съемка-10				Районирование пластовых интрузий, градиентометрическая съемка системами DAARC500, Jessy Star		
Сейсморазведка 2D-3D		Площадные съемки	Площадные съемки, просвечивание	Просвечивание, среднечастотная	Просвечивание, среднечастотная	Просвечивание
Магниторазведка-5		Производство	Производство	Картирование межтрапповых окон	Опытные работы	
Космофотометрия		до 100 м	Опытные работы	Неинформативен	Опытные работы	
Электроразведка-5						
Радиоволновая геointроскопия			Опытно-производственные работы			
Георадарная съемка			Предел возможности	Предел возможности	Предел возможности	
Электротомография						
Тектонофизика			+ тепловьюер	+ тепловьюер	+ тепловьюер	+ тепловьюер
Поисковая минералогия	Первичный поток	Базальный горизонт	Базальный горизонт	Базальный горизонт	Неинформативен	Неинформативен
КАГС-5			Опытно-производственные работы			
Аэромагнитотеллурическая съемка			Опытные работы	Опытные работы	Опытные работы	
Межскважинное сейсмопросвечивание			Опытные работы	Опытные работы	Опытные работы	
Комплексирование методов			Важно	Важно	Важно	Важно

The traditional methods of GPW in the search for diamond deposits are geological and geophysical works, mining and drilling operations, and laboratory research. Among this approaches in the early stages of GPW predictions, mineralogical zoning, structural and tectonic analyses of the exploration territories, complex of aerogeophysical works, mineralogical sampling and mineralogical – geochemical investigations are widely used. Mineralogical – geochemical investigations are connected with the studies kimberlite indicator minerals (IMK) – diamond, olivine, garnet, clinopyroxene, ilmenite and chromites. The development of the instrumental facility expands the possibilities to study the morphology and chemistry of these minerals using various research methods: microscopy, spectrometry, X-ray diffractometry and electron probe microanalysis.

The most important direction in this case is the development of the mineralogical criteria for estimation the potential diamond content of kimberlites, which in turn requires the application of known genetic classifications of IMK, determination of the factors that affect the potential and actual diamond content of kimberlites and related rocks

Besides that, the addition to the prospecting complex of IMK research of IMK microdiamonds (less than 1 mm): the study of morphology, granulometric composition, the forecast for the output of large classes of diamonds - provides a methodological basis for the development and improvement of the mineralogical criteria for the potential and actual diamond content of kimberlites for the evaluation and exploration stage, as well as the predictive assessment of new areas.

USING LOW-FREQUENCY EARTHQUAKES TO STUDY UNSTEADY FLUID TRANSPORT AT DEPTH IN SUBDUCTION

Nikolai Shapiro^{1 2}

¹ Institut de Physique du Globe de Paris

nshapiro@ipgp.fr

² Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences

Earthquakes whose signals are depleted in high frequencies (low frequency earthquakes, LFE) are systematically observed beneath volcanoes and in the deep roots of tectonic faults. Volcanic LFE are considered to be related to pressure perturbations that are caused by nonstationary fluid transport in volcanic and hydrothermal systems. The sources of tectonic LFE are associated with fluid-enabled shear transients at brittle–ductile transition zones of active faults. In both volcanic and tectonic environments, the fluid pore pressure is one the main parameters controlling the LFE generation.

We present here two cases when the LFE observations were used to infer time dependent fluid pore pressure transport at depth. First, we observe the LFE in the Guerrero region of the Mexican subduction zone and argue that the transient changes in their occurrence rate are caused by a pore pressure fluctuation related to the migration of the metamorphic fluids updip along the subduction interface. As a second case, we present observations of LFE that occurred in 2011– 2012 within the Klyuchevskoy volcano group in Kamchatka, Russia. We show two distinct groups of LFE sources: events that occurred just below the active volcanoes, and deep LFE at depths of 30 km in the vicinity of a deep magmatic reservoir. We report systematic increases of the LFE rates prior to volcanic eruptions with the initial activation of the deep LFE sources that reflects pressurization of the deep reservoir and consequent transfer of the activity towards the surface through. We interpret this migration of the LFE activity as being caused by the diffusive pressure pulse propagation associated with the unsteady fluid transport through a system of vertically connected thin channels.

The reported observations suggest that the variations in the LFE occurrence rates can be used to follow the evolution of the fluid pressure and provide evidence for the unsteady fluid transport at depth in subduction zones.

NEW MINERAL SPECIES IN IRON METEORITE UAKIT (IIAB), BURYATIA

Sharygin V.V.^{1,2,3}, Ripp G.S.⁴, Yakovlev G.A.³, Seryotkin Yu.V.^{1,2}, Karmanov N.S.¹

¹IGM SB RAS, Novosibirsk, sharygin@igm.nsc.ru; ²Novosibirsk State University, Novosibirsk;
³Ural Federal University, Ekaterinburg; ⁴GI SB RAS, Ulan-Ude.

Iron meteorite Uakit (IIAB, 3.96 kg) was found in 2016 in the Baunt Evenk district, Republic of Buryatia, Russia. Unlike most of iron meteorites, it is characterized by highly diverse mineralogy. Kamacite is dominant in the meteorite (>98 vol.%). Minor and accessory primary minerals are: schreibersite (rhodite), nickelporphide, taenite, cohenite, tetrataenite, daubreelite, kalininite, troilite, carlsbergite, sphalerite, uakitite, cooper, potentially new mineral CuCrS_2 and unidentified Mo-phase. The large troilite-daubreelite nodules (up to 1 cm) are common of the Uakit meteorite. Ni-rich magnetite, pentlandite, heazlewoodite, awaruite-nickel as well as Ni-rich goethite, akageneite, Ni-rich siderite, Ca-Fe-carbonates, gypsum, and unidentified Ni-Fe-Cr sulfide, hydrated Fe-rich phosphate and Ca-Fe-sulfate are related to different stages of the terrestrial alteration [1-3]. The Uakit meteorite contains a lot exotic accessory minerals: carlsbergite CrN , sphalerite ZnS , nickelporphide $(\text{Ni,Fe})_3\text{P}$, kalininite $(\text{Zn,Fe})\text{Cr}_2\text{S}_4$, cohenite Fe_3C ; and it is holotype specimen for uakitite VN (IMA 2018-003) and CuCrS_2 phase.

Uakitite was observed in small troilite-daubreelite inclusions (up to 100 μm) in kamacite and in large troilite-daubreelite nodules (up to 1 cm). Most such inclusions represent alternation of layers of troilite and daubreelite, $\pm$ schreibersite, magnetite and rare CuCrS_2 . Uakitite (<5 μm) is one of early minerals in these associations (Fig. 1). It forms isometric (cubic) crystals (in daubreelite) or rounded grains (in schreibersite). The empirical formula (n=53) is $(\text{V}_{0.91}\text{Cr}_{0.07}\text{Fe}_{0.02})_{1.00}\text{N}_{1.00}$. It is structurally related to carlsbergite CrN and osbornite TiN . Single-crystal X-ray studies for uakitite could not be carried out because of the small size. Structural data were obtained for three uakitite crystals using the EBSD technique (Fig. 1) and fitted to the structural model of synthetic VN (cubic, $Fm-3m$, $a = 4.1328(3) \text{ \AA}$) [4]. These data show the parameter $\text{MAD} = 0.14-0.37^\circ$ (best-good fit).

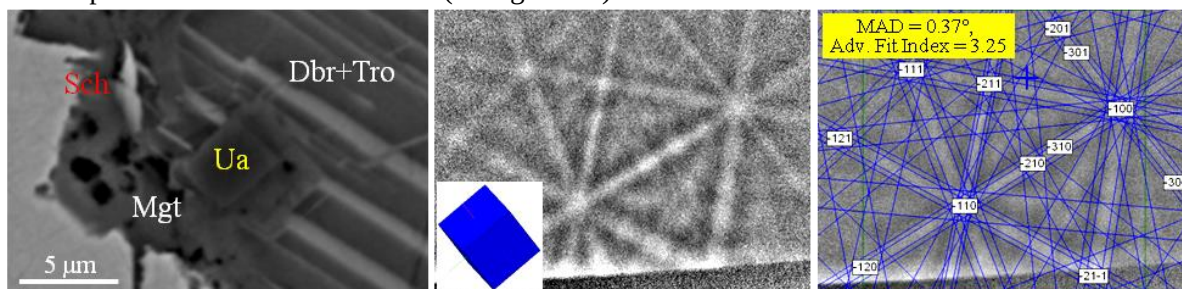


Figure 1. BSE image of a uakitite-containing phosphide-sulfide inclusion in kamacite, the Kikuchi patterns (initial and indexed) and orientation for uakitite grain, Uakit meteorite. Ua – uakitite; Mgt – magnetite; Sch – schreibersite; Dbr+Tro – daubreelite + troilite; MAD – mean angular deviation in comparison with synthetic VN.

The phase CuCrS_2 may be the second new mineral found in the Uakit meteorite. It was observed in small phosphide-sulfide inclusions (up to 50 μm) in kamacite in association with daubreelite, troilite, schreibersite and rare uakitite. Chemical composition is $\text{Cu}_{0.94}\text{Fe}_{0.09}\text{Cr}_{0.97}\text{S}_{2.00}$. It is suggested that in similarity with synthetic phase the Uakit mineral may be trigonal CuCrS_2 ($R3m$ or $R-3m$; $a \approx 3.48 \text{ \AA}$, $c \approx 18.70 \text{ \AA}$) and seems to belong structurally to the caswellsilverite group.

This work was supported by RFBR (grant 17-05-00129) and the Act 211 of the Government of the Russian Federation (agreement N 02.A03.21.0006).

References:

1. Ripp G.S., Sharygin V.V., Izbrodin I.A. et al. (2017): Mineralogy and geochemistry of iron meteorite Uakit (IIAB), Buryatia. 200th Anniversary Meeting of the Russ. Mineral. Soc., Saint-Petersburg, V. 2, pp. 311-313.
2. Sharygin V.V. (2018): Phase CuCrS_2 in iron meteorite Uakit (IIAB), Buryatia, Russia: preliminary data. IX Russian Young Scientists Conference "Minerals: structure, properties, investigation methods", IGG UrB RAS, Ekaterinburg, pp. 215-218.
3. Sharygin V.V., Ripp G.S., Yakovlev G.A. et al. (2018): Uakitite (IMA 2018-003). Mineralogical Magazine. CNMNC Newsletter No.42.
4. Kubel F., Lengauer W., Yvon K. et al. (1988): Structural phase transition at 205 K in stoichiometric vanadium nitride. Physical Review B: Condensed Matter. V. 38. P. 12908-12912.

THE ORIGIN OF MINERAL INCLUSIONS OF “MIXED” PARAGENESIS IN DIAMOND – CONSTRAINTS FROM HIGH-PRESSURE EXPERIMENTS

Shatskiy A.F.^{1 2}, Litasov K.D.^{1 2}

¹ IGM SB RAS, ² NSU, shatskiy@igm.nsc.ru, klitasov@igm.nsc.ru

It was argued that lithospheric diamonds were formed from carbonate-rich melts [1]. The partial reduction of these melts should cause precipitation of silicate solutes simultaneously with diamond. Our experiments in the carbonate-silicate system of kimberlitic composition at 6.5 GPa and 1200-1600 °C suggest that decreasing bulk CO₂, which accompanies reduction, should change the mineral assemblage co-precipitating with diamond in following sequence: coesite eclogite (Coe + Cpx ± Grt) → pyroxenite (Cpx ± Opx + Grt) → lherzolite/wehrlite (Ol ± Opx + Cpx + Grt) (Fig. 1) [2]. This would explain the formation of diamonds from group A eclogite with mineral inclusions of “mixed” paragenesis, where two phase coesite and clinopyroxene (Jd₇Di₈₅En₅Fs₃) inclusions and garnet (Prp₇₄Alm₁₇Gr₉) inclusions are located at the central zone and olivine (Fo₉₃) inclusions are much closer to periphery [3]. In our study clinopyroxene with close composition (Jd₁₀Di₈₃En₃Fs₄) was observed in coexistence with coesite at 1200 °C and bulk CO₂ of 31 wt%, whereas olivine appears at bulk CO₂ of 15–23 wt%.

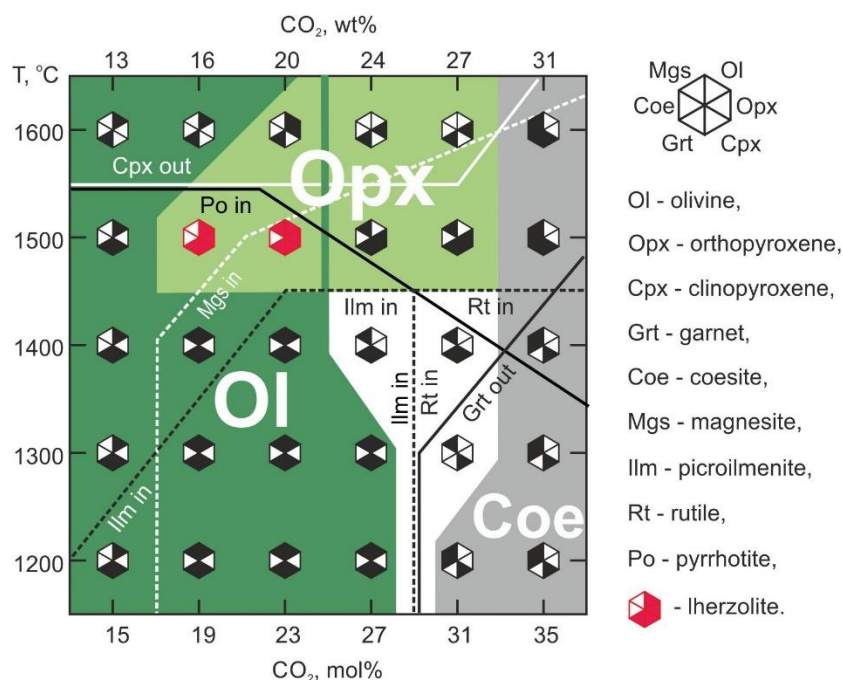


Fig.1 – The temperature-bulk CO₂ plot illustrating mineral assemblages coexisting with melt during partial melting of anhydrous Udachnaya-East kimberlite at 6.5 GPa versus temperature and bulk CO₂ content.

The work was supported by supported by the Russian Science Foundation (project No. 14-17-00609-II).

References:

1. Palyanov, Y.N., Bataleva, Y.V., Sokol, A.G., Borzdov, Y.M., Kupriyanov, I.N., Reutsky, V.N., and Sobolev, N.V. (2013) Mantle–slab interaction and redox mechanism of diamond formation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110, 20408-20413.
2. Shatskiy, A., Litasov, K.D., Sharygin, I.S., and Ohtani, E. (2017) Composition of primary kimberlite melt in a garnet lherzolite mantle source: constraints from melting phase relations in anhydrous Udachnaya-East kimberlite with variable CO₂ content at 6.5 GPa. *Gondwana Research*, 45, 208-227.
3. Shatsky, V., Ragozin, A., Zedgenizov, D., and Mityukhin, S. (2008) Evidence for multistage evolution in a xenolith of diamond-bearing eclogite from the Udachnaya kimberlite pipe. *Lithos*, 105(3-4), 289-300.

TWO TYPES OF PROTOLITHS OF DIAMONDIFEROUS METAMORPHIC ROCKS OF THE KOKCHETAV SUBDUCTION-COLLISION ZONE

Shatsky V.S.^{1,2,3}, Yagouts E.⁴, Kozmenko O.A.¹, Ragozin A.L.^{1,3}, Skuzovatov S.Y.², Sobolev N.V.¹

¹ IGM SB RAS

shatsky@igm.nsc.ru

² Geological and Geophysical Faculty of NSU

³ IG SB RAS

⁴ Max Planck Institute for Chemistry

Ultra-high-pressure rocks (UHP) of the Kokchetav subduction-collision zone are considered as a model object for studying the mobility of elements in subduction zones of the continental type. We do not know the nature of the protoliths of most types of high-pressure metamorphic rocks, which causes difficulty in the interpretation of the data. We can suppose two different types of their protoliths on the basis of isotope-geochemical data. Carbonate rocks, pyroxenites and migmatized gneisses of the western block (9 samples) form the Sm-Nd isochron with a slope corresponding to 1052 ± 44 Ma. This age is close to the age of formation of the granitic gneiss basement (1.2-1.05 billion years) [1, 2]. Therefore, we assume that the protoliths of these rocks were the rocks of the basement. In this interpretation, their geochemical features may not be related to the processes of high-pressure metamorphism. The lack of evidence for the melting of these rocks during ultra-high-pressure metamorphism can be explained by the fact that previously they were metamorphosed under the conditions of the granulite facies metamorphism. At the same time, the depleted high-alumina rocks of the Barchinsky area form the Sm-Nd isochron, whose slope corresponds to 505 ± 75 Ma, which suggests partial melting of these rocks at the exhumation stage. Grt-Phe-Ky shists have distribution of incompatible elements close to PAAS, while granofels (Grt + Ky + Qtz) are depleted in a number of elements, including K and LREE. It was previously assumed that rocks of the sandy slate series of the Sharyk Formation are the protoliths of diamondiferous rocks [3]. However, this contradicts the data on the Sm-Nd system in these rocks [4]. The rocks of the Sharyk Formation are characterized by fluctuations in the $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ from +4.1 to -3.3 and in the model ages from 1.9 to 1.25 billion years, while in the UHP metamorphic rocks $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ varies from -7.6 to -13.2, and the model ages range from 3.7 to 2.3 billion years. These data clearly indicate that the rocks of the Sharyk Formation could not be the protolith of the high-pressure rocks.

