

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ АЛМАЗОНОСНОСТИ ВЕРХНЕТРИАСОВЫХ РОССЫПЕЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЫ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Н.В. Соболев, А.М. Логвинова, Е.И. Николенко, С.С. Лобанов

*Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия*

Представительное опробование алмазоносного базального горизонта карнийского яруса верхнего триаса в пределах северо-восточной окраины Сибирской платформы привело к выявлению широкой серии индикаторных минералов, прежде всего гранатов, составы которых типичны для включений в алмазах данного региона. Особый интерес представляют гранаты вероятного эклогитового парагенезиса, содержащие аномально повышенную примесь MnO (0.5—3.2 мас. %), ранее отмеченную более чем для 20 % гранатов, включенных в алмазы северных четвертичных россыпей и рекомендованных в качестве нового минералогического критерия алмазоносности. Выявлены также субкальциевые Cr-пиропы дунит-гарцбургитового парагенезиса в переменных количествах в семи разных пробах (от 0.7 до 3.9 отн. %), представленные в общей выборке из 973 зерен пиропов лерцолитового и вебстеритового парагенезисов. Три зерна таких пиропов содержат 11.9, 12.6 и 16.0 мас. % Cr₂O₃, что соответствует содержанию 30—34 % кноррингитового (MgCr) компонента и впервые отмечено для изучаемого региона. Хромшпинелиды представляют собой смесь кимберлитов с составами, свойственными щелочно-ультраосновным породам региона. Зафиксировано также устойчивое присутствие в пробах пикроильменитов с переменной примесью Cr₂O₃. Поскольку Mg-Fe-Ca-гранаты с Mg# < 35 могут частично относиться к метаморфическим породам Анабарского щита, дополнительно учитывалась повышенная примесь Na₂O (> 0.09 мас. %). Неравномерное содержание индикаторных минералов в разных пробах и широкие вариации состава гранатов могут быть обусловлены множественным характером коренных источников алмазов. Необходимо продолжение систематического опробования карнийских россыпей с особым вниманием к оценке состава гранатов вероятного эклогитового парагенезиса с повышенным содержанием TiO₂, MnO, CaO и Na₂O, а также поискам перовскита и рутила, содержащего Nb, которые наряду с цирконами представляют интерес для определения изотопного U-Pb возраста возможных коренных источников алмазов — кимберлитов.

Алмаз, эклогитовый гранат, пироп, хромшпинелид, пикроильменит, минералогические критерии алмазоносности.

MINERALOGICAL CRITERIA FOR THE DIAMOND POTENTIAL OF UPPER TRIASSIC PLACERS ON THE NORTHEASTERN MARGIN OF THE SIBERIAN PLATFORM

N.V. Sobolev, A.M. Logvinova, E.I. Nikolenko, and S.S. Lobanov

Representative sampling of a diamond-bearing basal horizon in the Carnian Stage (Upper Triassic) on the northeastern margin of the Siberian Platform revealed a wide spectrum of indicator minerals, first of all, garnets, whose compositions are the same as in the inclusions in the regional diamonds. Of special interest are garnets of presumably eclogite paragenesis with an abnormally high impurity of MnO (0.5–3.2 wt.%), which was earlier detected in more than 20% of garnets present as inclusions in diamonds of northern Quaternary placers and recommended as a new mineralogical criterion for diamond presence. Subcalcic Cr-pyropes of dunite–harzburgite paragenesis were also found in variable amounts in seven samples from 0.7 to 3.9 rel.%, in the total sample of 973 grains of pyropes of lherzolite and websterite parageneses. Three grains contain 11.9, 12.6, and 16 wt.% Cr₂O₃, which corresponds to the presence of 30–34% of Mg–Cr-knorringite component. Such pyropes have been revealed for the first time in the study region. Cr-spinels are a mixture of compositions typical of kimberlites and the regional alkali-ultrabasic rocks. All studied samples contain picroilmenites with a variable content of Cr₂O₃ impurity. Since Mg–Fe–Ca-garnets with Mg# < 35 can be partly hosted in metamorphic rocks of the Anabar Shield, the elevated content of Na₂O impurity (>0.09 wt.%) was also taken into account. The different contents of indicator minerals in the samples might be due to the variable composition of the diamond orebodies. The Carnian placers call for new systematic sampling. Special attention should be given to estimation of the composition of garnets of presumably eclogite paragenesis with elevated contents of TiO₂, MnO, CaO, and Na₂O and to search for perovskite and Nb-containing rutile. These minerals, together with zircons, are of interest for determining the U–Pb isotopic age of probable diamond orebodies — kimberlites.