References

1. Turkina O. M., Letnikov F. A., Levin A. V. (2011): Mesoproterozoic granitoids of the Kokchetav microcontinent basement // *Doklady Earth Sciences*. V. 436. P. 176-180.
2. Glorie S., Zhimulev F.I., Buslov M.M., et al. (2015): Formation of the Kokchetav subduction-collision zone (northern Kazakhstan): insights from zircon U-Pb and Lu-Hf isotope systematics // *Gondwana Res.* V. 27. P. 424-438
3. Buslov M. M. Dobretsov, N. L., Vovna, G. M., Kiselev, V. I. (2015): Structural location, composition, and geodynamic nature of diamond-bearing metamorphic rocks of the Kokchetav subduction-collision zone of the Central Asian Fold Belt (northern Kazakhstan) // *Russian Geology and Geophysics*. V. 56. P. 64-80.
4. Kovach V., Degtyarev K., Tretyakov A., et al. (2017): Sources and provenance of the Neoproterozoic placer deposits of the Northern Kazakhstan: Implication for continental growth of the western Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Res.* V. 47. P. 28-43.

NEW DATA ON THE STRUCTURE OF POLYCRYSTALLINE AND IMPACT DIAMONDS: DATA BY PHASE TOMOGRAPHY AND 3D-DIFFRACTION

Shiryaev A.A.¹, Ludwig W.², Kaminskiy F.V.³, Zolotov D.A.⁴, Titkov S.V.⁵

¹ IPCE RAS

shiryaev@phyche.ac.ru

² ESRF, Grenoble, France

³ KM Diamonds, Vancouver, Canada

⁴ FSRC «Crystallography and photonics», Moscow

⁵ IGEM RAS

This work represents the results of the study of natural polycrystalline diamonds with different origin using X-ray phase tomography, 3D X-ray diffraction and infrared spectroscopy. Carbonado samples from placers of the CARs, fine-crystalline bort (diamondite) from the Udachnaya tube, samples of yakutite and impact diamonds of the Popigai astrobleme were studied. Tomographic studies were carried out with a spatial resolution of 0.7 microns per pixel.

The major structural differences of impact diamonds and yakutite from other samples were revealed. The porosity is absent in impact samples, only single fissures are observed. At the same time, the porosity of carbonado and kimberlitic polycrystalline diamonds reaches 8-10 vol.%; there were no fundamental differences in the distribution of pores and inclusions between these types of diamonds (Fig. 1).

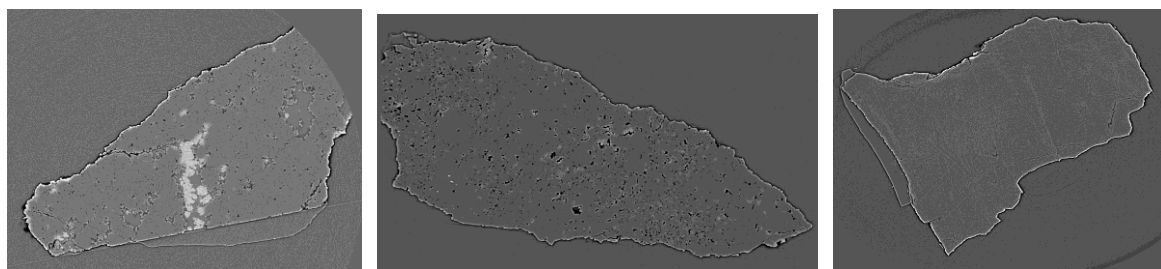


Fig.1 - Results of phase tomography. Left - carbonado from the CAR, center - kimberlite pattern, right - yakutite.

The size of diamond grains in kimberlite polycrystals and in one of the carbonado was too small (less than 2 microns), which made it impossible to analyze their shape and spatial arrangement. This analysis was carried out for two carbonados and allowed to identify the textured carbonado (Fig. 2) for the first time and establish that, at least partially, the texture is associated with deformation processes.

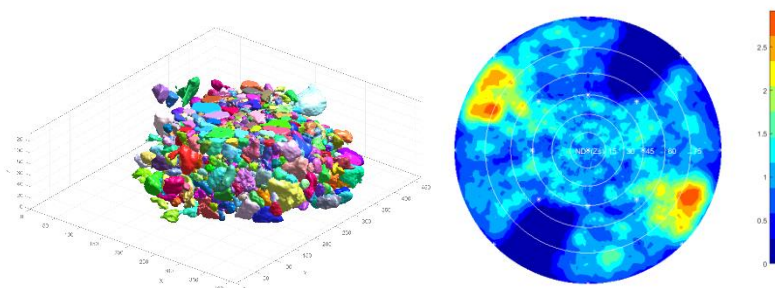


Fig.2 - 3D diffraction. Left - the spatial distribution of grains in carbonado. On the right is the projection of the distribution function of grain orientations on the (001) plane.

PROBABLE PRIMARY SOURCES OF PLACER DIAMONDS OF SOUTH-WEST OF THE BURKINA FASO REPUBLIC, WEST AFRICA

Shmakov I.I.¹, Ivanov A.S.¹,

¹ NIGP "ALROSA" PJSC

ShmakovII@alrosa.ru

IvanovAS@alrosa.ru

The diamond mining areas of Ghana, Cote-d'Ivoire and Mali are well known, while alluvial diamond deposits and their possible primary sources in Burkina Faso have been insufficiently studied.

A large diamond prospecting activity was applied in the 1964-1967 in the south-west of Burkina Faso. It was accompanied by testing the riverbed sediments of the Komoé and Léraba rivers. The first dozens of diamond crystals were obtained at large-volume testing of river alluvium. Interest in them was extinguished as diamond content of these deposits proved to be unprofitable. The primary sources of diamonds in alluvium were supposed to be Proterozoic conglomerates of the Birim formation.

The geological position of the country south-west is determined by the Vendian-Cambrian sedimentary rocks (sandstones and shales), discordantly overlapping the Mesoproterozoic volcanogenic-sedimentary Birim formation. This formation, in turn, lies discordantly on Paleoproterozoic granites and migmatites. This rock complex is broken by Mesozoic dolerite dykes and sills, which form a ring structure. These formations are controlled by the submeridional graben, which intersects the Main craton [2].

The presence of diamonds in alluvium that lies over early Paleozoic sedimentary deposits raised the question about the presence of unknown indigenous kimberlite sources of diamonds. The age of kimberlite bodies was assumed to be post-Cambrian, and most likely Mesozoic [1].

The Canadian company Southern Era Ltd in 1999-2000 initiated prospecting works for the search for indigenous diamond sources on the watersheds of these rivers.

The prospecting works allowed to locate mineralogical anomaly, containing kimberlite chromspinelides and garnets of supposedly eclogite composition (Fig. 1). The weakly worn surface of the grains of the IMK suggests their short transfer. Further, the company ceased these works for economic reasons and left the country.

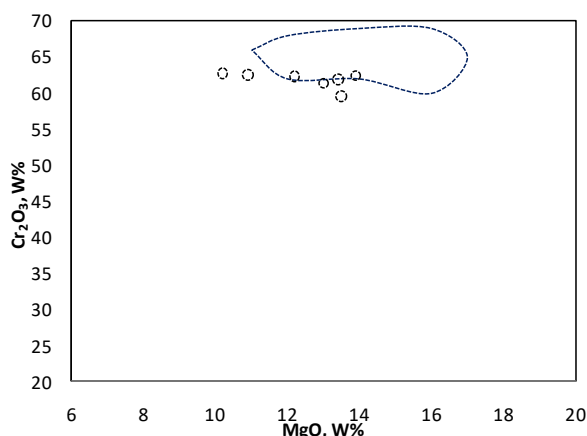


Fig. 1 - Compositions of chromspinel of a site; contour shows compositions from inclusions in diamonds.

The authors are grateful to the Canadian company Southern Era Ltd and personally to Mr James Napier for the provided materials.

References:

1. Knopf D. Kimberlites et le roches apparentees de Cote d'Ivoire. Sodemi–Abidian, 1970. p. 139.
2. Milési, J.P., Feybesse, J.L., Ledru, P., Dommanget, A., Ouédraogo, M.F., Marcoux, E., Prost, A.E., Vinchon, C., Sylvain, J.P., Johan, V., Teguey, M., Calvez, J.Y., Lagny, P., 1989. Les minéralisations aurifères d'Afrique de l'Ouest. Leurs relations avec l'évolution lithostructurale au Protérozoïque inférieur. Chroniques Recherche Minière France, BRGM, vol. 497, pp. 3–98

VARIETY OF IMPACT DIAMONDS AND MECHANISMS OF THEIR FORMATION

Shumilova T.G

IG Komi SC UB RAS
shumilova@geo.komisc.ru

Impact diamonds can form giant deposits of high quality technical material [1]. It is widely accepted that impact diamonds are being formed by solid-phase diffuse-less mechanism of graphite-to-diamond transition under shock pressure of > 30 GPa proved in many studies and described in detail [2]. At the same time not only graphite of metamorphic rocks can be affected by impact processes but sedimentary organic matter containing rocks where the last can be resulted in high pressure phases up to after-coal diamond [3]. By present the only two astroblemes with after-coal diamonds have been found – the giant Kara astrobleme (65 km in diameter) and accompanied Ist`-Kara astrobleme (25 km in diameter). Since the interest to impact diamonds has been raised last time with the novel wide interest from scientists and possible practical use [4, 5] the novel data on impact diamonds and impact objects are very actual. Here we present a comparison of after-graphite and after-coal diamonds and mechanisms of their formation. The detail study of the after-coal diamonds allow to present a novel their systematization following on their structural features co-following by different morphological features and physical properties. The most novel find is a new impact diamond variety presented by after-organics diamond paramorphs [6]. From the complex data on after-coal diamonds it is following that they can be formed by low-distance diffuse mechanism offered to low ordered carbons by Borimchuk et al. [7].

The study has been supported by RFBR (project # 17-05-00516).

References:

1. Masaitis, V.L., Mashchak, M.S., Raikhlin, A.I., Shafranovsky, G.I., Selivanovskaya, T.V. (1998): Diamond-Bearing Impactites of the Popigai Astrobleme. VSEGEI, Saint-Petersburg, 169 p. (in Russian).
2. Kurdyumov, A.V., Britun, V.F., Yarosh, V.V., Danilenko, A.I., Zelyavskii, V.B. (2012) The influence of the shock compression conditions on the graphite transformations into lonsdaleite and diamond // J. Superhard Materials, 34(1), 19–27.
3. Yezerkiy V. A. (1986) High pressure polymorphs produced by the shock transformation of coals // Int. Geol. Rev., 28:2, 221–228. DOI:10.1080/00206818609466264.
4. Goryainov S.V., Likhacheva A.Y., Rashchenko S.V., Shubin A.S. Afanas`ev V.P., Pokhilenko N.P. (2014): Raman identification of lonsdaleite in Popigai impactites // J. Raman Spectrosc. 2014, 45, 305–313.
5. Shumilova, T., Kis, V., Masaitis, V., Isaenko, S., Makeev, B. (2014): Onion-like carbon in impact diamonds from Popigai astrobleme // Eur. J. Min., 26, pp. 267–277.
6. Shumilova T.G., Isaenko S.I., Ulyashev V.V., Kazakov V.A., Makeev B.A. (2018): After-coal diamonds: An enigmatic type of impact diamonds // Eur. J. Min. DOI: 10.1127/ejm/2018/0030-2715.
7. Borimchuk N.I., Zelyavskiy V.B., Kurdyumov A.V., Ostrovskaya N.F., Trefilov V.I., Yarosh V.V. (1991): Mechanism of direct phase transformations of soot and coal to diamond under impact pressing // Dok. Acad. Sci., 321, 1, 95–98 (in Russian).

FIRST DISCOVERY OF KAMAPHORITE COEXISTING WITH DIAMOND-BEARING KIMBERLITE IN THE CATOCA PIPE (NE ANGOLA)

Sklyarov E.V.¹, Koshkarev D.A.^{1,2}, Gladkochub D.P.¹, Lunina O.V.¹, Gladkov A.S.¹,
Joao F.³, Karpenko M.A.³, Pervov V.A.³

¹ Institute of the Earth's Crust skl@crust.irk.ru

² ALROSA, KoshkarevDA@alrosa.ru

³ Catoca Mining Society francisco_joao@catoca.com

The Catoca kimberlite field is located within a 50-90 km wide and >1200 km long system of large faults (Lucapa corridor) [1] and comprises multiple kimberlite pipes and carbonatite bodies (the latter are restricted mainly to the southwestern flank of the corridor) [2]. The presence of calcite in the Catoca kimberlites in the northeastern corridor part has been commonly attributed to their later hydrothermal alteration by deep carbonated fluids [3].

Kamaphorites were found as three dikes, from 0.25 to 0.6 m, along a kimberlite-bearing ENE fault zone within the Catoca quarry. All dikes follow zones of shearing and mylonitization in gneisses, often vary in thickness and have curved contacts adjusted to schistosity. The rocks are composed of a fine aggregate of dolomite, calcite (a small percentage), apatite, smectite, and Mg titanomagnetite, with chaotically distributed pseudomorphs after olivine (serpentine and iron hydroxides), and less often 0.1-0.3 mm Mg ilmenite phenocrysts (Fig. 1). The accessories include baddeleyite, monacite, and wakefieldide-(Ce), a rare REE vanadate.

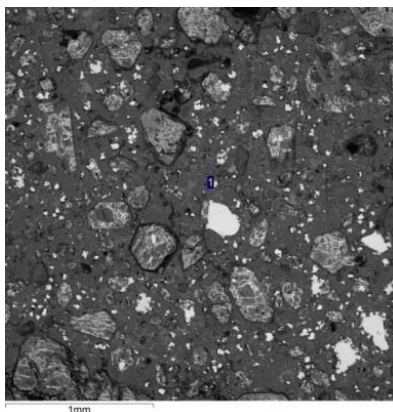


Fig. 1. Kamaphorite: pseudomorphs after olivine and Mg ilmenite in a dolomite-calcite-apatite-titanomagnetite matrix

Therefore, the presence of carbonatite in the tectonic cluster that accommodates kimberlites in northeastern Angola does not rule out economic diamond potential, contrary to the previous views. Thus, a revision is required for the diamond potential of areas with coexisting carbonatite and kimberlite within both the northeastern and southwestern Lucapa corridor.

References:

1. Pervov, V.A., Somov, S.V., Korshunov, A.V., Dulapchiy, E.V., Felix, ZH.T., 2011. The Catoca kimberlite (Angola Republic): A paleovolcanic formation model. *Geologiya Rudnykh Mestorozhdenii* 53 (4), 330-345
2. Woolley, A.R., 2001. Alkaline rocks and carbonatites of the World. Part 3: Africa. Geol. Soc. London Publishing House. 372 pp.
3. Egorov, K.N., Rotman, A.Ya., Zinchuk, N.N., Nosyko, S.F., 2005. Major-element composition of kimberlites in northeastern Angola. *Doklady Earth Sci.* 403 (4), 507-511.

ARCHEAN GEODYNAMICS: CASE STUDIES OF THE FENNOSCANDIAN AND INDIAN SHIELDS

Slabunov A.I.

Institute of Geology, Karelia slabunov@krc.karelia.ru

In spite of considerable recent progress in Precambrian research, geodynamics of the early Earth remains a subject of discussions [1]. Archean complexes and the respective lithospheric zones have a number of specific features: (i) they comprise granite-greenstone belts, granulite-gneiss zones, and Archean cratons with thick lithosphere and mantle roots; (ii) the lithologies include TTG granitic rocks, komatiites, sanukitoids, banded iron formations, while some lithologies are missing (e.g., Archean blueschists have not been found yet); (v) Archean oceanic crust was much thicker than its modern counterpart (25-30 km against 7 km, according to petrological data).

On the other hand, paleomagnetism of Archean rocks provides solid evidence of plate motions, at velocities close to those at present [2 and references therein]. Furthermore, thrust-fold belts, accretionary wedges, as well as igneous and metamorphic complexes indicative of different tectonic settings are known from Archean units, such as the Karelian and Belomor provinces in the Fennoscandian shield [3] and the Bundelkhand craton (India) [4]. Namely, calc-alkaline, boninite, and adakite volcanics along with eclogitic metamorphic complexes provide evidence of subduction processes, while collisional events are recorded in S granites, kyanite-facies metamorphics, and thrusts. Note that eclogitic metamorphic rocks are roughly coeval to subduction volcanics, which is important for paleogeodynamic reconstructions. Archean suprasubduction ophiolites have been found in the Fennoscandian shield [3 and references therein]. Basalt-komatiite complexes, which record plume activity, are widespread in Archean greenstone belts, including those in the Fennoscandian and Indian shields, where they coexist with structures comparable to continental rifts [3, 4 and references therein].

Thus, the Mesoarchean-Neoproterozoic complexes of the Fennoscandian and Indian shields record events of subduction, collision, plume magmatism, continental rifting and seafloor spreading (at least in backarc basins) since 3 Ga ago. They were quite similar to the respective Phanerozoic processes but apparently occurred in the conditions of hotter mantle which can account for the greater thickness of the oceanic lithosphere.

The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project 17-55-45005 IND-a).

References:

1. Moyen, J.-F., Laurent, O., 2018. Archaean tectonic systems: A view from igneous rocks. *Lithos* 302–303, 99–125.
2. Lubnina, N.V., Slabunov, A.I., 2017. The Karelian Craton in the structure of the Kenorland supercontinent in the Neoproterozoic: New paleomagnetic and isotope geochronology data on granulites of the Onega complex. *Moscow Univ. Geology Bull.* 72 (6), 377–390.
3. Slabunov, A.I., Lobach-Zhuchenko, S.B., Bibikova, E.V. et al., 2006. The Archaean nucleus of the Fennoscandian (Baltic) Shield. In *Gee D. G. and Stephenson R. A. (Eds.), European Lithosphere Dynamics: Geol. Soc., London, Memoirs*, 32, pp. 627–644.
4. Singh, V.K., Slabunov, A., 2016. Two types of Archaean supracrustal belts in the Bundelkhand craton, India: geology, geochemistry, age and implication for craton crustal evolution. *J. Geol. Soc. India* 88, 539–548.

TEMPERATURE OF CONVECTIVE MANTLE AND LITHOSPHERE INFERRED FROM OLIVINE-SPINEL GEOTHERMOMETRY OF PRIMITIVE MANTLE-DERIVED MAGMAS

Sobolev A.V.^{1,2}

¹ Université Grenoble Alpes, Institute Science de la Terre (ISTerre), Grenoble, France.
alexander.sobolev@univ-grenoble-alpes.fr

² Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

The compositional and thermal heterogeneity of mantle critically affect magma production and compositions and cannot be easily distinguished from each other. The way to resolve this ambiguity is an independent estimation of temperature and composition of mantle sources of various types of magma.

Here I summarize experimental development of new version of olivine-spinel geothermometer based on partition of Al between olivine and spinel and application of this geothermometer to different primitive lavas of Mid Ocean Ridge Basalts (MORB), Ocean Islands Basalts (OIB), Large Igneous Provinces (LIP), lamproites, kimberlites, komatiites and lavas from Supra-Subduction Zones (SSZ). The new version of olivine-spinel geothermometer differs from published versions [1,2] by taking into account strong dependence of partition coefficient of Al between olivine and spinel from Fe⁺³ and Ti contents in spinel. It does not depend on volatile contents in melt and does not require assumption of source composition.

The results suggest significant variations of crystallization temperature for the same Fo of high magnesium olivines from different types of mantle-derived magmas: from the lowest (down to 1000°C for kimberlites and lamproites) to the highest (up to over 1550°C) for Tortugal picrites (Caribbean LIP) [3]. These results confirm the low temperatures for lithospheric magmas (lamproites), moderate temperature of the mantle sources of MORB and SSZ magmas, high H₂O contents (over 2wt%) of SSZ primary magmas and higher temperatures in the mantle plumes.

The established liquidus temperatures and compositions of primary melts allow estimating potential temperatures of their mantle sources [4]. The lowest temperatures (lower than 1250°C) were found for lithospheric mantle sources of lamproites. The highest potential temperatures over 1600-1700°C are found for the largest LIPs: Caribbean, Siberian, and North Atlantic. The sources of OIBs yield significant range of potential temperatures: 1400-1550°C, positively correlated with magma production rate. Original temperature of proto-kimberlite melt source was likely close to lowest temperature of OIB sources. MORBs yield potential temperature between 1250-1400°C, positively correlated with ridge spreading rate. Potential temperatures of SSZ mantle sources are typically within the range for MORB, suggesting origin of SSZ primary melts by H₂O fluxing of convecting mantle wedge. Exceptions are some boninites, which require higher temperature and plume related sources.

The results generally agree with estimations of mantle temperatures based on Fe-Mg partition between olivine and melt [5], and strongly confirm mantle plume theory and external source of H₂O in SSZ mantle.

This study was funded by the Russian Science Foundation grant number 14-17-00491).

References:

1. Wan Z. H., Coogan L. A. and Canil D. (2008): Experimental calibration of aluminum partitioning between olivine and spinel as a geothermometer // *American Mineralogist* V. 93, P. 1142-1147.
2. Coogan L. A. et al. (2014): Aluminum-in-olivine thermometry of primitive basalts: Evidence of an anomalously hot mantle source for large igneous provinces // *Chemical Geology* V. 368, P.1-10.
3. Trella J. et al. (2017): The hottest lavas of the Phanerozoic and the survival of deep Archaean reservoirs // *Nature Geoscience* V. 10, P. 451-456.
4. Herzberg C. and Asimow P. D. (2015): PRIMELT3 MEGA.XLSM software for primary magma calculation: Peridotite primary magma MgO contents from the liquidus to the solidus // *Geochem. Geophys. V.16*.
5. Herzberg C. and Gazel E. (2009). Petrological evidence for secular cooling in mantle plumes. *Nature* V. 458, P. 619-U683.

NEW LOOK ON INITIATION AND EVOLUTION OF PLATE TECTONICS ON EARTH

Sobolev S.V. ^{1 2}

¹ GFZ German Research Centre for Geosciences, stephan@gfz-potsdam.de

² University of Potsdam, Germany

The Earth is the only planet in Solar System with Plate Tectonics (PT). While PT is definitely among the most important geological processes, an understanding of how PT was initiated and which factors controlled its evolution over Earth's history still remains incomplete and controversial. It is broadly accepted that secular cooling of the Earth is the most important factor. While supporting the idea that Earth's cooling was significant, I'm going to show in this presentation that the rise of continents and the availability of continental sediments are strongly underappreciated but likely even more important factors controlling evolution of PT.

Another broadly accepted idea is that large-scale subduction operated on Earth only since about 2.8-3 Ga and before that most of the deformation and material flow occurred below the lithosphere and tectonic style was either of stagnant-lid or soft-lid type. I'm going to challenge this idea and suggest that special type of extensive and large-scale subduction with retreating slabs was active at least between 3.5 and 3 Ga and later has evolved into global PT.

In addition to mantle convection, the necessary condition for initiation and stable operation of PT is maintaining low strength along plate boundaries, particularly along the subduction zone interfaces. Examples from the South American Andes and other subduction zones show that unconsolidated continental sediments filling the trenches serve as an efficient lubricant for subduction. If these sediments are lacking, friction in the subduction channel and strength of the plate boundary is significantly increased. I suggest that lubrication of subduction by accumulation of sediments at continental edges and in trenches played a crucial role during the evolution of PT on Earth since the mid-Mesoarchean (3Ga). The large erosion events associated with rise of continents and contemporaneous global glaciations produced increased volumes of sediments that facilitated lubrication of subduction interfaces and stabilized or intensified PT. The cyclic behavior of PT on Earth since the mid-Mesoarchean can be interpreted as a balance of power between PT, controlled by secular cooling, and the efficiency of lubrication along subduction interfaces, controlled by accumulation of continental sediments in trenches.

The largest surface erosion and subduction-lubrication events occurred at the end of two periods of major global glaciation, in the Paleoproterozoic (2.3 Ga) and particularly after the 'snowball' Earth epoch in the Neoproterozoic (0.7 Ga). The latter event likely started the modern episode of active and stable PT. The reason of so-called "boring billion" (c. 1.75-0.7 Ga), when PT processes were suppressed, was likely a shortage of continental sediments in the oceans that caused poor lubrication of subduction interfaces and resulted in unstable or sluggish subduction and intermittent PT.

Finally, I propose that period between ca. 3.5 and 2.8-3 Ga was associated with mantle plumes- or impact- induced subduction initiation events. Such events resulted in special type of subduction, i.e. large-scale retreating subduction zones which intensively produced, but not destructed continental crust, in agreement with geochemical data.

COMPOSITION OF VOLATILE COMPONENTS IN YAKUTIAN, URAL DIAMONDS AND ASSOCIATED GARNET

Sobolev N.V., Tomilenko A.A., Bulbak T.A., Logvinova A.M.

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, 630090, Novosibirsk
sobolev@igm.nsc.ru

The first paper published in the new scientific Journal of Siberian Branch of Academy of Sciences by V.S. Sobolev represented his report at one of early annual meetings of Academy [1] suggested on probable significance of hydrocarbons and CO₂ for diamond formation. Diamond inclusion studies established two main types of Earth's mantle environment for diamond formation within subcratonic lithosphere: ultramafic (peridotitic) and eclogitic [2]. Formation conditions of natural diamonds reproduced experimentally most closely as P = 5.7 GPa and T = 1150°C for carbonate fluids [3]. For Yakutian diamonds of any size from micro (< 1 mm) up to large crystals (> 10.8 cts and up to 200 cts) of any quality [4, 5] peridotitic (U-type) dominates for kimberlites (more than 90%) and is considerably lower for northern and Uralian placers (< 30%). This relation is approximately equal for polycrystalline diamond aggregates (PA) typical mostly for Mir and Udachnaya pipes. The majority of E-type diamonds is characterized by the wide range of $\delta^{13}\text{C}$ values from -34‰ to 3‰ PDB [6].

Volatile components in diamonds from Udachnaya and Internatsional'naya kimberlites, Ural placers and from garnet of a diamondiferous eclogite from Udachnaya [7] were analysed by GC-MS using a Focus GC/DSQ II MS (Thermo Scientific, USA). All investigated diamonds and garnet contain hydrocarbons and their derivatives, represented by aliphatic (paraffins, olephines), cyclic (naphtenes, arenes) and oxygenated hydrocarbons, nitrogenated and sulfonated compounds, CO₂, H₂O.

One typical dodecahedral diamond from the Uralian placers was found to contain abundant primary oriented (< 0.1 μm) octahedral fluid inclusions caused a milky color of the whole crystal. Its $\delta^{13}\text{C}$ is -8.5‰ PDB. Molecular nitrogen in solid state, confirmed by Raman spectroscopy (40% rel.) along with H₂O (26% rel.), CO₂ (3% rel.) and hydrocarbons (31% rel.) are identified in this diamond most probably having superdeep origin [8, 9]. Methane is found in negligible amount, less than 0.03% rel. and was completely absent in PA.

This work was supported by RSF grant 14-17-00602II.

References:

1. Sobolev V.S. (1960): Formation conditions of diamond deposits // *Geologiya i Geofizika*. P. 7-22
2. Shirey S.B., Cartigny P., Frost D.J., Keshav S., Nestola F., Nimis P., Pearson D.G., Sobolev N.V., Walter M.J. (2013): Diamonds and the Geology of Mantle Carbon // In: Hazen R.M. et al., eds. *Carbon in Earth. Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. V. 75. P. 355-421
3. Palyanov Y.N., Sokol A.G., Borzdov Y.M., Khokhryakov A.F., Sobolev N.V. (1999): Diamond formation from mantle carbonate fluids // *Nature*. V. 400. № 6743. P. 417-418
4. Sobolev N.V., Logvinova A.M., Zedgenizov D.A., Seryotkin Y.V., Yefimova E.S., Floss C., Taylor L.A. (2004): Mineral inclusions in microdiamonds and macrodiamonds from kimberlites of Yakutia: a comparative study // *Lithos*. V. 77. №1-4. P. 225-242
5. Sobolev N.V., Yefimova E.S., Logvinova A.M., Sukhodolskaya O.V., Solodova Y.P. (2001): Abundance and composition of mineral inclusions in large Yakutian diamonds // *Doklady Akad. Nauk*. V. 376. P. 382-386 (in Russian).
6. Sobolev N.V., Galimov E.M., Ivanovskaya I.N., Yefimova E.S. (1979): Isotopic composition of carbon of diamonds containing crystalline inclusions (in Russian) // *Dokl. Akad. Nauk SSSR*. V. 249. P. 1217-2220
7. Tomilenko A.A., Kovyazin S.V., Pokhilenko L.N., and Sobolev N.V. (2009): Primary hydrocarbon inclusions in garnet of diamondiferous eclogite from the Udachnaya kimberlite pipe, Yakutia // *Dokl. Earth Sci.* V. 426. N 4. P. 533-536.
8. Sobolev N.V., Logvinova A.M., Fedorova E.N., Luk'yanova L.I., Wirth R., Tomilenko A.A., Bul'bak T.A., Reutsky V.N., Efimova E.S. (2015): Mineral and fluid inclusions in a diamond from the Ural placers, Russia. AGU Fall Meeting. San Francisco. USA, P. V11C-3073
9. Navon O., Wirth R., Schmidt C., Jablon B. M., Schreiber A., Emmanuel S. (2017): Solid molecular nitrogen ($\delta\text{-N}_2$) inclusions in Juina diamonds: Exsolution at the base of the transition zone // *EPSL*. V. 464. P. 237-247

C AND N PARTITIONING BETWEEN METAL AND FLUID PHASES AT 6.3-7.8 GPa AND 1200-1400 °C: IMPLICATIONS FOR DEEP CYCLES OF VOLATILES IN REDUCED

Sokol A.G.^{1 2}, Kruk A.N.^{1 2}, Tomilenko A.A.¹, Bulbak T.A.¹, Sokol I.A.¹

¹ V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy

² Faculty of Geology and Geophysics, Novosibirsk State University
sokola@igm.nsc.ru

Most of carbon and nitrogen in the reduced mantle at the oxygen fugacity about the iron-wüstite (IW) equilibrium reside in metallic iron, fluids, and diamond/graphite; K-bearing silicate phases also contain some nitrogen. We studied systematically the solubilities of C and N in the metal and fluid phases stable under the upper mantle conditions.

C- and N-rich metal melts in the Fe–Fe₃C–Fe₃N system have quite a large stability field at 7.8 GPa and 1350 °C, i.e., at the P-T parameters corresponding to precipitation of the metal phase in the asthenosphere. Iron nitride ϵ -Fe₃N can contain up to 2.0-2.5 wt.% C and 6.0-7.3 wt.% N equilibrated with the melt but only 1.0 wt.% C and 3.2 wt.% N in equilibrium with γ -Fe. Nitrogen solubility in cementite (Fe₃C) is within 0.5 wt.%. Thus, the metal melt and austenite (γ -Fe) can be stable in the precipitating metal when all carbon and nitrogen from the mantle depleted in volatiles have been dissolved, while the metal melt and iron carbide (Fe₃C) become stable upon C and N extraction from the mantle enriched in volatiles.

N-poor C-O-H-N fluids at IW-buffered f_{H_2} contain abundant C₁-C₄ alkanes, at trace amounts of all other carbon species, and metaneimine (CH₃N) as the main N host. Light alkanes are likewise main carbon species in N-rich fluids, at the same redox conditions, but most of N occurs as NH₃ and N₂. Thus, the nitrogen cycle must be controlled mostly by CH₃N in reduced fluids in N-poor peridotitic mantle and by NH₃ in N-rich eclogitic mantle. Increase in f_{O_2} to the water maximum (CW) leads to oxidation of light alkanes to water and N-bearing species to N₂. Carbon in HC-rich fluids which rise from the reduced asthenosphere to the relatively oxidized lithosphere decreases from 15 to 5 mol.%, and the elemental carbon released upon HC oxidation can maintain diamond crystallization.

The γ -Fe and metal melt phases are stable in the C- and N-depleted Fe-C-O-H-N system at 6.3 GPa, 1300 °C and IW- or MMO-buffered f_{H_2} , in equilibrium with a fluid consisting of NH₃, H₂O, alkanes, and oxygenated HCs (mainly alcohols and esters). In an C-saturated system, at 6.3 GPa and 1200-1300 °C, iron carbide reacts with an N-rich fluid to form iron nitride: $Fe_3C + N_{Fl} = Fe_3N + C_{Gr,Dm}$, while N-rich melt appears at 1400 °C. The equilibrium fluid compositions vary from high NH₃ to high H₂O contents (in all cases NH₃/N₂>1), with quite high concentrations of alkanes. The N-rich metal melt is stable in equilibrium with a fluid consisting of alkanes, oxygenated HCs (mainly carboxylic acids) and N₂ synthesized in N-depleted but C-saturated conditions at 7.8 GPa, 1400 °C, and unbuffered f_{H_2} . Therefore, the fluid with relatively high C and N enrichment is stable in equilibrium with the metal phase at the upper mantle P-T parameters. Estimates show that $D_C^{Me/Fl} < D_N^{Me/Fl}$, i.e., nitrogen has greater affinity to the metal phase than carbon. In this case, reduced fluids can be efficient carriers of volatiles from the metal-saturated mantle to the oxidized lithosphere. However, the greater iron affinity is expected to provide selective accumulation of N in the metal phase and high C mobility in the fluid phase. These patterns should control deep carbon and nitrogen cycles in the Fe⁰-saturated mantle.

The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project 16-17-10041).

GEOCHEMICAL EVIDENCE (OXYGEN ISOTOPES OF MINERALS AND CARBON ISOTOPES OF DIAMONDS) OF THE PARTICIPATION OF THE SUBDUCTED CRUSTAL ROCKS IN THE COMPOSITION OF THE SCLM OF THE SIBERIAN

Spetsius, Z.V.¹, Taylor L.A. ², Valley J.W.³

¹«ALROSA» PJSC, Mirny, Russia, spetsiuszv@alrosa.ru

²Dept. of Earth and Planetary Sciences, University of Tennessee, Knoxville, USA,

³ Dept of Geoscience, University of Wisconsin, Madison, USA, valley@geology.wisc.edu

The carbon isotope composition of diamonds from kimberlites shows that many diamonds have $\delta^{13}\text{C}$ values that are different from typical mantle signatures [1-3 and references there in]. A reasonable explanation for the observed high and very low values of the carbon isotope composition of diamonds requires involvement of crustal material as one of the possible sources. Numerous data on the oxygen isotopic composition of minerals from eclogites also indicate, that these rocks, especially kyanite, coesite eclogites and other varieties of high-alumina eclogites (group C), and also alcremites, and probably some of pyroxenites are derived from crustal rocks [4]. At the same time, there is a discussed alternative view on the formation of pyroxenites and mantle eclogites, which envisage them as a result of accumulation of the residual magmatic melts.

To establish the composition of the subcontinental lithospheric mantle (SCLM) and to reveal the parental media for the formation of diamonds in different kimberlite fields of the Yakutia province, we used novel data on the oxygen isotope composition of garnets from 250 diamond-containing xenoliths from the Nyurbinskaya, Udachnaya, Komsomolskaya and others pipes, and also published data for individual xenoliths from other pipes. Data on the isotopic compositions of garnet and clinopyroxene from diamond-bearing eclogites were obtained in a standardized laboratory using a unified methodology, which was discussed in detail in [4]. Visually clean non-zoned garnets and clinopyroxenes were selected to study the oxygen isotopic composition.