Diamond, eclogitic garnet, pyrope, Cr-spinel, picroilmenite, mineralogical criteria for diamond potential

ВВЕДЕНИЕ

В пределах Якутской алмазоносной провинции, включающей 25 кимберлитовых полей, содержащих около 1000 кимберлитовых тел (рис. 1), совершенно особое место занимает ее северо-восточная часть, расположенная в наиболее труднодоступной и неосвоенной области Сибирской платформы. Она ограничена с севера побережьем моря Лаптевых, с востока — р. Лена, а в западной части простирается в пределы Анабарского щита до административной границы с Красноярским краем. В этой части Якутской алмазоносной провинции на огромной площади сосредоточено около 70 % всех разведанных и прогнозируемых запасов россыпных алмазов Российской Федерации [Зинчук, Коптиль, 2003; Граханов и др., 2007]. Освоение данных арктических территорий представляется весьма актуальным [Добрецов, Похиленко, 2010].

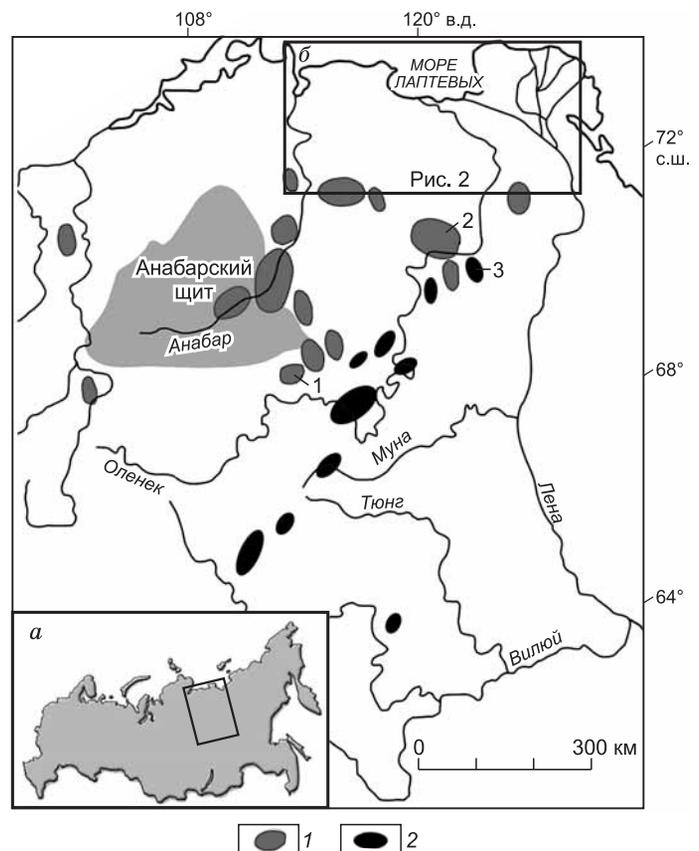
В этой части алмазоносной провинции, именуемой Лено-Анабарской субпровинцией и охватывающей площадь около 400 тыс. км², многократно переотложенные четвертичные россыпи алмазов оторваны друг от друга на сотни километров. О многократном перемешивании алмазов во всех россыпях свидетельствует сходство типоморфных особенностей самих алмазов. Наиболее крупные россыпные месторождения находятся в Анабарском алмазоносном районе [Зинчук, Коптиль, 2003].