$\delta^{18}\text{O}$ values of eclogitic clinopyroxenes vary from 2.8 to 6.7 ‰ and lie predominantly within the set for eclogite xenoliths from the Siberian platform (2.8-8.0 ‰ [3]). The majority of the garnet oxygen isotope compositions are also located inside the range of the average mantle values (5.5 ± 0.4 ‰), however, number of samples, predominantly from the eclogites from Nyurbinskaya pipe, are outside of the mantle values [4].

Studies of the carbon isotopy of diamonds were performed with 0.3-0.9 mm thick plane-parallel plates. To clarify the internal structure of the crystals and to choose the profiles of isotopic analysis, cathodoluminescence topography was used. Among the analyzed 18 samples of diamond plates from xenoliths of the Nyurbinskaya pipe more than half showed $\delta^{13}\text{C}$ values different from the mantle signatures [5].

The systematization of the results allows us to state confidently the wide participation of the subducted rocks in the structure of the SCLM of various fields of the Yakutian province and a particularly pronounced contribution of the subducted crustal rocks to the SCLM of marginal fields (Nakynskoye), which not only constitute an essential part of the mantle substrate, but also determine the high diamond content of the parent rocks of this segment of the SCLM of the Siberian platform

References:

1. Cartigny P. (2005): Stable isotopes and the origin of diamond. *Elements*. V. 1 (2). P. 79–84.
2. Jacob D., Jagoutz E., Lowry, D., et al. (1994): Diamondiferous eclogites from Siberia: remnants of Archean oceanic crust. *Geochim. Cosmochim. Acta*. V. 58 (23). P. 5191–5207.
3. Spetsius Z. V., Wiggers de Vries D. F. and Davies G. R. (2009): Combined C isotope and geochemical evidence for a recycled origin for diamondiferous eclogite xenoliths from kimberlites of Yakutia. *Lithos*. V. 112S. P. 1032–1042.
4. Spetsius Z.V., Taylor L.A., Valley J.W et al. (2008): Diamondiferous xenoliths from crustal subduction: garnet oxygen isotopes from the Nyurbinskaya pipe, Yakutia. *Eur. Jour. Mineral.* V. 20. P. 375-385.
5. Spetsius, Z.V., Cliff J., Griffin W.L., O'Reilly S.Y. (2016): Carbon isotopes of eclogite-hosted diamonds from the Nyurbinskaya kimberlite pipe, Yakutia: The metasomatic origin of diamonds. *Chem. Geol.* V. 455. P.131-147

NEW CRITERIA FOR FORECASTING OF KIMBERLITE PIPE DIAMOND POTENTIAL BY THE COMPOSITION OF PYROPES

Starkova T.S.¹, Ivanov A.S.¹

¹ NIGP "ALROSA" PJSC

starkovats@alrosa.ru

ivanovas@alrosa.ru

Relationship between the Ni and Al oxide contents in pyrope and the diamond content of the pipes was determined on the basis of study of compositions of 583 pyrope grains from different Yakutian kimberlite pipes. There is an inverse correlation between the contents of nickel and aluminum oxides in pyrope: Al_2O_3 content decreases on increase of NiO content. It is known [1] that 27-83 ppm of the nickel oxide corresponds to temperatures favorable for the formation of diamonds. These contents are common for pyrope with an average 19.5 wt% Al_2O_3 . The higher the content of such in the pipe, the higher the diamond content (Fig. 1). Compositions of pyrope from the diamond-rich bodies of the Nakynskoe field fall in the area of interest (red points).

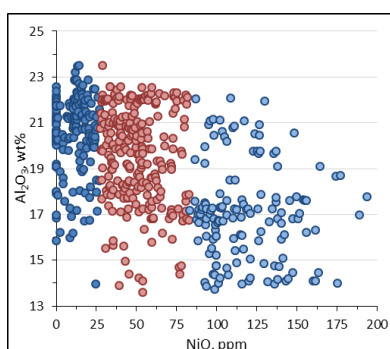


Fig.1 - Nickel and aluminum oxide ratios in pyrope (red dots - pyropes from diamond-rich bodies)

Test of this criterion on example of the Luele pipe (Angola) showed that the highest contents of pyrope with such composition (NiO 27-83 ppm, Al_2O_3 16-23 wt%) is common for more diamond-rich blocks (Fig. 2). Thus, the use of this criterion is most acceptable estimation of the diamond content in different blocks within a single pipe.

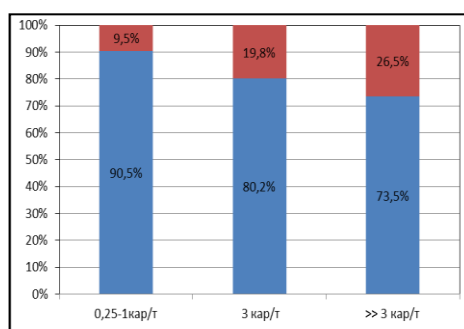


Fig.2 - The pyrope content (highlighted in red) with a NiO content of 27-83 ppm in blocks of different diamond content of the Luele pipe (Angola)

References:

1. Griffin W.L., Ryan C.G. Trace elements in indicator minerals: Area selection and target evaluation in diamond exploration. J. Geochem. Explor., 1995. Vol. 53., pp, 311

DEEP FACIES OF MELTING IN THE EARTH'S UPPER MANTLE

Surkov N.V.

VS Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS
diagrams@igm.nsc.ru

The upper mantle of the Earth has an ultrabasic composition; therefore the role of the ultrabasic melt evolution is of particular importance for the construction of a model of deep magmatism. The CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂ system was selected as this model. The analysis of the phase diagram of this system shows that the deep ultrabasic composition, which is a reflection of the fundamental eutectic reaction $L = Fo + Cpx + Opx + Ga$ changes the character of melting to peritectic with the separation of Mg-bearing phases such as olivine, orthopyroxene and spinel at less than 2.6 GPa to 1.5-1.6 GPa. Its composition becomes closer to plagioclase-normative and at pressures below 1.5 GPa the composition of the residual melt falls into the region of the "alkaline-earth trend" [1, 2]. The system begins melting eutectically, and compositional evolution of the melt with a further pressure decrease corresponds to the trend of the alkaline-earth series, where crystallization of plagioclases is of particular importance.

In the model CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂ system, melts always contain an alkaline, sodium component, and plagioclases in rocks are always represented by a continuous series of anorthite-albite solid solutions. Therefore, the process of the plagioclase crystallization affects composition of the residual melt. Calcium component is removed from the melt during the precipitation of plagioclase crystallites and composition of the residual melt is shifted toward siliceous, sodium rich compositions that are similar to granites. It should be noted that the process of crystallization differentiation favor appearance of residual melt characteristic for granites only under non-equilibrium conditions such as compulsory removal of plagioclase crystallites from the region of crystallization of the eutectic melt. In a closed system, when the thermodynamic equilibrium is reached, the uniform distribution of components will result in the final crystallization of gabbro-type rocks.

During the evolution of the ultrabasic magmatic melt, four melting facies were determined: three eutectic type and one peritectic. Each of these facies spans within approximately 1.0 GPa. At pressures below 1.5 GPa evolution of the magmatic melt composition is complicated by the crystallization of the plagioclase solid solutions in two facies with a eutectic type of melting, which favors compositional evolution of the residual melt to the quartz-normative compositions similar to granitic melts.

This work was supported by the RF state assignment project No. 0330-2016-0016.

References

1. Surkov N. V., Gartvich Y. G. (2012) Modeling of deep-seated high-alumina parageneses on the basis of the stability fields of corundum-and spinel-normative assemblages of the system CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂ //Russian Geology and Geophysics. V. 53. P. 51-61.
2. Surkov N. V., Gartvich Y. G. (2012) Physicochemical model for the crystallization of rocks of the calc-alkaline series //Geochemistry International. V. 50. P. 799-815.

PROSPECTS FOR FORECASTING NEW DIAMONDIFEROUS REGIONS

Tolstov A.V., Gorev N.I., Protsenko E.V., Maltsev M.V.

ALROSA Company
tolstovav@alrosa.ru

A colossal geological exploration, which ensured the creation of a resource base for decades, has been accomplished after the discovery of diamond deposits in Yakutia. All discovered areas within the Daldyno-Olenekskaya and Vilyuisko-Markhinskaya mineragenic zones (DOMZ and VMMZ), containing the Mir, Udachnaya, and Aikhal diamond deposits have been studied satisfactorily. Therefore, the discovery of new diamond-bearing areas in this part of Yakutia is unlikely. The presence of direct signs of kimberlites beneath the Mesozoic-Cenozoic strata indicates that the diamond-bearing potential of the territory has not been exhausted. This was confirmed by the discovery of a new Ygyatta diamondiferous region within the VMMZ in 2015 [1]. This discovery makes most important the covered areas of VMMZ, which are of interest for the geological exploration by ALROSA Company. But the forecasting of new deposits is associated with a number of principal scientific and methodological problems.

The science-based choice of areas for geological exploration is the first problem and involves the development of reliable forecasting background and search features on which reliable forecasting criteria can be developed. This work requires studying the regularities of kimberlite localization in diamond-bearing areas, their confinement to kimberlite control structures in combination with mineralogical features on the basis of which it is possible to develop reliable criteria for their prediction. The forecasting of new promising areas is very important because of the depletion of the diamond raw material resources in Yakutia. Such study should include forecasting both in new territories and within known areas. The search method is based on testing basal horizons of overlapping sediments with localization of halos of indicator minerals of kimberlites (IMK). Their small amounts in overlapping uninformative sediments require the a large volume of core material, which is very expensive and requires introduction of new geological exploration technologies with the enhancement of the intellectual component of the geological staff of the ALROSA GRE Company.

Improving of the methodology of geological exploration in forecasting of diamond-bearing areas in new territories located in complex geological settings is the main problem. The solution of this problem is to increase the linkage of existing methods to the science. Innovative developments should be implemented both at the regional stage, starting with the remote study of new territories (use of high-resolution space images and high-precision geophysics), and at the second stage, within the prospective diamond-bearing areas. At the same time, it is necessary to envisage the introduction of new geochemical methods (gas chromatography) and IT-technologies for processing materials. The next stage is the allocation of objects of the "kimberlite field"-type with the verification of complex anomalies, the improvement of analytical methods, including the introduction of intra-geoscopy of space between wells.

Prospects for regional geological exploration with the allocation of new diamondiferous areas are attributed to the Charo-Sina zone of deep faults (north of the Aldan anteklise), and diamondiferous areas recommended for prospecting, the Murbai and Yuleginskaya areas (the southern and northeastern flanks of the VMMZ), where concentration of the geoprospecting works with guaranteed positive result is proposed in the coming years [2].

References:

1. Maltsev M.V., Tolstov A.V. Criteria and problems of forecasting and prospecting for diamond deposits in new areas // *Geology and Mineral Resources of the Northeast of Russia: Proceedings of VIII VNPK*, April 18-20, 2018, Yakutsk, Izd. P.I. Melnikov SB RAS, 2018, - V.1, P. 210-213.
2. Tolstov A.V., Gorev N.I., Protsenko E.V. New perspectives of the radical diamondiferous character of the Charo-Sina zone of deep faults (South Yakutia) // *Scientific and methodical foundations of forecasting, prospecting, evaluation of diamond deposits, precious and non-ferrous metals. VIII International Scientific and Practical Conference. M. FGUP TsNIGRI*, 2018, P. 21.

COMPOSITION OF VOLATILES FROM CVD DIAMONDS

A.A. Tomilenko, V.M. Sonin, T.A. Bulbak, A.A. Chepurov

IGM SB RAS, e-mail: tomilen@igm.nsc.ru

Over the last thirty years, CVD (chemical vapor deposition) methods of diamond growth using thermal dissociation in plasma of molecular hydrogen and gaseous source of carbon (usually methane) at temperatures above 2000°C have been intensively developed [1-5]. The "standard model" for the growth of CVD diamonds is based on the diagnosis in the plasma of the molecules CH₄, C₂H₂, C₂H₆ and -CH₃ radicals [4, 5]. It is assumed that the actual composition of the gas mixture can be more complicated [1, 2, 4, 5]. This study presents results of gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) determination of composition of gas captured by CVD diamonds during its growth [6]. Samples of polycrystalline and single-crystal CVD diamonds PC L 0100-0100-0500PL produced by Elements Six a De Beers Group Company were studied.

GC-MS results showed that the volatile components captured by polycrystalline and single crystal CVD diamonds consist mainly of hydrocarbons and their derivatives - 72.2 and 82.1%, respectively. From inorganic gases there are H₂O (22.6 and 0.9%, respectively) and CO₂ (0.4 and 9.3%, respectively). Amounts of aliphatic hydrocarbons in polycrystalline and single-crystal CVD diamonds is 19.7 and 12.6%, respectively. The gas phase of both diamonds does not contain "light" saturated hydrocarbons - methane, ethane, propane and butane. Only "medium" and "heavy" saturated hydrocarbons were detected (C₅-C₁₂ - 3.8 and 3.9% and C₁₃-C₁₇ - 9.5 and 1.9%, respectively). Cyclic hydrocarbons: naphthenes and arenas (4.0 and 5.4%, respectively) were also found. An essential volume of volatiles is composed of oxygen-bearing hydrocarbons: alcohols, aldehydes, ketones and carboxylic acids were detected in the gas phase of both diamonds (47.7 and 63.7%, respectively). Nitrogen (0.1%) and nitrogen-bearing compounds (4.2 and 6.0%, respectively) were also found. Moreover, molecular nitrogen was defined only in polycrystalline diamonds.

Thus, based on the data obtained, the real gas environment from which the investigated CVD diamonds grew was more complex than the "standard model". Nitrogen in the gas mixture was present mainly in nitrogen-bearing hydrocarbons. That is a possible reason why the studied CVD diamonds belong to the type II.

This work was supported by Russian Foundation for Basic Research, project No 18-05-00761 and Russian Science Foundation, project No 17-17-01154

References

1. Spear, K.L., Frenklach, M. High temperature chemistry of CVD (chemical vapor deposition) diamond growth // Pure Appl. Chem. 1994. 66. (9). P. 1773-1782.
2. Tyagi, P.K., Misra, A., Unni, K.N.N., et al. Step growth in single crystal diamond grown by microwave plasma chemical vapor deposition // Diam. Relat. Mater. 2006. 15. P. 304-308.
3. Tallaire, A., Collins, A.T., Charles, D., et al. Characterisation of high-quality thick single-crystal diamond grown by CVD with a low nitrogen addition // Diam. Relat. Mater. 2006. 15. P. 1700-1707.
4. Butler, J.E., Mankelevich, Y.A., Cheesman, A., et al. Understanding the chemical vapor deposits of diamond: recent progress // J. Phys.: Condens. Matter. 2009. 21. P. 364201.
5. Tallaire, A., Achard, J., Silva, F., et al. Growth of large size diamond single crystals by plasma assisted chemical vapour deposition: Recent achievements and remaining challenges // C. R. Physique. 2013. 14. P. 169-184.
6. Tomilenko, A.A., Chepurov, A.I., Sonin, V.M., et al. The synthesis of methane and heavier hydrocarbons in the system graphite-iron-serpentine at 2 and 4 GPa and 1200°C // High Temperatures – High Pressures. 2015. 44 (6). P. 467-473.

COMPOSITION OF VOLATILES IN IMPACT DIAMONDS FROM THE POPIGAI IMPACT CRATER, RUSSIA

Tomilenko A.A., Bulbak T.A., Afanasiev V.P., Pokhilenko N.P.

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy
tomilen@igm.nsc.ru

Impact diamonds from tagamites (rocks remolten by the impact) were sampled at the Skalnog deposit in the southwestern flank of the Popigai impact crater [1]. The Popigai diamonds are tightly grown aggregates of cubic (diamond properly), hexagonal (lonsdaleite), and residual graphite phases [2]. The relative percentages of the phases control color variations in diamonds: mostly cubic light-color varieties, a mixture of three phases with a predominant cubic phase in gray diamonds, and abundant graphite in dark varieties.

According to gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) [3-5], volatiles entrapped in the impact diamonds consist mainly of hydrocarbons (HCs) and their derivatives: 76.7 % in light-color, 60.9 % in gray, and 71.7 % in dark diamonds. The contents of aliphatic HCs in the three color groups are, respectively, 41.4, 16.4 and 19.5 %. Light alkanes are restricted to 0.04 to 0.13 % butane, while the contents of medium (C_5 - C_{12}) and heavy (C_{13} - C_{17}) alkanes are from 4.2 to 33.3 %: 6.2, 4.2 and 5.2 % and 33.3, 8.6 and 10.9 % in the three groups, respectively. Other HC species are: arenes (5.6, 5.0 and 9.1 %) and furanes (1.9, 1.4 and 4.4 %), in the three groups, respectively; oxygenated hydrocarbons (alcohols, aldehydes, ketones, and carboxylic acids), as well as sulfur-bearing compounds entrapped in light, gray, and dark diamond varieties: 27.8, 38.2 and 38.7 % (O-bearing species) and 4.6, 15.3 and 11.1 % (S-bearing species), respectively. The nitrogen species are N_2 (0.6 to 1.6 %) and N-bearing compounds (0.5 to 1.5 %), especially in the light-color varieties (3.1 %). The H_2O contents in the three color groups are 9.1, 11.1 and 5.3 %; the respective amounts of CO_2 are 6.5, 11.5 and 10.4 %, respectively.

The obtained results suggest involvement of fluids rich in HC species and their derivatives during crystallization of the impact diamonds. The fluids most likely came from target rocks that underwent shock metamorphism at high temperatures and pressures.

The study was supported by the Russian Science Foundation (Project 17-17-01154) and the Russian Foundation for Basic Research (Project 18-05-00761).

References:

1. Vishnevsky, S.A., 2016. The Popigai Impact Crater. GEO, Novosibirsk, 71 pp. (in Russian)
2. Ohfuji, H., Irifune, T., Litasov, K.D., Yamashita, T., Isobe, F., Afanasiev, V.P., Pokhilenko, N.P., 2015. Natural occurrence of pure nano-polycrystalline diamond from impact crater. *Scientific Reports* 5 (1, October), Article number 14702
3. Tomilenko, A.A., Chepurov, A.I., Sonin, V.M., et al., 2015. The synthesis of methane and heavier hydrocarbons in the system graphite-iron-serpentine at 2 and 4 GPa and 1200°C. *High Temperatures – High Pressures* 44 (6), 467-473.
4. Tomilenko, A.A., Bul'bak, T.A., Khomenko, M.O., et al., 2016. The composition of volatile components in olivines from Yakutian kimberlites of various ages: Evidence from gas chromatography-mass spectrometry. *Doklady Earth Sci.* 468 (2), 626-631.
5. Sokol, A.G., Tomilenko, A.A., Bul'bak, T.A., et al., 2017. Carbon and nitrogen speciation in N-poor C-O-H-N fluids at 6.3 GPa and 1100–1400 °C. *Scientific Reports* 7, 706. DOI:10.1038/s41598-017-00679-7

LARGE-SCALE CARBON TRANSFER BETWEEN CRUST AND MANTLE DURING SUPERCONTINENT AMALGAMATION AND DISRUPTION

Touret J.L.R.¹, Huizenga J.M.²

¹ Institut de Minéralogie, Physique des Matériaux, Cosmochimie, Sorbonne Universités, 4 Place Jussieu, F-75005 Paris, France

ljitouret@orange.fr

² EGRU, James Cook University, Townsville, Australia

jan.huizenga@jcu.edu.au

Early Cambrian (Pan-African orogeny, ca. 600 Ma) amalgamation of the Gondwana supercontinent through linear hot orogenic belts occurred in Africa and Southern India. These orogenic belts are characterized by ultrahigh temperature (UHT, >1000°C) metamorphic events, which have played a fundamental role in the development and stabilisation of the continents. Granulite and UHT-metamorphism are linked to major episodes of supercontinent amalgamation at least since the late Archean, traces of which having been found in virtually all known supercontinents so far [1]. Depending on the geodynamic setting (continent collision or basin-inversion after lithospheric thinning), the duration of these UHT-episodes is variable, from less than 15 Ma in the recent granulites from Hokkaido (Japan) or Seram (Indonesia) to more than 100 Ma in the long-lived and slowly-cooled Napier complex (Antarctica) [2]. But whatever their age or geodynamic settings, minerals of all UHT-granulites worldwide contain a great quantity of primary fluid inclusions, containing dense or superdense (> 1.1 g/cm³) mantle-derived CO₂. It shows that, during UHT events, large quantities of mantle-derived CO₂ were injected into the continental lower crust [3]. The occurrence of these syn-metamorphic CO₂ fluids is so systematic in UHT granulites, that it can be assumed that they played a critical role in the genesis of the extremely high temperatures reached during this metamorphism. In addition to CO₂ another fluid is present, namely high-salinity aqueous brines, the source of which can be the sedimentary protolith, the mantle, or both [4]. Both fluids were immiscible at peak metamorphic conditions, but they became miscible and mutually reactive at decreasing pressure and temperature.

The amalgamation of the Gondwana supercontinent lasted for more than 400 Ma, starting about 1000 Ma ago in the Trivandrum bloc, India and ending in Eocambrian times (ca. 600 Ma) during the Pan-African orogeny, which affected Africa, Madagascar, Sri-Lanka and Southern India. At this time, the large fluid influx in the lower crust caused instability, leading to breakup and disruption of the supercontinent immediately after its final amalgamation [4]. Elimination of the UHT-granulite fluids occurred rapidly during post-metamorphic uplift, with important consequences for both at local and regional scales. Local scale (10 to 100's m.) effects are due to the intergranular migration of brines, resulting in the formation of granulite mineral assemblages at the periphery of the main granulite complex (incipient charnockites, granulite "islands"). Less mobile CO₂ fluids can only migrate through crustal-scale (10 to 100 km) shear zones, probably caused by major earthquakes. CO₂ fluids can either be reduced, resulting in graphite veins [5], or oxidized, resulting in the quartz-carbonate shear zones found in the vicinity of many granulite terranes [6].

References:

1. Brown, M. (2007) Metamorphic conditions in orogenic belts: a record of secular change. *Int. Geol. Rev.* V. 49, P. 193-234.
2. Harley, S. (2016) A matter of time: The importance of the duration of UHT metamorphism. *J. Mineral. Petrol. Sci.* V. 111, P. 50-72.
3. Santosh H.M., Omori, S. (2008): CO₂ flushing: A plate tectonic perspective. *Gondwana Res.* V. 13. P. 86-102.
4. Touret J.L.R., Santosh, H.M., Huizenga, J.M. (2016). High-temperature granulites and supercontinents. *Geosci. Front.* V. 7. P. 101-113.
5. Touret, J.L.R., Huizenga, J.M., Kehelpannala, W., Piccoli, F. (2018) Vein-type graphite deposits in Sri-Lanka, the ultimate fate of granulite fluids. *Chem. Geol.*, in press (ECROFI 2017 issue).
6. Newton, R.C., Manning, C.E. (2002) Experimental determination of calcite solubility in H₂O-NaCl solutions at deep crust/upper mantle pressures and temperatures: Implication for metasomatic processes in shear zones. *Am. Min.* V. 87, P. 1401-1409.

SURFACE AND INTERNAL MINERAL PHASES IN DIAMONDS OF V-VII VARIETY (CHOLOMOOL DEPOSIT)

Ugap'eva S.S.¹, Oleinikov O.B.²

¹ DPMGI SB RAS,
sargylana-ugapeva@yandex.ru

² DPMGI SB RAS,
olei-oleg@yandex.ru

The results of studying mineral phases in V-VII diamonds by electron microscopy, microprobe analysis, and Raman spectroscopy are presented. The study of mineral phases on the diamond surface, in cleavage cavities, in internal cracks and dissolution caverns, as well as those that included in diamond is necessary for determining the postgenetic endogenous history of such crystals [1]. Diamonds of the V-VII variety are characterized by a block structure, which complicates cutting and polishing. Silicate phases, not diagnosed as minerals, were found on the diamond surface in the form of thin plates and outgrowths. Feldspar grains often fill the pits of dissolution. Grains of picroilmenite, calcium sulfate, calcite and zircon were found in the internal cavities and cracks located on the boundaries of blocks, opened during the breakdown of crystals. Picroilmenite grains have a lamellar structure with uneven edges, adhere closely to the wall of cracks. The size of large precipitates does not exceed 50 microns. The spaces within cracks are often filled with calcium sulphate with a granular structure. Prismatic zircon $20 \times 50 \mu\text{m}$ was found in the internal crack. The surface of the grain is uneven, impurities are not established. Sulfide inclusions (chalcopyrite) were identified by the Raman spectroscopy on the diamond edges *in situ* (Fig. 1). Sulfides are represented by distorted octahedral crystals. The sizes of crystals do not exceed 30 microns.

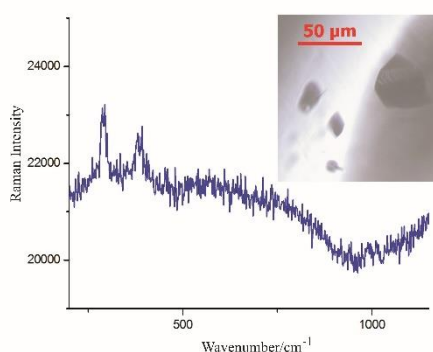


Fig. 1. Raman spectrum of sulfide inclusions.

A detailed study of the detected silicate phases on the surface of the crystal, primary minerals (picroilmenite, zircon) in the internal cavities, and sulfide inclusions will help to determine the genetic nature of the transporter of types V-VII diamonds.

This work was supported by the project 'Strategically important types of mineral resources and features of the geological structure of investment-attractive territories of the Sakha Republic (Yakutia): metallogeny, tectonics, magmatism, geoecology, improvement of search and forecast technologies' of Program of complex scientific research in the Republic of Sakha (Yakutia) aimed at the development of its productive forces and social sphere during 2016-2020

References

1. Oleinikov OB, Pavlushin AD, Popov A.V. Postgenetic minerals and microglasses of diamond V of variety from the alluvial deposit of Holmoloch and their genesis // *Otechestvennaya geologiya*. 2007. № 5. Pp. 77-83

AGE, MINERALIZATION AND GENESIS OF THE SUPER RARE METAL ALKALINE CARBONATITE TOMTOR MASSIF (ARCTIC)

Vladykin N.V.

IGC SB RAS
vlad@igc.irk.ru

The Tomtor alkaline-carbonatite massif (250 km²) is the largest one in the world. It is located in the East Priamurie at the Udzha uplift and together with the Bogdo massif and two unexposed massifs forms the Udzha province of alkaline rocks. Previously determined ages of the massif ranged from 800 to 200 Ma. The obtained U-Pb zircon and Ar/Ar mica ages suggest two stages of formation of the Tomtor massif: 700 Ma for intrusive rocks and carbonatites and 400 Ma for volcanic rocks and ores. We have developed a new scheme of magmatism for the Tomtor massif.

Intrusive series. The earliest rocks of the massif are olivine-pyroxene rocks, pyroxenites and Bt-pyroxenites which occur as xenoliths in the drill holes. The next magma batch was of melilite-ijolite composition, which also had lode analogs. This was followed by intrusion of nepheline and alkaline syenites of the miaskite composition, occupying 70% of the massif area, in which K-alkaline syenites significantly prevail over Na-nepheline syenites. The carbonatite constituent was separated both from melilite-ijolite and syenite magma. Calcite, calcite-dolomite, dolomite and ankerite varieties are distinguished. Apatite-magnetite and apatite-micaceous rocks are probably nelsonites and are associated with carbonatite rocks.

Volcanic series is represented by effusive flows, sills and lode rocks, diatreme breccias and ore-bearing tuffs. The earliest volcanic rocks, sills and dykes of the picrite-lamproite series intersect the early carbonatites and are cut by later carbonatites, separated most likely from lamproite magma. Drill core shows that this unit is at least 300 m thick. The volcanic activity is terminated by diatreme kimberlite-like breccias and eruptions of lamproites and explosive rocks such as ore-bearing carbonate-phosphate tuffs (Fe, P, CO₂, Nb, TR) that are preserved in the subsidence caldera in the central part of the massif. Explosive ore-bearing rocks crystallized from aqueous and gas products which were oversaturated in rare elements, P and Fe and carried away into the atmosphere together with tuff material and deposited on the surface as horizontal banded volcanic-sedimentary rocks. Ore minerals crystallized rather quickly. This conclusion is supported by cryptocrystalline nature of phosphate-rare earth monazite-like minerals and earthy consistency of pyrochlores, which overgrew the crystalline seeds formed prior to the eruption. Most of the crystalline minerals are less than 0.01 mm in size. Siderite carbonatites with crystalline pyrochlore occur locally in these volcanogenic rocks. The ores of the Tomtor massif are complex and contain Nb up to 20%, TR up to 14%, Y up to 1.5%, Sc up to 0.1%, Zn up to 5%, V up to 0.8%, Ba up to 4%, Sr up to 7.5%, Ti up to 8%, and Be up to 0.03%. The TR spectra for carbonatites and ores are similar and differ only in total contents.

The two-stage volcano-plutonic activity is associated with the cyclic activity of deep-seated plume penetrating the weakest rift zone of the Udzha uplift. The isotope data by B.G. Pokrovsky (Sr, O and C) and our data on Sr-Nd isotopes suggest the endogenous origin of all rocks and ores of the massif and discard the models of sedimentary redeposition and zones of secondary enrichment describing formation of the ore complex. At the same time these data are consistent with the volcanogenic explosive-tuffaceous nature of ore complex.

The work was carried with the support from the Russian Foundation for Basic Research (project No. 18-05-70003)

POLYMINERAL INCLUSIONS IN Cr-Al-SPINEL FROM THE OBNAZHENAYA KIMBERLITE PIPE XENOLITH (YAKUTIAN KIMBERLITE PROVINCE)

Vorobei S.S., Bovkun A.V., Garanin V.K.

Lomonosov MSU

Patesonchic77@mail.ru, bovkun2004@mail.ru, vgaranin@mail.ru

Rare inclusions of magnetoplumbite group (matiasite, yimengite and its Al-analog) inside chromalumospinel were found in the deep-seated xenolith of metasomatically altered garnet lherzolite from the Obnazhenaya kimberlite pipe (sample O-125). Along with these inclusions, chromalumospinel grains contain calcite, serpentine, phlogopite, dolomite, and rutile.

Yimengite was first discovered in kimberlite dikes in Shandong Province, China [1] in association with olivine, pyrope, magnesian chromite, phlogopite, ilmenite, chrome-diopside, apatite, zircon, and moissanite. Yimengite was also found in the altered magnesian chromite in the kimberlitic sills of the Guaniamo District (Venezuela) [2]. The yimengite inclusions occurred in diamonds in association with the typomorphic minerals of the harzburgite assemblage: chromite, subcalcium chromous garnet and enstatite [3, 4].

The major oxide composition of chromalumospinel from the Obnazhenaya non-diamondiferous pipe is as follows (35.68-35.79 wt.% Cr₂O₃, 31.93-32.53 wt.% Al₂O₃, 16.1-16.39 wt.% MgO, 0.36- 1.33 wt.% TiO₂) whereas the yimengite composition differs from the previously recorded occurrences by substantially higher Al₂O₃ content (20.23-20.9 wt.%) and reduced content of Cr₂O₃ (30.2-30.5 wt.%). Thus, yimengite from China's kimberlite dikes contains 1.30-1.61 wt.% Al₂O₃ and 36.94-37.06 wt.% Cr₂O₃ [1], while yimengite from Venezuela kimberlitic sills contains 3.61 -3.95 wt.% Al₂O₃ and 39.08-39.37 wt.% Cr₂O₃ [2]. According to the crystallochemical calculations by the oxygen method, matiasite composition from inclusions in chromalumospinel corresponds to the formula (K_{0.68}Ca_{0.24}Ba_{0.08}Sr_{0.06})(Ti_{14.01}Cr_{2.60}Mg_{1.88}Fe_{1.64}Al_{0.82}Mn_{0.05})O₃₈. Phlogopite contains impurities of TiO₂ (1.34 wt.%) and Cr₂O₃ (1.45 wt.%). The rutile composition is TiO₂ (99.44 wt.%), Cr₂O₃ (0.24 wt.%), FeO (0.21 wt.%).

The formation of matiasite and yimengite with a high Al and Cr contents is presumably associated with a metasomatic alteration of rocks under the mantle conditions. The studies of identified K-Al-Ti-Cr-bearing phase were performed using Raman spectroscopy technique which confirmed its relation to the magnetoplumbite group minerals.

The formation of rare yimengite and matiasite inclusions is associated with metasomatic alteration of aluminochromite under mantle conditions influenced by the Ti- and K-rich fluids.

References

1. Dong Z., Zhou J., Lu Q., Peng Z. Yimengite, K(Cr,Ti,Fe,Mg)₁₂O₁₉, a new mineral from China // KexueTongbao, Bull. Sci. 1983.№15. 932– 936 (in Chinese).
2. Nixon, P.H., Condcliffe, E., 1989. Yimengite of K–Ti metasomatic origin in kimberlitic rocks from Venezuela. Min. Mag. 53, 305– 309.
3. Bulanova G.P, Muchemwa, D.G. Pearson, B.J. Griffin, S.P. Kelley, S. Klemme, C.B. Smith, syngenetic inclusion of yimengite in diamond from Sese kimberlite (Zimbabwe)- evidence for metasomatic conditions of growth, Lithos 77 (2004), 181-192.
4. Sobolev, N.V., Yefimova, E.S., Kaminsky, F.V., Lavrentiev, Y.G., Usova, L.V., 1988. Titanate of complex composition and phlogopite in the diamond stability field. In: Sobolev, N.V. (Ed.), Composition and Processes of Deep Seated Zones of Continental Lithosphere. Nauka, Novosibirsk, pp. 185–186.

FORMER BRIDGMANITE INCLUSIONS IN SUPERDEEP DIAMONDS

Zedgenizov D.A.^{1,2}, Kagi H.³, Ohtani E.⁴, Tsujimori T.⁴, Komatsu K.³

¹ IGM SB RAS

² Novosibirsk State University

zed@igm.nsc.ru

³ The Tokyo University (Japan)

⁴ Tohoku University (Japan)

Bridgmanite (Mg,Fe)SiO₃, a high pressure silicate with a perovskite structure, is dominant material in the lower mantle at the depths from 660 to 2700 km and therefore is probably the most abundant mineral in the Earth. Although synthetic analogues of this mineral have been well studied, no naturally occurring samples had ever been found in a rock on the planet's surface except in some shocked meteorites. Due to its unstable nature under ambient conditions, this phase undergoes retrograde transformation to a pyroxene-type structure. The identification of the retrograde phase as 'bridgmanite' in so-called superdeep diamonds was based on the association with ferropericlase (Mg,Fe)O and other supposedly lower-mantle minerals predicted from theoretical models and HP-HT experiments.

In this study pyroxene inclusions in diamond grains from Juina (Brazil), one single-phase (SL-14) and two composite inclusions of (Mg,Fe)SiO₃ coexisting with (Mg,Fe)₃Al₂Si₃O₁₂ (SL-13), and with (Mg,Fe)₃Al₂Si₃O₁₂ and (Mg,Fe)₂SiO₄ (SL-80) have been analyzed to identify retrograde phases of former bridgmanite. XRD and Raman spectroscopy have revealed that these are orthopyroxene. (Mg,Fe)₂SiO₄ and (Mg,Fe)₃Al₂Si₃O₁₂ in these inclusions are identified as olivine and jeffbenite. These inclusions are associated with inclusions of (Mg,Fe)O (SL-14), CaSiO₃ (SL-80) and composite inclusion of CaSiO₃+CaTiO₃ (SL-13). XRD patterns of (Mg,Fe)SiO₃ inclusions indicate that they consist of polycrystals. This polycrystalline textures together with high lattice strain of host diamond around these inclusions observed from EBSD may be an evidence for the retrograde phase transition of former bridgmanite.