В отличие от более южных районов и кимберлитовых полей (Северный полярный круг и южнее), имеющих палеозойский возраст и включающих все известные разрабатываемые коренные месторождения алмазов [Дэвис и др., 1980; Кинни и др., 1997; Агашев и др., 2004], северо-восточная часть провинции характеризуется наличием слабоалмазоносных или пустых кимберлитовых трубок мезозойского возраста, обнаруженных до настоящего времени [Дэвис и др., 1980; Агашев и др., 2004]. Единственным исключением здесь является триасовая кимберлитовая тр. Малокуонапская [Харькив и др., 1998], содержание алмазов в ней приближается к промышленному. Классическим примером неалмазоносной кимберлитовой трубки является тр. Обнаженная, мезозойский (юрский) возраст которой был установлен еще в начальный период изучения кимберлитов Якутии [Милашев, Шульгина, 1959]. Тщательные минералогические исследования трубки не привели к выявлению индикаторов алмазоносности [Соболев, 1974]. Одна из первых палеозойских алмазоносных трубок Ивушка в этом же регионе, перекрытая пермскими отложениями, была обнаружена в 1991 г. Амакинской экспедицией в результате научного прогноза, обоснованного ранее работами ИГиГ СО АН СССР, и доказательства алмазоносности нижнекаменноугольных гравелитов Кютюндинского прогиба [Соболев и др., 1981].

Целью настоящей работы является обобщение результатов опробования базального горизонта карнийского яруса верхнего триаса побережья моря Лаптевых и сопоставление состава гранатов, хромшпинелидов и ильменитов из проб с составами соответствующих минералов из алмазов четвертичных россыпей региона.

Рис. 1. Схема расположения мезозойских (1) и палеозойских (2) кимберлитовых полей в пределах Сибирской платформы, по [Sobolev et al., 1999].

1—3 — показано приблизительное положение кимберлитовых трубок Малокуонапская (1) в пределах Куранахского кимберлитового поля, Обнаженная (2) в пределах Куойкского кимберлитового поля и Ивушка (3) в пределах Толоупского кимберлитового поля. *а* — положение рассматриваемой территории на контурной карте России, *б* — положение рис. 2.



ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗОВ ИЗ РОССЫПЕЙ

Алмазы из северных россыпей отличаются исключительным разнообразием, и именно на их примере разработана общая классификация алмазов [Орлов, 1973]. В этой классификации выделены алмазы V и VII разновидностей, не обнаруженные до настоящего времени в кимберлитах и часто встречаемые только в северных россыпях [Афанасьев и др., 2011]. Широким распространением характеризуются округлые скрытоламинарные додекаэдры, обычно называемые алмазами «уральского» и «бразильского» типов (I разновидность, по [Орлов, 1973]), типичные для россыпей Урала и Бразилии [Кухаренко, 1955]. В среднем указанные разновидности присутствуют примерно в равных соотношениях в рассматриваемых россыпях.

Кроме морфологических особенностей, являющихся очень важным диагностическим признаком алмазов из кимберлитов и россыпей, позволяющим выявить значимые различия алмазов из разных кимберлитовых полей и трубок [Орлов, 1973], исключительное значение имеют исследования физических свойств алмаза, в особенности изотопного состава углерода [Соболев и др., 1979], а также оценка распространенности минеральных включений в алмазах [Ефимова, Соболев, 1977] и изучение их химического состава. Уже на ранних этапах таких исследований был сделан важный вывод о четкой связи образования кимберлитовых и россыпных алмазов с двумя главными геохимическими (геологическими) типами субстрата верхней мантии на глубинах, превышающих 120—150 км: ультраосновного (перидотитового) — У (П)-тип и эклогитового — Э-тип [Соболев и др., 1969б; Meyer, Boyd, 1972; Соболев, 1974]. Правомерность выделения этих главных типов подтверждена как многочисленными находками ксенолитов алмазоносных перидотитов и эклогитов в кимберлитах различных регионов земного шара, включая самые ранние находки в пределах Якутской кимберлитовой провинции [Бобриевич и др., 1959; Соболев, 1960; Соболев и др., 1969а, 1972], так и первичных (сингенетических) включений в алмазах. Для У-типа это высокомагнезиальные минералы, такие как оливин, энстатит, хромдиопсид, высокохромистые пироп и хромшпинелид, а также флогопит [Соболев и др., 2009б]. Для Э-типа это Fe-Mg гранаты с переменным содержанием Са и с примесью Na, являющейся индикатором сверхвысоких давлений [Sobolev, Lavrent'ev, 1971], омфацит, рутил, ильменит, коэсит, санидин, корунд, кианит, биотит. Промежуточный тип — вебстеритовый (пироксенитовый). Классификация главных типов парагенезисов природных алмазов выдержала проверку временем и в настоящее время практически общепринята [Shirey et al., 2013].