Single-phase inclusions of (Mg,Fe)SiO₃ in superdeep diamonds are suggested to represent a retrograde phase of bridgmanite and fully inherit its initial chemical composition, including a high Al and low Ni contents [1, 2]. The composite inclusions of (Mg,Fe)SiO₃ with jeffbenite and other silicate and oxide phases may be interpreted as exsolution products from originally homogeneous bridgmanite [3]. The bulk compositions of these composite inclusions are rich in Al, Ti, and Fe which are similar to Al-rich bridgmanite produced in experiments on the MORB composition. However, the retrograde origin of composite inclusions due to decomposition of Al-rich bridgmanite may be doubtful because each of observed phases may represent single-phase inclusions, i.e. bridgmanite and high pressure phase of (Mg,Fe)₃Al₂Si₃O₁₂, with similar compositional features [4].

This work has been supported in parts by RFBR (16-05-00451, 17-55-50062) and SBRAS (IDP 17).

References:

1. Harte B., Hudson N.F.C. (2013) Mineral Associations in Diamonds from the Lowermost Upper Mantle and Uppermost Lower Mantle // D.G. Pearson et al. (eds.), Proceedings of 10th International Kimberlite Conference, Vol.1, Special Issue of the Journal of the Geological Society of India, 235-253.
2. Kaminsky F.V. (2017) The Earth's Lower Mantle. Springer International Publishing AG.
3. Walter M.J., Kohn S.C., Araujo D., Bulanova G.P., Smith C.B., Gaillou E., Wang J., Steele A., Shirey S.B. (2011) Deep mantle cycling of oceanic crust: evidence from diamonds and their mineral inclusions. Science 334 (6052): 54-57.
4. Nestola F., Burnham A.D., Peruzzo L., Tauro L., Alvaro M., Walter M.J., Gunter M., Anzolini C., Kohn S.C. (2016) Tetragonal Almandine-Pyroxene Phase, TAPP: finally a name for it, the new mineral jeffbenite. Mineralogical Magazine 80 (7), 1219-1232.

PHASE RELATIONS AND OXIDATION STATE OF HIGH-REFRACTORY MANTLE PERIDOTITES

Zibera L.¹

¹ Bayerisches Geoinstitut, Universität Bayreuth, Germany
luca.zibera@uni-bayreuth.de

It is well accepted that the cratonic mantle formed by extensive melting during Archean, which left highly refractory residua and was followed by percolation of fluids and melts that metasomatized most of the lithospheric mantle. Due to the paucity of mantle xenoliths representing the pristine highly refractory mantle and the difficulties in performing high pressure (P) and high temperature (T) experiments in refractory compositions, phase relations, redox state and geochemical process in these mantle domains are still poorly understood. Some of the unresolved questions are: i) What are the phase relations of refractory peridotites at $P > 2$ GPa? ii) What is the effect of Fe^{3+} on phase relations? iii) How does Fe^{3+} partition between spinel, garnet and pyroxenes? iv) Are the available spinel-based oxybarometers reliable at $P > 2$ GPa?

In this project we tackle the above issues by both investigating a suite of natural samples and performing high-P and high-T experiments. The natural samples are harzburgite and dunite xenoliths and inclusions in diamonds from the Murowa kimberlite, Zimbabwe, which are rare examples of pristine, highly refractory mantle fragments [1]. ^{57}Fe Mössbauer analyses of natural Cr-spinel, garnet, clino- and orthopyroxene, have been performed using the synchrotron Mössbauer source (SMS) available at the Nuclear Resonance beamline ID18, ESRF, Grenoble. The high-P and high-T experiments are being performed using a multi-anvil apparatus and starting material resembling the composition of a harzburgitic xenolith from the Murowa kimberlite. P-T conditions cover the range 3–6 GPa and 1000–1400 °C and run products are olivine + orthopyroxene + spinel $\pm$ garnet. Careful preparation of the starting material and long experimental duration allowed good attainment of equilibrium, which is suggested by the textures and compositions of the run products.

One of the main results of this work is the difference in $\text{Fe}^{3+}/\Sigma\text{Fe}$ in Cr-spinels between mantle xenoliths (0.04–0.09) and diamonds (0.09–0.14). Application of currently available oxybarometers [e.g., 2] indicates oxygen fugacity ($f\text{O}_2$) values of 3 log units below the quartz-fayalite-magnetite oxygen buffer (QFM) for the xenoliths and 1 log unit below QFM for the diamond inclusions. This would suggest an increase in $f\text{O}_2$ with pressure and anomalous highly oxidized conditions during diamond formation. Notably, the first experimental results show an increase of Fe^{3+} with P, suggesting that such highly oxidizing conditions recorded in the inclusions in diamonds might be related to a possible overestimation of $f\text{O}_2$ at higher pressures.

The work was supported by the Alexander von Humboldt foundation.

References:

1. Smith C.B., Pearson D.G., Bulanova G.P., et al. (2009): Extremely depleted lithospheric mantle and diamonds beneath the southern Zimbabwe Craton. *Lithos*, V. 112. P. 1120–1132.
Ballhaus C., Berry R.F., Green D.H. (1991): High pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer: implications for the oxidation state of the upper mantle. *Contrib Mineral Petrol*, 107, 27–40.

СОДЕРЖАНИЕ

Агашев А.М., Зайцева М.В., Серов И.В., Толстов А.В. ВОЗРАСТ И ГЕОХИМИЯ ЦИРКОНОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ ЯКУТИИ.....	7
Азарова Н.С., Бовкун А.В., Носова А.А., Гаранин В.К., Хонг Х.Л. СОСТАВ КЛИНОПИРОКСЕНА И ШПИНЕЛИДОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ КИМОЗЕРО (КАРЕЛИЯ).....	8
Антонова Т.А. ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ГРАНАТОВ ПРИ ПОИСКАХ КИМБЕРЛИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	9
Асхабов А.М. К НОВОМУ «МИРУ ОБОЙДЕННЫХ ВЕЛЕЧИН».....	10
Афанасьев В.П., Логвинова А.М., Угапьева С.С., Федорова Е.Н. О ВОЗМОЖНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФОРМЫ ВКЛЮЧЕНИЙ В АЛМАЗАХ.....	11
Бабушкина С.А. ВКЛЮЧЕНИЯ ШПИНЕЛИДОВ И ИЛЬМЕНИТОВ ВО ФЛОГОПИТАХ ТРУБКИ МАЛОКУОНАПСКАЯ.....	12
Баталева Ю.В., Пальянов Ю.Н., Борздов Ю.М. КАРБИД ЖЕЛЕЗА КАК ОДИН ИЗ ИСТОЧНИКОВ УГЛЕРОДА ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ГРАФИТА И АЛМАЗА В УСЛОВИЯХ ЛИТОСФЕРНОЙ.....	13
Богущ И.Н., Специус З.В., Помазанский Б.С. ОСОБЕННОСТИ РОСТОВОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ АЛМАЗОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ РАЗНЫХ РАЙОНОВ ЯКУТИИ 14	
Божко Н.А. ЭПОХИ АЛМАЗОНОСНОГО МАГМАТИЗМА В СУПЕРКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ЦИКЛАХ.....	15
Буслов М.М., Добрецов Н.Л., Травин А.В., Куликова А.В. ГЕОХРОНОЛОГИЯ, СТРУКТУРА И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ АЛМАЗОНОСНЫХ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД КОКЧЕТАВСКОЙ СУБДУКЦИОННО-КОЛЛИЗИОННОЙ ЗОНЫ.....	16
Бутвина В.Г., Лиманов Е.В., Сафонов О.Г. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИЙ ФЛОГОПИТИЗАЦИИ В ПРИСУТСТВИИ ФЛЮИДА H₂O-KCL ПРИ 5 ГПА В ПРИЛОЖЕНИИ К ПРОБЛЕМЕ МОДАЛЬНОГО МАНТИЙНОГО МЕТАСОМАТОЗА.	17
Персиков Э.С., Бухтияров П.Г., Некрасов А.Н. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОССТАНОВЛЕННОГО ФЛЮИДА С БАЗАЛЬТОВЫМ РАСПЛАВОМ В УСЛОВИЯХ ЗЕМНОЙ КОРЫ.....	18
Владыкин Н.В. ВОЗРАСТ, РУДОНОСНОСТЬ И ГЕНЕЗИС СУПЕРРЕДКОМЕТАЛЬНОГО ЩЕЛОЧНОГО КАРБОНАТИТОВОГО ТОМТОРСКОГО МАССИВА (АРКТИКА).....	20
Воробей С.С., Бовкун А.В., Гаранин В.К. ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В ХРОМАЛЮМОШПИНЕЛИ ИЗ КСЕНОЛИТА КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ ОБНАЖЕННАЯ (ЯКУТСКАЯ КИМБЕРЛИТОВАЯ ПРОВИНЦИЯ).....	19
Гаранин В.К. АРХАНГЕЛЬСКИЕ АЛМАЗЫ В ИСТОРИИ ОТКРЫТИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ДОСТИЖЕНИЯХ, МОНОГРАФИЯХ.....	21
Гаранин К.В., Толстов А.В., Серов И.В., Шмаков И.И., Ковальчук О.Е., Кошкарёв Д.А. ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЕ РАБОТЫ НА АЛМАЗЫ ГРУППЫ АЛРОСА	22
Гибшер А.А., Мальковец В.Г. МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ ЗАПАДНОГО САНГИЛЕНА	23
Гибшер Н.А., Томиленко А.А., Рябуха М.А., Бульбак Т.А., Сазонов А.М., Хоменко М.О., Некрасова Н.А., Сильянов С. А. УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИЕ ФЛЮИДЫ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА.....	24
Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Мазукабзов А.М., Писаревский С.А., Эрнст Р. Е. МЕЗОПРОТЕРОЗОЙСКИЙ МАНТИЙНЫЙ МАГМАТИЗМ СИБИРСКОГО КРАТОНА	25

Голубев Ю.К., Прусакова Н.А. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ И ПОИСКАМ АЛМАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СЛОЖНЫХ ГЕОЛОГО-ЛАНДШАФТНЫХ ОБСТАНОВКАХ.....	26
Гришина С.Н., Максимович Я.Е., Горяйнов С.В., Карманов Н.С., Смирнов С.З. ХЛОРИД-СОДЕРЖАЩИЕ СЕГРЕГАЦИИ В КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКЕ УДАЧНАЯ-ВОСТОЧНАЯ	27
Добрецов Н.Л., Буслов М.М., Куликова А.В., Травин А.В. ГЕОДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ АККРЕЦИОННО-КОЛЛИЗИОННЫХ ЗОН ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ, ВКЛЮЧАЮЩИХ НР И УНР ПОРОДЫ.....	28
Чепуров А.И., Жимулев Е.И., Томиленко А.А., Сонин В.М., Чепуров А.А. , Соболев Н.В. РОСТ АЛМАЗА И СОПУТСТВУЮЩИХ ФАЗ В МЕТАЛЛ-СЕРО-УГЛЕРОДНЫХ СИСТЕМАХ.....	29
Иванов Д.В., Толстов А.В., Иванов В.В. ПЕТРОЛОГИЯ КИМБЕРЛИТОВ ТРУБКИ ЧУКУКСКАЯ	30
Изох А.Э., Поляков Г.В., Р. Ернст, Борисенко А.С., Гертнер И.Ф., Врублевский В.В., Толстых Н.Д. МАГМАТИЗМ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ КРУПНЫХ ИЗВЕРЖЕННЫХ ПРОВИНЦИЙ АЗИИ ..31	31
Ильина О.В., Похиленко Л.Н., Агашев А.М. ЭВОЛЮЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУППЫ ПЛАТИНЫ В ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ СИБИРСКОГО КРАТОНА (ПО ДАННЫМ ИЗ КСЕНОЛИТОВ ТРУБКИ УДАЧНАЯ, ЯКУТИЯ)	32
Ковальчук О.Е., Богущ И.Н. ПОЛИГЕНЕЗА АЛМАЗОВ ИЗ РОССЫПЕЙ СЕВЕРО-ВОСТОКА ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ	33
Кориковский С.П. ЧАРНОКИТИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ И УЛЬТРАОСНОВНЫХ ГРАНУЛИТОВ: РОЛЬ ФЛЮИДНЫХ РАССОЛОВ, МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТРЕНДЫ, МОДЕЛЬ ЭВОЛЮЦИИ	34
Костровицкий С.И., Sun Jing, Яковлев Д.А., Liu Chuan-Zhou, Wu Fuyuan, Мацюк С.С. ВОЗРАСТНЫЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КИМБЕРЛИТОВ ЯКУТСКОЙ ПРОВИНЦИИ ПО ЦИРКОНАМ	35
Горелова Л.А., Пахомова А.С., <u>Кривовичев С.В.</u>, Дубровинский Л.С. ПЯТИКООДИНИРОВАННЫЙ КРЕМНИЙ В СИЛИКАТАХ: НОВЫЕ ДАННЫЕ	36
Логвинова А.М., Данилова Ю.В., Гладкочуб Д.П. ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗОВ ЮЖНОЙ ОКРАИНЫ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ.....	37
Малыгина Е.В., Щукина Е.В. , Николенко Е.И., Афанасьев В.П. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕЗИСА ЗЮВИТОВ ПОПИГАЙСКОГО МЕТЕОРИТНОГО КРАТЕРА	38
Мальковец В.Г., Похиленко Л.Н., Похиленко Н.П., Griffin W.L., Tretiakova I.G., Костровицкий С.И., Belousova Е.А., O'Reilly S.Y. ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕГАКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЕРИДОТИТОВ С СУБКАЛЬЦИЕВЫМ ГРАНАТОМ ИЗ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ УДАЧНАЯ, СИБИРСКИЙ КРАТОН	39
Матросова (Сироткина) Е.А., Бобров А.В., Бинди Л., Ирифуне Т. ТИТАНСОДЕРЖАЩИЕ ФАЗЫ В МАНТИИ ЗЕМЛИ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В СИСТЕМЕ Na₂O–MgO–SiO₂–TiO₂ ПРИ 7–24 ГПа).....	40
Серов И.В, Никифорова А.Ю. ПРОБЛЕМЫ ПОИСКОВОЙ МИНЕРАЛОГИИ НА ЗАКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЯХ	41
Николаев Г.С., Арискин А.А., Бармина Г.С. ВЛИЯНИЕ ПЕТРОГЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ НА ТОПОЛОГИЮ ЛИКВИДУСА ХРОМШПИНЕЛИДА (МОДЕЛЬ SPINMELT-2.0) И НЕКОТОРЫЕ СООБРАЖЕНИЯ О ГЕНЕЗИСЕ ХРОМИТИТОВ	42
Лиханов И.И., Ревердатто В.В., Ножкин А.Д., Полянский О.П., Крылов А.А. МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ОБСТАНОВКИ АКТИВНОГО ТЕКТОГЕНЕЗА (НА ПРИМЕРЕ КОМПЛЕКСОВ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА)	43