Соотношение выделенных типов варьирует для алмазов кимберлитовых полей и трубок различных алмазоносных провинций земного шара, но в общем случае У-тип парагенезиса алмазов существенно преобладает над Э-типом, в особенности для кимберлитов Якутии [Ефимова, Соболев, 1977; Meyer, 1987]. Для алмазов размерностью 1—4 мм, которые являются наиболее распространенными и типичными в кимберлитах, У-тип парагенезиса выявлен для коренных месторождений Якутии почти в 99 % алмазов, содержащих сингенетические включения. Такое же соотношение подтверждается и результатами изотопного состава углерода алмазов, с «утяжеленными» значениями $\delta^{13}\text{C}$ в пределах 2—8 ‰ для абсолютного большинства алмазов У-типа и с «облегченными» значениями в пределах 8—34 ‰ для большинства алмазов Э-типа [Соболев и др., 1979; Cartigny, 2005; Shirey et al., 2013]. Этот метод имеет большое значение для диагностики вероятного парагенезиса (У- или Э-тип) для алмазов, не содержащих минеральных включений [Соболев и др., 1979; Галимов, 1984], а также для поисков коренных месторождений алмазов непосредственно по ореолам распространения самих алмазов.

Систематические многолетние исследования изотопного состава и минеральных включений алмазов из россыпей северо-восточной части Сибирской платформы позволили сделать однозначный вывод о значимых отличиях от алмазов всех известных разрабатываемых коренных месторождений алмазов Якутии [Соболев, 2006]. Особенно здесь следует подчеркнуть роль алмазов, содержащих в виде включений парагенезис коэситовых эклогитов, представленный как ассоциацией коэсита, магнезиально-железистого граната и омфацита в ряде алмазов [Соболев и др., 1976], так и многочисленными изолированными включениями коэсита, а также вторичного кварца, образовавшегося в результате фазового перехода коэсит—кварц при понижении давления в трещиноватых алмазах [Sobolev et al., 1999]. Особая роль коэситсодержащих парагенезисов включений в алмазах северо-востока Сибирской платформы [Соболев, 2006] сопоставима только с аналогичной ролью коэсита в алмазах из кимберлитов Венесуэлы [Sobolev et al., 1998], а также в алмазах из россыпей Северного Урала [Laiginhas, 2008], в которых алмазы Э-типа парагенезиса в общем преобладают над алмазами У-типа [Соболев и др., 1971; Соболев, 1974]. Последние не отличаются от соответствующих алмазов кимберлитов как по составу включений пиропов, хромшпинелидов, пироксенов, так и оливинов, детально изученных для представительной серии образцов [Sobolev et al., 1999; 2009; Laiginhas, 2008].

Особое значение для реконструкции парагенезиса необычных волокнистых алмазов V и VII разновидностей, установленных в значительных количествах только в россыпях [Зинчук, Коптиль, 2003], имеют находки в них включений коэсита [Рагозин и др., 2002], а также серии других минеральных мик-

ровключений, в частности, гранатов Э-типа, жадеитовых клинопироксенов и рутила [Рагозин и др., 2009]. Подтверждением экзогенного парагенезиса этих алмазов является также «облегченный» изотопный состав углерода [Рагозин и др., 2009], аналогичный установленному ранее для серии россыпных алмазов, содержащих полный (гранат, омфациит, коэсит) парагенезис коэситовых эклогитов [Соболев и др., 1976, 1979].

Важную информацию о составе алмазообразующей среды содержат субмикроскопические минеральные и флюидные включения в волокнистых алмазах и алмазах I разновидности рассматриваемых россыпей. Спектр редких элементов в микровключениях в целом соответствует кимберлитам и карбонатам. Что касается главных элементов, то включения существенно обогащены К и Na [Зедгенизов и др., 2011]. Исследования включений методами аналитической (АЕМ) и просвечивающей (ТЕМ) электронной микроскопии показали присутствие Mg-карбонатитовых наноразмерных включений в алмазах I разновидности [Орлов, 1973], представленных магнезитом, доломитом, Fe-шпинелью и клиногумитом с высокими концентрациями К, Сl и О во флюидной фазе [Логвинова и др., 2011]. Подобные включения отмечены в алмазах из якутских кимберлитов [Logvinova et al., 2008; Klein-BenDavid et al., 2009]. В алмазах V разновидности зафиксированы преимущественно Ba, Sr, Ca, Fe-карбонаты, К, Ва-фосфаты [Логвинова и др., 2011]. Особенностью алмазов V разновидности также является присутствие включений CO₂, N₂, CH₄ [Чепуров и др., 1994; Томиленко и др., 2001]. Близость состава флюидных включений россыпных алмазов и ряда алмазов из якутских кимберлитов показана и в других новейших работах [Скузатов и др., 2011, 2012], что подтверждает важную роль высококальциевых флюидов (расплавов) в процессе алмазообразования в верхней мантии [Pal'yanov et al., 2007] и свидетельствует о кимберлитовом источнике россыпных алмазов.

ОБРАЗЦЫ

Материалом для настоящего исследования послужили гранаты, хромшпинелиды и пикроильмениты, выделенные при опробовании базального горизонта карнийского яруса верхнего триаса нескольких участков побережья моря Лаптевых и низовьев р. Лена во время совместных экспедиционных работ ИГМ СО РАН и СНИИГГиМСа в 2010 г. Указанный горизонт является здесь наиболее древним мезозойским коллектором алмазов в пределах северо-восточной окраины Сибирской платформы. Алмазоносность данного горизонта была установлена в 1979 г. геологами НПО «Аэрогеология» на о. Таас-Ары. Дальнейшее изучение триасового коллектора показало его широкое площадное распространение от низовьев р. Лена до м. Цветкова на Восточном Таймыре [Граханов, Коптиль, 2003; Граханов, Ядренкин, 2007; Граханов и др., 2009, 2010а,б]. Среди вероятных минералов-индикаторов кимберлитов здесь упоминаются также хромдиопсид, циркон и оливин [Граханов, Коптиль, 2003; Граханов, Ядренкин, 2007]. В настоящей работе суммированы данные по семи представительным пробам. Расстояние между дальними точками опробования (м. Тумул и р. Улахан-Алдырхай, пробы 3и/10-8 и 3е/10-17) достигает порядка 300 км, однако некоторые точки находятся в непосредственной близости друг от друга (рис. 2). Объем проб колебался от 30 до 100 л, за исключением двух проб — 3и/10-8 и 1и/10-23, объемом 500 и 1000 л соответственно. Мощность опробованного продуктивного горизонта не превышала 5—10 см, редко достигая в раздувах 15—30 см.

МЕТОДЫ

Составы гранатов, хромшпинелидов и ильменитов определены с помощью рентгеновского микроанализатора с электронным зондом JEOL 8100 при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда на образце 30 нА. В качестве эталонов использовались MgO, Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃, NiO, рутил (TiO₂), чистый диопсид, пироп, Mn-гранат, альбит и калишпат. Относительное стандартное отклонение измерений менее 1 % [Королюк и др., 2008]. Часть анализов выполнена с помощью сканирующего микроскопа TESCAN MIRA 3 LMU с EDS SDD детектором Inca Energy 450+ (Oxford Instruments). Концентрации ZnO и NiO в хромшпинелидах определены при ускоряющем напряжении 25 кВ, токе зонда около 100 нА (максимальный стабилизирующий ток), время измерения 100 с. В качестве стандартов использованы синтетические монокристаллы ZnFe₂O₄ (на Zn) и NiFe₂O₄ (на Ni) [Лаврентьев и др., 2005].