Олейников О.Б., Опарин Н.А. КИМБЕРЛИТЫ ТРУБОК БАРЫЛАЙСКОГО КУСТА ХОМПУ-МАЙСКОГО ПОЛЯ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ)	44
Павлушин А.Д., Степенчиков Д.Г. АНАЛИЗ СИММЕТРИИ ИСКАЖЕННОЙ ФОРМЫ КРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА И ОЦЕНКА ЕЕ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВОГО ЗНАЧЕНИЯ	45
Пальянов Ю.Н. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГЕНЕЗИСА АЛМАЗА	46
Пальянов Ю.Н., Борздов Ю.М., Хохряков А.Ф., Куприянов И.Н., Сокол А.Г. ПРОЦЕССЫ РОСТА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ	47
Панина Л.И., Исакова А.Т. ДЖЕРФИШЕРИТ В ПОРОДАХ КРЕСТОВСКОЙ ИНТРУЗИИ (ПОЛЯРНАЯ СИБИРЬ) И ЕГО ГЕНЕЗИС	48
Пеков И.В., Агаханов А.А., Зубкова Н.В., Кошлякова Н.Н., Щипалкина Н.В., Сандалов Ф.Д., Япаскurt В.О., Турчкова А.Г., Сидоров Е.Г. ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ЭКСГАЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ТИПА – МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ И ГЕОХИМИЧЕСКИЙ УНИКУМ	49
Персиков Э.С. ВЗАИМОСВЯЗЬ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ РАСПРОСТРАНЁННОСТИ В ЗЕМНОЙ КОРЕ МАСС ИНТРУЗИВНЫХ И ЭФФУЗИВНЫХ ПОРОД В РЯДУ КИСЛЫЕ-ОСНОВНЫЕ С ЗАКОНОМЕРНОСТЯМИ ВЯЗКОСТИ МАГМ	50
Перчук А.Л., Япаскurt В.О., Гриффин В.З, Шур М.Ю., Гейн С. З, Зиновьева Н.Г. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАСОМАТОЗА В СУПРАСУБДУКЦИОННОЙ МАНТИИ: РОЛЬ СУБСТРАТА И РЕЖИМА МИГРАЦИИ КОМПОНЕНТОВ	51
Печников В.А. ЗАКОНОМЕРНОСТИ В РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ АЛМАЗОВ В МЕТАМОРФИЧЕСКОМ СУБСТРАТЕ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДЕТАЛЬНОЙ РАЗВЕДКИ НА КУМДЫКОЛЬСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИЕ)	52
Плечов П.Ю. ВЛАДИМИР СТЕПАНОВИЧ СОБОЛЕВ КАК ДИРЕКТОР МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО МУЗЕЯ ИМ.А.Е.ФЕРСМАНА	53
Похиленко Л.Н., Афанасьев В.П., Похиленко Н.П. КСЕНОЛИТЫ ПОЛИМИКТОВЫХ БРЕКЧИЙ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ	54
Рагозин А.Л., Зедгенизов Д.А., Шацкий В.С., Купер К.Э. ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ МОЗАИЧНО-БЛОЧНЫХ АЛМАЗОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ ЗАРНИЦА	55
Реутский В.Н., Пальянов Ю.Н., Борздов Ю.М., Сокол А.Г., Виденбек М. ИЗОТОПНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛМАЗОВ, ОБРАЗОВАННЫХ ПО МЕХАНИЗМУ ОКИСЛЕНИЯ-ВОССТАНОВЛЕНИЯ	56
Рябов В.В. КУБИЧЕСКИЙ ГРАФИТ В САМОРОДНОМ ЖЕЛЕЗЕ СИБИРСКИХ ТРАППОВ.	57
Салихов Р.Ф., Толстов А.В. КРУПНОМАСШТАБНЫЙ ПРОГНОЗ ПОИСКОВЫХ ОБЪЕКТОВ РАНГА «КИМБЕРЛИТОКОНТРОЛИРУЮЩИЙ РАЗЛОМ» - «КУСТ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК» В ГИС-ТЕХНОЛОГИЯХ В РАЙОНАХ РАЗВИТИЯ ТРАППОВ	58
Сапегина А.В., Перчук А.Л., Сафонов О.Г., Мальковец В.Г. Р-Т УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ МАФИЧЕСКИХ ГРАНУЛИТОВ ИЗ КСЕНОЛИТОВ В КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ УДАЧНАЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФАЗОВЫХ РАВНОВЕСИЙ	59
Селятицкий А.Ю., Куликова К.В. МЕТАМОРФИЧЕСКАЯ НР-УНР ЭВОЛЮЦИЯ GRT ЛЕРЦОЛИТОВ И GRT-OL ВЕБСТЕРИТОВ КОМПЛЕКСА МАРУН-КЕУ, ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ ..	60
Склярков Е.В., Кошкарев Д.А., Гладкочуб Д.П., Лунина О.В., Гладков А.С., Жоао Ф., Карпенко М.А., Первов В.А. ПЕРВАЯ НАХОДКА КАМАФОРИТОВ В АССОЦИАЦИИ С АЛМАЗОНОСНЫМИ КИМБЕРЛИТАМИ ТРУБКИ КАТОКА (СВ АНГОЛА)	61

Слабунов А.И. ГЕОДИНАМИКА АРХЕЯ: НА ПРИМЕРЕ ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО И ИНДИЙСКОГО ЩИТОВ	62
Соболев Н.В., Томиленко А.А., Бульбак Т.А., Логвинова А.М. СОСТАВ ЛЕТУЧИХ КОМПОНЕНТОВ В ЯКУТСКИХ И УРАЛЬСКИХ АЛМАЗАХ И АССОЦИИРУЮЩЕМ ГРАНАТЕ.....	63
Сокол А.Г., Крук А.Н., Томиленко А.А., Бульбак Т.А., Сокол И.А. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛЕРОДА И АЗОТА МЕЖДУ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ И ФЛЮИДНОЙ ФАЗАМИ ПРИ 6.3-7.8 ГПА И 1200-1400°С: СЛЕДСТВИЕ ДЛЯ ГЛУБИННЫХ ЦИКЛОВ ЛЕТУЧИХ В МЕТАЛЛ-НАСЫЩЕННОЙ МАНТИИ	64
Специус З.В., Тэйлор Л.А., Вэли Д.В. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ (ИЗОТОПИЯ КИСЛОРОДА МИНЕРАЛОВ И УГЛЕРОДА АЛМАЗОВ) СВИДЕТЕЛЬСТВА УЧАСТИЯ СУБДУЦИРОВАННЫХ ПОРОД КОРЫ В СОСТАВЕ СКЛМ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ	65
Старкова Т.С., Иванов А.С. НОВЫЙ КРИТЕРИЙ ПРОГНОЗА АЛМАЗОНОСНОСТИ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК ПО СОСТАВУ ПИРОПОВ	66
Сурков Н.В. ГЛУБИННЫЕ ФАЦИИ ПЛАВЛЕНИЯ В ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ЗЕМЛИ	67
Толстов А.В., Горев Н.И., Проценко Е.В., Мальцев М.В. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НОВЫХ АЛМАЗОНОСНЫХ РАЙОНОВ	68
Томиленко А.А., Бульбак Т.А., Афанасьев В.П., Похиленко Н.П. СОСТАВ ЛЕТУЧИХ КОМПОНЕНТОВ В ИМПАКТНЫХ АЛМАЗАХ ИЗ ПОПИГАЙСКОЙ АСТРОБЛЕМЫ, РОССИЯ	69
Томиленко А.А., Сонин В.М., Бульбак Т.А., Чепуров А.А. СОСТАВ ЛЕТУЧИХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ CVD АЛМАЗОВ.....	70
Угайева С.С., Олейников О.Б. ПОВЕРХНОСТНЫЕ И ВНУТРЕННИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ФАЗЫ В АЛМАЗАХ V-VII РАЗНОВИДНОСТИ (МЕСТОРОЖДЕНИЕ ХОЛОМОЛОХ).....	71
Федькин В.В. ЧЕТЫРЕ ЭПИЗОДА ТЕРМАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ЭКЛОГИТОВ МАКСЮТОВСКОГО КОМПЛЕКСА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)	72
Хачатрян Г.К. АЗОТ И ВОДОРОД В КРИСТАЛЛАХ АЛМАЗА И ПРОБЛЕМЫ ЕГО ГЕНЕЗИСА .	73
Чайка И.Ф.^{1 2}, Соболев А.В.^{3 4}, Изох А.Э.^{1 2}, Батанова В.Г.^{3 4}, Крашенинников С.П.⁴ СМЕШЕНИЕ ЛАМПРОИТОВОГО И КАМАФУГИТОВОГО РАСПЛАВОВ В ДАЙКОВЫХ ПОРОДАХ РЯБИНОВОГО МАССИВА (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЛДАН): ПО ДАННЫМ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПЛАВНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ОЛИВИНАХ И ХРОМШПИНЕЛИДАХ...	74
Чупин В.П., Кузьмин Д.В., Смирнов С.З., Томиленко А.А. РАСПЛАВНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ И ПЕРИТЕКТИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ В МАГМАТИЧЕСКОМ ПЕТРОГЕНЕЗИСЕ	75
Шарыгин В.В., Рипп Г.С., Яковлев Г.А., Сереткин Ю.В., Карманов Н.С. НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ В ЖЕЛЕЗНОМ МЕТЕОРИТЕ УАКИТ (ШАВ), БУРЯТИЯ	76
Шацкий В.С., Ягоутц Э., Козьменко О.А., Рагозин А.Л., Скузоватов С.Ю., Соболев Н.В. ДВА ТИПА ПРОТОЛИТОВ АЛМАЗОНОСНЫХ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД КОКЧЕТАВСКОЙ СУБДУКЦИОННО-КОЛЛИЗИОННОЙ ЗОНЫ	77
Ширяев А.А., Ludwig W., Каминский Ф.В., Золотов Д.А., Титков С.В. НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРОЕНИИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ И ИМПАКТНЫХ АЛМАЗОВ: ДАННЫЕ ФАЗОВОЙ ТОМОГРАФИИ И 3D-ДИФРАКЦИИ	78
Шмаков И.И., Иванов А.С. ПРЕДПОЛАГАЕМЫЕ КОРЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ РОССЫПНЫХ АЛМАЗОВ НА ЮГО-ЗАПАДЕ РЕСПУБЛИКИ БУРКИНА ФАСО, ЗАПАДНАЯ АФРИКА	79
Щукина Е.В., Щукин В.С. ПЕРСПЕКТИВЫ ОБНАРУЖЕНИЯ НОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ НА СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ	80

CONTENTS

Afanasiev V.P., Logvinova A.M., Ugapieva C.C., Fedorova E.N. POSSIBILITY FOR CRYSTAL MORPHOLOGY CHANGES IN INCLUSIONS FROM DIAMONDS	81
Agashev A.M., Zaitseva M.V., Serov I.V., Tolstov A.V. AGE AND GEOCHEMISTRY OF ZIRCONS FROM THE YAKUTIAN KIMBERLITES	82
Antonova T.A. APPLICATION OF OPTICAL SPECTROSCOPY OF GARNETS IN THE SEARCH FOR KIMBERLITE DEPOSITS	83
Aranovich L.Y. OCEANIC ZIRCON AS A PETROGENETIC INDICATOR	84
Arefiev A.V., Podborodnikov I.V., Shatskiy A.F., Chanyshchev A.D., Litasov K.D. EFFECT OF ALKALIS ON THE REACTION OF CLINOPYROXENE WITH Mg-CARBONATE AT 6 GPa: IMPLICATIONS FOR PARTIAL MELTING OF CARBONATED LHERZOLITE	85
Ariskin A.A., Barmina G.S., Bychkov K.A., Kislov E.V., Korost D.V., Nikolaev G.S., Pshenitsyn I.V., Sobolev S.N. THE DOVYREN INTRUSION: STRUCTURE, FORMATION AND HISTORY OF SULFIDE SATURATION OF PARENTAL MAGMAS	86
Nicholas Arndt¹, Carole Cordier¹, Anne-Marie Boullier¹, Valentina Batanova¹, Troels Nielsen FORMATION OF DUNITE MICRO-XENOLITHS IN KIMBERLITES; PETROGRAPHIC OBSERVATIONS AND MINERAL COMPOSITIONS	87
Asafov E.V., Sobolev A.V., Gurenko A.A., Portnyagin M.V., Arndt N.T., Batanova V.G., Krashenninnikov S.P. WATER IN THE ACHAEAN KOMATIITES: RESULTS OF THE MELT INCLUSION STUDIES.....	88
Ashchepkov I.V., Travin S.V., Spetsius, Ivanov A.S., Vladykin N.V. MODELS OF MANTLE STRUCTURE BENEATH SIBERIAN CRATON ACORDING TO KIMBERLITE XENOLITH AND XENOCRYSTS.....	89
Askhabov A.M. TO A NEW "THE WORLD OF NEGLECTED DIMENSIONS"	90
Azarova N.S., Bovkun A.V., Nosova A.A., Garanin V.K., Hong H.L. COMPOSITION OF CLINOPYROXENE AND SPINELIDES FROM THE KIMOZERO KIMBERLITES (KARELIA).....	91
Babushkina S.A. SPINELIDE AND ILMENITE INCLUSIONS IN PHLOGOPITES FROM THE MALOKUONAPSKAYA PIPE	92
Bataleva Y.V.¹, Palyanov Y.N. ¹, Borzdov Y.M. IRON CARBIDE AS ONE OF THE SOURCES OF ELEMENTAL CARBON FOR GRAPHITE AND DIAMOND FORMATION AT THE CONDITIONS OF THE LITHOSPHERIC MANTLE	93
Bogush I.N., Spetsius Z.V., Pomazanskiy B.S. CHARACTERISTICS OF GROWTH ZONING OF DIAMONDS FROM KIMBERLITES IN DIFFERENT YAKUTIAN DISTRICTS	94
Bozho N.A. EPOCHS OF DIAMONDIFEROUS MAGMATISM IN SUPERCONTINENTAL CYCLES....	95
Persikov E.S., Bukhtiyarov P.G., Nekrasov A.N. EXPERIMENTAL STUDY OF THE INTERACTION BETWEEN THE REDUCED FLUID AND BASALT MELT UNDER THE EARTH'S CRUST CONDITIONS	96
Buslov M.M., Travin A.V. GEOCHRONOLOGY AND CONDITIONS RESPONSIBLE FOR THE FORMATION OF DIAMONDIFEROUS METAMORPHIC ROCKS OF THE KOKCHETAV SUBDUCTION-COLLISION ZONE	97

Butvina V.G., Limanov E.V., Safonov O.G. EXPERIMENTAL STUDY OF PHLOGOPITIZATION REACTION IN PRESENCE OF H ₂ O-KCl FLUID AT 5 GPa: APPLICATION TO MODAL MANTLE METASOMATISM PROBLEM.	98
Chayka I.F., Sobolev A.V., Izokh A.E., Batanova V.G., Krashenninnikov S.P. CHROMITE AND OLIVINE HOSTED MELT INCLUSIONS REVEAL MIXING BETWEEN LAMPROITE AND KAMAFUGITE MELTS (EVIDENCE FROM RYABINOVII MASSIF LAMPROITES, ALDAN SHIELD)	99
Chepurov A.I.1, Zhimulev E.I.1, Tomilenko A.A.1, Sonin V.M.1, Chepurov A.A.1, Sobolev N.V. GROWTH OF DIAMOND AND ACCOMPANYING PHASES IN THE METAL-SULFUR-CARBON SYSTEMS	100
Chupin V.P., Kuzmin D.V., Smirnov S.Z., Tomilenko A.A. MELT INCLUSIONS AND PERITECTIC REACTIONS IN THE MAGMATIC PETROGENESIS	101
Dobretsov N.L., Buslov M.M., Kulikova A.V., Travin A.V. GEODYNAMICS OF FORMATION OF THE ACCREPTION-COLLISION ZONES OF CENTRAL ASIA, INCLUDING HP AND UHP ROCKES	102
Fedkin V.V. FOUR EPISODES OF THE THERMAL EVOLUTION OF THE ECLOGITES OF THE MAXYUTOVSKY COMPLEX (SOUTH URAL)	103
Garanin K.V., Tolstov A.V., Serov I.V., Shmakov I.I., Kovalchuk O.E., Koshkarev D.A GEOPROSPECTING WORKS FOR DIAMOND OF ALROSA GROUP	104
Garanin V.K. ARKHANGELSK DIAMONDS IN THE HISTORY OF DISCOVERY OF DEPOSITS, ACHEIVEMENTS, AND BOOKS.	105
Pavel N. Gavryushkin, Naira S. Martirosyan, Sergey S. Lobanov, Nursultan Sagatov, and Konstantin D. Litasov NEW DATA ON HIGH-PRESSURE FIELD OF CaCO ₃ PHASE DIAGRAM	106
Taras Gerya, Evgueni Burov NEW GEODYNAMIC THEORY FOR THE NUCLEATION AND EVOLUTION OF RIDGE-RIDGE-RIDGE TRIPLE JUNCTIONS	107
Gibsher N.A., Tomilenko A.A., Ryabukha M.A., Bul'bak T.A., Sazonov A.M., Khomenko M.O., Nekrasova N.A., Sil'yanov S. A. CARBON-BEARING FLUIDS OF GOLD-ORE DEPOSITS IN THE YENISEY RIDGE	108
Gibsher A.A., Malkovets V.G. METASOMATIC TRANSFORMATIONS IN THE LITHOSPHERIC MANTLE OF WESTERN SANGELEN	109
Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Mazukabzov A.M., Pisarevskiy S.A., Ernst R.E. MESOPROTEROZOIC MANTLE MAGMATISM OF THE SIBERIAN CRATON	110
Golubev Yu.K., Prusakova N.A. MODERN APPROACHS TO PREDICTION AND PROSPECTING FOR DIAMOND DEPOSITS IN COMPLICATED GEOLOGIC-LANDSCAPE ENVIRONMENTS..	111
Grishina S.N., Maksimovich Ya.E., Goryainov S.V., Karmanov N.S., Smirnov S.Z. CHLORIDE-CONTAINING SEGREGATIONS IN THE UDACHNAYA-VOSTOCHNAYA KIMBERLITE PIPE	112
Stéphane Guillot HIMALAYA-TIBET : FROM CONTINENTAL SUBDUCTION TO CONTINENTAL COLLISION.....	113