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ АЛМАЗОНОСНОСТИ РОССЫПЕЙ

Повышенная примесь MnO (> 0.5 мас. %) в гранатах Э-типа парагенезиса как новый минералогический критерий алмазоносности. Анализ особенностей состава более 1000 включений гранатов Э-типа парагенезиса в алмазах кимберлитов и россыпей различных регионов земного шара выявил, что в 95 % всех образцов содержание примеси MnO не превышает 0.5 мас. % с устойчивым содержанием в пределах 0.2—0.4 мас. % и только в 5 % образцов достигает 1 мас. % и выше, вплоть до уникально-

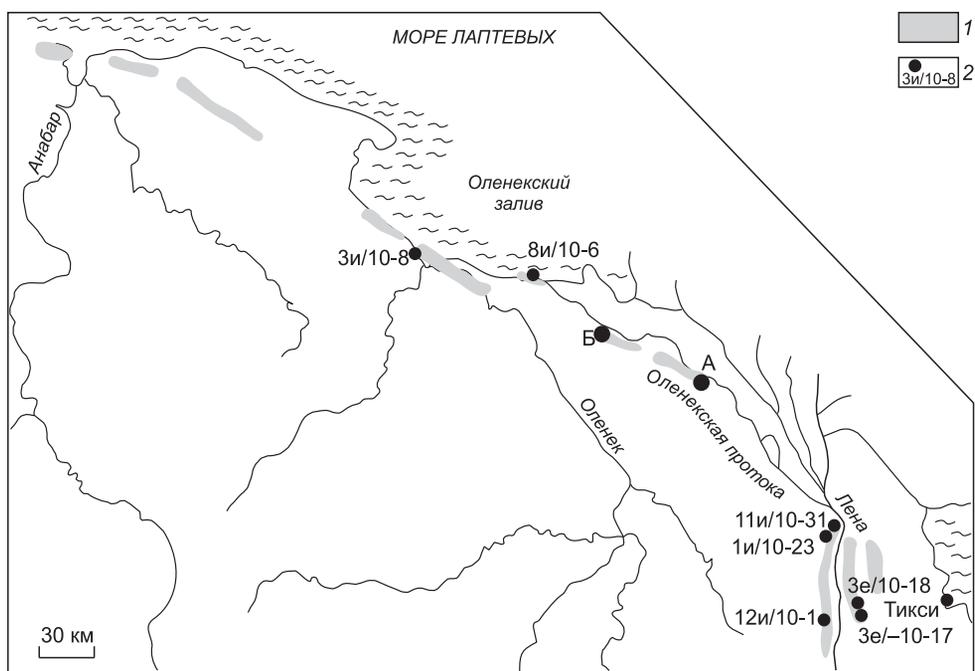


Рис. 2. Схема расположения точек опробования алмазоносного базального горизонта карнийского яруса (T_3) на северо-востоке Сибирской платформы.

1 — обнажения базального горизонта карнийского яруса [Граханов и др., 2009]; 2 — точки опробования базального горизонта карнийского яруса во время совместных экспедиционных работ ИГМ СО РАН и СНИИГТиМСа в 2010 г. А, Б — местоположение участков опробования верхнетриасовых пород на левобережье Оленекской протоки: А — руч. Улахан-Юрях, Б — руч. Тас-Крест-Юряге, по [Проскурнин и др., 2012].

высоких, совершенно не типичных для эклогитов — 6.87 мас. % [Sobolev et al., 1999; Соболев и др., 2013]. В кимберлитовых алмазах примесь $MnO > 0.5$ мас. % зафиксирована в среднем только в 1—3 % включений эклогитовых гранатов, достигая максимума (0.7—1.6 мас. %) в 12 из 16 изученных образцов тр. Финш, ЮАР [Appleyard et al., 2004]. Однако в некоторых алмазоносных кимберлитах Северной Канады [De Stefano et al., 2009] такие обогащенные Mn-гранаты вообще не обнаружены среди 38 изученных включений в алмазах. Содержание MnO в них колеблется от 0.29 до 0.49 мас. %, (среднее 0.37). Повышенные содержания MnO также не обнаружены и при исследовании состава 69 включений эклогитовых гранатов из алмазов россыпей Северного Урала [Laignhas, 2008]. Исключением являются только алмазы из россыпей северо-востока Сибирской платформы, в которых выявлено более 20 % гранатов с содержанием от 0.50 до 6.87 мас. % MnO на основании изучения состава 100 включений [Sobolev et al., 1999; Соболев и др., 2013]. Такое количество образцов, безусловно, следует считать представительным. Необычный состав эклогитовых гранатов, включенных в алмазы россыпей Сибирской платформы, является наряду с облегченным изотопным составом углерода и распространенностью коэсита дополнительным подтверждением участия в мантийном алмазообразовании рециклированной земной коры [Соболев, Соболев, 1980].