Khachatryan G.K. NITROGEN AND HYDROGEN IN THE DIAMOND CRYSTALS AND THE PROBLEMS OF ITS GENESIS	114
Claude Herzberg THERMAL HISTORY OF THE EARTH: INFERENCES FROM BASALTS AND KOMATIITES	115
Ilyina O.V., Pokhilenko L.N., Agashev A.M. EVOLUTION OF PLATINUM GROUP ELEMENTS DISTRIBUTION IN LITHOSPHERIC MANTLE OF SIBERIAN CRATON (BASED ON DATA ON UDACHNAYA PIPE XENOLITHS, YAKUTIA)	116
Ivanov D.V., Tolstov A.V., Ivanov V.V. KIMBERLITES PETROLOGY OF CHUKUKSKAYA PIPE.....	117
Izokh A.E., Poliakov G.V., Ernst R., Borisenko A.S., Gertner I.F., Vrublevskii V.V., Tolstykh N.D. MAGMATISM AND METALLOGENY OF LARGE IGNEOUS PROVINCES OF ASIA	118
Kaminsky F., Anikin L.P., Wirth, R. POLYCRYSTALLINE DIAMONDS FROM KAMCHATKA, RUSSIA AND POLYGENESIS OF DIAMOND IN NATURE	119
Korikovskiy S. P. CHARNOKITIZATION OF MAFIC AND ULTRAMAFIC GRANULITES: THE ROLE OF FLUID BRINES, MINERALOGICAL–GEOCHEMICAL TRENDS, EVOLUTION OF MINERAL ASSEMBLAGES, AND AN EVOLUTIONARY MODEL	120
Koshlyakova A.N., Sobolev A.V., Krasheninnikov S.P., Batanova V.G., Borisov A.A. THE INFLUENCE OF K AND NA ON NI PARTITIONING BETWEEN OLIVINE AND SILICATE MELT	121
Kostrovitskiy S.I., Sun Jing, Yakovlev D.A., Liu Chuan-Zhou, Wu Fuyuan, Matsuk S.S. AGE AND GEOCHEMICAL STUDIES OF ZIRCONS FROM THE YAKUTIAN KIMBERLITE PROVINCE ..	122
Koulakov I., Vargas C., West M., Smirnov S., El Khrepy S., Al-Arifi N. BREATHING OF VOLCANOES: TIME-DEPENDENT SEISMIC TOMOGRAPHY STUDIES OF THE NEVADO DEL RUIZ, GALERAS AND MT. SPURR.....	123
Kovalchuk O.E., Bogush I.N. SPECIFIC FEATURES OF DIAMOND POLYGENESIS FROM PLACER DEPOSITS OF THE NORTHEASTERN YAKUTIAN DIAMONDIFERIOUS PROVINCE	124
Krasheninnikov S.P., Sobolev A.V., Batanova V.G., Borisov A.A., Kargaltsev A.A. HIGH-TEMPERATURE LOOP-TECHNIQUE EXPERIMENTS: THE NEW CONSTRAINTS ON OLIVINE AND SILICATE MELT EQUILIBRIA AT EARLY EARTH AND LUNAR MANTLE CONDITIONS	125
Gorelova L.A., Pakhomova A.S., <u>Krivovichev S.V.</u>, Dubrovinsky L.S. PENTACOORDINATED SI IN SILICATES: NEW DATA	126
Litasov K.D., Ohfuji H.S., Kagi H., Badyukov D.D. MICROSTRUCTURE AND MINERAL INCLUSIONS IN CARBON AGGREGATES OF UREILITE METEORITES	127
Logvinova A.M., Danilova Y.V., Gladkochub D.P. FEATURES OF THE DIAMONDS OF THE SOUTHERN MARGIN OF THE SIBERIAN PLATFORM.....	128
Malkovets V.G., Pokhilenko L.N., Pokhilenko N.P., Griffin W.L., Tretiakova I.G., Kostrovitskiy S.I., Belousova E.A., O'Reilly S.Y. ISOTPIC-GEOCHEMICAL STUDY OF MEGACRYSTALLINE PERIDOTITES WITH A SUBCALCIUM GARNET FROM THE UDACHNAYA KIMBERLITE PIPE, SIBERIAN CRATON	129
Malygina E.V., Shchukina E.V., Nikolenko E.I., Afanas'ev V.P. SUEVITE OF THE POPIGAI IMPACT CRATER: SOME FEATURES OF GENESIS	130
Maresch W.V., Schertl H.-P., Hertwig, A., Kawamoto, T. THE GENESIS OF JADEITITE AND JADEITE-RICH ROCKS.....	131

Martirosyan N.S., Podborodnikov I.V., Shatskiy A., Litasov K. D., Yoshino T. Ca-CARBONATE-Fe REACTION IN MODEL PERIDOTITE: IMPLICATION FOR FORMATION OF Ca-RICH SILICATES IN THE UPPER MANTLE	132
Matrosova (Sirotkina) E.A., Bobrov A.V., Bindi L., Irifune T. Ti-BEARING PHASES IN THE MANTLE: EVIDENCE FROM EXPERIMENTS WITH THE Na ₂ O–MgO–SiO ₂ –TiO ₂ SYSTEM AT 7–24 GPa	133
Daniil A. Minin*, Anton F. Shatskiy, Konstantin D. Litasov, Hiroaki Ohfuji THE Fe–Fe ₂ P PHASE DIAGRAM AT 6 GPa	134
Mironov N.L., Nazarova D.P., Smirnov S.Z., Portnyagin M.V. USING MICRO-RAMAN TECHNIQUE TO ESTIMATE CO ₂ CONTENT IN MELT INCLUSIONS FROM KAMCHATKA....	135
Nazarova D.P., Portnyagin M.V., Krasheninnikov S.P. MANTLE MELTING CONDITIONS BENEATH KARYMSKY VOLCANO, KAMCHATKA	136
Fabrizio Nestola RECENT DISCOVERIES IN SUPER-DEEP DIAMONDS	137
Nikolaev G.S.¹, Ariskin A.A.², Barmina G.S. MAJOR COMPONENT INFLUENCE ON THE TOPOLOGY OF CR SpINELIDE LIQUIDUS (SPINMELT-2.0 MODEL) AND SOME CONSIDERATIONS ON THE GENESIS OF CHROMITITES	138
Likhanov I.I., Reverdatto V.V., Nozhkin A.D., Polyanskiy O.P., Krylov A.A. METAMORPHIC INDICATORS OF ACTIVE TECTONIC SETTINGS (EXAMPLE FROM YENISEI RIDGE)	139
Oleinikov O.B., Oparin N.A. KIMBERLITES OF THE BARYLAI CLUSTER IN THE KHOMPU-MAYA FIELD (CENTRAL YAKUTIA)	140
Palyanov Yu.N., Borzdov Yu.M., Khokhryakov A.F., Kupriyanov I.N., Sokol A.G. GROWTH PROCESSES OF DIAMOND FUNCTIONAL CRYSTALS AND PROSPECTS OF THEIR APPLICATION	141
Palyanov Yu.N. EXPERIMENTAL MODELING OF DIAMOND FORMATION	142
Panina L.I., Isakova A.T. DJERFISHERITE IN KRESTOVSKAYA INTRUSION ROCKS (POLAR SIBERIA) AND ITS GENESIS	143
Pavlushin A.D., Stepenshchikov D.G. SYMMETRY OF DISTORTED DIAMOND CRYSTALS AND ITS EXPLORATION IMPLICATIONS	144
Pechnikov V.A. DISTRIBUTION OF DIAMONDS IN METAMORPHIC ROCKS: EVIDENCE FROM DETAILED EXPLORATION AT THE KUMDY-KOL DEPOSIT	145
Pekov I.V., Agakhanov A.A., Zubkova N.V., Koshlakova N.N., Shchipalkina N.V., Sandalov F.D., Yapskurt V.O., Turchkova A.G., Sidorov E.G. HIGH FO ₂ VOLCANIC EXHALATION SYSTEMS WITH EXCEPTIONAL MINERALOGY AND CHEMISTRY	146
Perchuk, A.L., Yapskurt, V.O., Griffin, V.3, Sur, M.Yu., Gain C. , Zinoviev N.G. EXPERIMENTAL MODELING OF METASOMATISM IN SUPRASUBDUCTION MANTLE: THE ROLE OF SUBSTRATE AND MIGRATION OF COMPONENTS	147
Persikov E.S. DISTRIBUTION OF FELSIC AND MAFIC INTRUSIVE AND EXTRUSIVE ROCKS IN THE CRUST: CORRELATION WITH MAGMA VISCOSITY PATTERNS	148
Plechov P.Yu. VLADIMIR S. SOBOLEV: DIRECTOR OF A.E. FERSMAN MINERALOGICAL MUSEUM	149
Podborodnikov I.V., Shatskiy A.F., Arefiev A.V., Rashchenko S.V., Rashchenko S.V., Chanyshhev A.D., Litasov K.D. THE SYSTEM Na ₂ CO ₃ –CaCO ₃ AT 3 GPa: LINK BETWEEN PHASE RELATIONS AND VARIETY OF Na–Ca DOUBLE CARBONATES AT ≤ 0.1 AND 6 GPa	150
Pokhilenko N.P., Sobolev N.V., Afanasiev V.P., Agashev A.M., Malkovets V.G., Pokhilenko L.N., Tychkov N.S. PERSPECTIVES OF DISCOVERY OF DIAMONDIFEROUS KIMBERLITES OF MIDDLE PALEOZOIC AGE INSIDE THE NORTHERN PART OF SIBERIAN PLATFORM.	151

Pokhilenko N.P., Sobolev N.V., Afanasiev V.P., Agashev A.M., Malkovets V.G., Pokhilenko L.N., Tychkov N.S. PROSPECTS FOR DISCOVERY OF MIDDLE PALEOZOIC DIAMONDIFEROUS KIMBERLITES IN THE NORTHERN SIBERIAN CRATON	152
Pokhilenko L.N., Afanasyev V.P., Pokhilenko N.P. XENOLITHS OF POLYMICHT BRECCIAS FROM THE SIBERIAN KIMBERLITES	153
Polyansky O.P., Prokopiev A.V., Reverdatto V.V., Babichev A.V., Koroleva O.V., Tomshin M.D. POSSIBLE MECHANISMS FOR THE YAKUTSK-VILYUI LIP FORMATION: PLATE-EXTENSIONAL VS. MAGMA ASSISTED RIFTING	154
Portnyagin M.V., Mironov N.L., Almeev R.R., Botcharnikov R.E., Krasheninnikov S.P., Holtz F. EXPERIMENTAL STUDY OF NATURAL MELT INCLUSIONS IN OLIVINE AT CONTROLLED P-T-fo2 AND IN PRESENCE OF VOLATILES: 10-YEAR PROGRESS AND PERSPECTIVES	155
Ragozin A.L., Zedgenizov D.A., Shatsky V.S., Kuper K.E. FORMATION OF MOSAIC DIAMONDS FROM THE ZARNITSA KIMBERLITE	156
V.N. Reutsky, Yu.N. Palyanov, Yu.M. Borzdov, A.G. Sokol, M. Wiedenbeck CARBON ISOTOPE SIGNATURE OF DIAMONDS GROWN VIA REDOX MECHANISM	157
Ryabov V.V. CUBIC GRAPHITE IN THE NATIVE IRON OF SIBERIAN TRAPPS	158
Safonov O.G., van Reenen D.D., Mityaev A.S, Yapaskurt V.O., Reutsky V.N., Varlamov D.A., Shcherbakov V.D., Smit C.A. CARBONATE-BEARING SOURCE OF GRANITOIDS IN THE SOUTHERN MARGINAL ZONE OF THE LIMPOPO COMPLEX, SOUTH AFRICA, AS AN EVIDENCE FOR INTERACTION OF GRANULITE COMPLEX WITH	159
Salikhov R.F., Tolstov A.V. GIS TECHNOLOGIES FOR LARGE-SCALE PREDICTION OF “KIMBERLITE CONTROLLING FAULT” – “KIMBERLITE CLUSTER” EXPLORATION TARGETS IN AREAS OF TRAP MAGMATISM	160
Sapegina A.V., Perchuk A.L., Safonov O.G., Malkovets V.G. FORMATION OF XENOLITHIC MAFIC GRANULITES FROM THE UDACHNAYA KIMBERLITE: P-T CONDITIONS INFERRED BY PHASE EQUILIBRIUM MODELING	161
Schertl H.-P., Maresch W.V., Hertwig, A. JADEITITES AND RELATED HP-ROCKS FROM HISPANIOLA AND THEIR BEARING ON THE DYNAMICS OF SUBDUCTION ZONES	162
Schukina E.V., Schukin V.S. PROSPECTS OF FINDING NEW DIAMOND DEPOSITS IN THE NORTHERN TERRITORIES OF THE EASTERN EUROPEAN PLATFORM	163
Selatitsky A.Yu., Kulikova K.V. METAMORPHIC HP-UHP EVOLUTION OF GRT LHERZOLITE AND GRT-OL WEBSTERITE OF THE MARUN-KEU COMPLEX, POLAR URALS	164
Serov I.V., Nikiforova A.Y. PROBLEMS OF SEARCHING MINERALOGY IN THE COVERED TERRITORIES	165
Shapiro N. USING LOW-FREQUENCY EARTHQUAKES TO STUDY UNSTEADY FLUID TRANSPORT AT DEPTH IN SUBDUCTION	166
Sharygin V.V., Ripp G.S., Yakovlev G.A., Seryotkin Yu.V., Karmanov N.S. NEW MINERAL SPECIES IN IRON METEORITE UAKIT (IIAB), BURYATIA	167
Shatskiy A.F., Litasov K.D. THE ORIGIN OF MINERAL INCLUSIONS OF “MIXED” PARAGENESIS IN DIAMOND – CONSTRAINTS FROM HIGH-PRESSURE EXPERIMENTS	168
Shatsky V.S., Yagouts E., Kozmenko O.A., Ragozin A.L., Skuzovatov S.Y., Sobolev N.V TWO TYPES OF PROTOLITHS OF DIAMONDIFEROUS METAMORPHIC ROCKS OF THE KOKCHETAV SUBDUCTION-COLLISION ZONE	169
Shiryaev A.A., Ludwig W., Kaminskiy F.V., Zolotov D.A., Titkov S.V NEW DATA ON THE STRUCTURE OF POLYCRYSTALLINE AND IMPACT DIAMONDS: DATA BY PHASE TOMOGRAPHY AND 3D-DIFFRACTION	170
Shmakov I.I., Ivanov A.S. PROBABLE PRIMARY SOURCES OF PLACER DIAMONDS OF SOUTH-WEST OF THE BURKINA FASO REPUBLIC, WEST AFRICA	171

Shumilova T.G VARIETY OF IMPACT DIAMONDS AND MECHANISMS OF THEIR FORMATION	172
Sklyarov E.V., Koshkarev D.A., Gladkochub D.P., Lunina O.V., Gladkov A.S., Joao F., Karpenko M.A., Pervov V.A. FIRST DISCOVERY OF KAMAPHORITE COEXISTING WITH DIAMOND-BEARING KIMBERLITE IN THE CATOCA PIPE (NE ANGOLA)	173
Slabunov A.I. ARCHEAN GEODYNAMICS: CASE STUDIES OF THE FENNOSCANDIAN AND INDIAN SHIELDS	174
Sobolev A.V. TEMPERATURE OF CONVECTIVE MANTLE AND LITHOSPHERE INFERRED FROM OLIVINE-SPINEL GEOTHERMOMETRY OF PRIMITIVE MANTLE-DERIVED MAGMAS	175
Sobolev S.V. NEW LOOK ON INITIATION AND EVOLUTION OF PLATE TECTONICS ON EARTH..	176
Sobolev N.V., Tomilenko A.A., Bulbak T.A., Logvinova A.M. COMPOSITION OF VOLATILE COMPONENTS IN YAKUTIAN, URAL DIAMONDS AND ASSOCIATED GARNET	177
Sokol A.G., Kruk A.N., Tomilenko A.A., Bulbak T.A., Sokol I.A. C AND N PARTITIONING BETWEEN METAL AND FLUID PHASES AT 6.3-7.8 GPA AND 1200-1400 °C: IMPLICATIONS FOR DEEP CYCLES OF VOLATILES IN REDUCED	178
Spetsius, Z.V., Taylor L.A. , Valley J.W. GEOCHEMICAL EVIDENCE (OXYGEN ISOTOPES OF MINERALS AND CARBON ISOTOPES OF DIAMONDS) OF THE PARTICIPATION OF THE SUBDUCTED CRUSTAL ROCKS IN THE COMPOSITION OF THE SCLM OF THE SIBERIAN ..	179
Starkova T.S., Ivanov A.S. NEW CRITERIA FOR FORECASTING OF KIMBERLITE PIPE DIAMOND POTENTIAL BY THE COMPOSITION OF PYROPES	180
Surkov N.V. DEEP FACIES OF MELTING IN THE EARTH'S UPPER MANTLE	181
Tolstov A.V., Gorev N.I., Protzenko E.V., Maltsev M.V. PROSPECTS FOR FORECASTING NEW DIAMONDIFEROUS REGIONS	182
A.A. Tomilenko, V.M. Sonin, T.A. Bulbak, A.A. Chepurov COMPOSITION OF VOLATILES FROM CVD DIAMONDS	183
Tomilenko A.A., Bulbak T.A., Afanasiev V.P., Pokhilenko N.P. COMPOSITION OF VOLATILES IN IMPACT DIAMONDS FROM THE POPIGAI IMPACT CRATER, RUSSIA	184
Touret J.L.R., Huizenga J.M LARGE-SCALE CARBON TRANSFER BETWEEN CRUST AND MANTLE DURING SUPERCONTINENT AMALGAMATION AND DISRUPTION	185
Ugap'eva S.S., Oleinikov O.B. SURFACE AND INTERNAL MINERAL PHASES IN DIAMONDS OF V-VII VARIETY (CHOLOMOOL DEPOSIT)	186
Vladykin N.V. AGE, MINEARALIZATION AND GENESIS OF THE SUPER RARE METAL ALKALINE CARBONATITE TOMTOR MASSIF (ARCTIC)	187
Vorobei S.S., Bovkun A.V., Garanin V.K. POLYMINERAL INCLUSIONS IN CHROMALUMOSPINEL FROM THE OBNAZHENAYA KIMBERLITE PIPE XENOLITH (YAKUTIAN KIMBERLITE PROVINCE)	188
Zedgenizov D.A., Kagi H., Ohtani E., Tsujimori T., Komatsu K. FORMER BRIDGMANITE INCLUSIONS IN SUPERDEEP DIAMONDS	189
Zibera L. PHASE RELATIONS AND OXIDATION STATE OF HIGH-REFRACTORY MANTLE PERIDOTITES	190

Научное издание

ПРОБЛЕМЫ МАГМАТИЧЕСКОЙ
И МЕТАМОРФИЧЕСКОЙ ПЕТРОЛОГИИ,
ГЕОДИНАМИКИ И ПРОИСХОЖДЕНИЯ АЛМАЗОВ

Тезисы докладов Международной конференции,
посвященной 110-летию со дня рождения
академика Владимира Степановича Соболева

Новосибирск, 9-14 июня 2018 г.

THE PROBLEMS OF MAGMATIC AND
METAMORPHIC PETROLOGY, GEODYNAMICS AND
GENESIS OF DIAMONDS

Abstracts of International Conference
dedicated to the 110th anniversary of Academician
Vladimir Stepanovich Sobolev

Novosibirsk, 9-14 June 2018

Технический редактор Т.С. Курганова

Подписано в печать 29.05.2018

Формат 60х84/8. Бумага офсет №1.

Печать офсетная. Гарнитура Таймс

Печ.л. 30,27. Тираж 100. Зак.

ИНГГ СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3