Несмотря на исключительную редкость включений эклогитовых гранатов с повышенной примесью $MnO (> 0.5$ мас. %) в алмазах из абсолютного большинства коренных месторождений алмазов (кимберлитов), нами с учетом аномально высокого содержания таких гранатов (более 20 отн. %) в алмазах четвертичных россыпей Якутии [Sobolev et al., 1999; Соболев и др., 2013] предпринята попытка поисков соответствующих гранатов при обработке результатов опробования россыпей карнийского яруса [Nikolenko, Lobanov, 2012]. В общей сложности среди Mg-Fe-Ca-гранатов выделены после микронзондового анализа 158 зерен, удовлетворяющих по особенностям состава требованиям, предъявляемым гранатам вероятного эклогитового парагенезиса (рис. 3). Такие гранаты распределены неравномерно в различных пробах, а еще более неравномерно распределены 69 зерен (43 отн. %) с содержанием MnO от 0.5 до 3.2 мас. % (рис. 4). Наиболее высокое содержание отмечено в пробах 1и/10-23 и 3и/10-8. Дополнительно нами оценивалось присутствие гранатов Э-типа с повышенным содержанием $Na_2O > 0.09$ мас. % [Sobolev, Lavrent'ev, 1971], достигающим 0.21 мас. % (табл. 1). Следует подчеркнуть, что часть таких гранатов, в основном с $Mg\# < 35$, может быть связана с двупироксеновыми гранулитами и эклогитоподобны-

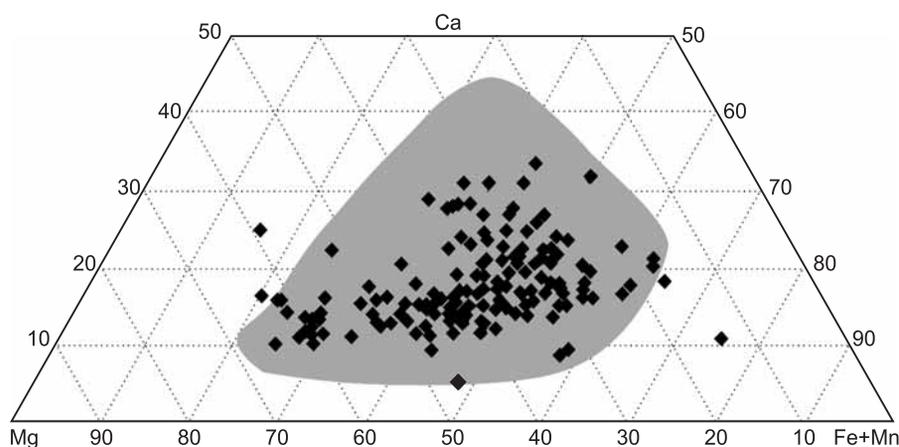


Рис. 3. Эклогитовые гранаты из базальных отложений карнийского яруса в координатах Ca—Mg—(Fe + Mn), at. %.

Серое поле отражает состав гранатов эклогитового парагенезиса, согласно данным [Соболев, 1974; Sobolev et al., 1999; Соболев и др., 2013].

ми породами, а также с некоторыми породами амфиболитовой фации Анабарского щита [Вишнеvский, 1978; Лутц, Оксман, 1990] (А.П. Смелов, устное сообщение). В табл. 1 к таким составам могут относиться анализы 16 и 18.

Пиропы характеризуются серией составов, типичных для кимберлитов всех известных регионов (рис. 5, 6). Доказательством алмазности потенциальных кимберлитов является присутствие во всех семи изученных пробах в общей сложности 19 зерен субкальциевых высокохромистых пиропов, содержащих переменную примесь кноррингитового компонента и относящихся к дунит-гарцбургитовому парагенезису [Соболев и др., 1969б; Sobolev et al., 1973]. Наиболее высокохромистые пиропы с содержанием до 34 % кноррингита в количестве четырех зерен выявлены только в одной пробе 3и/10-8, м. Тумул. Эти зерна включают совершенно уникальный состав с содержанием более 30 % кноррингита (табл. 2, анализ 19), что не только впервые установлено при опробовании базальных горизонтов в Якутии, но и представляет собой большую редкость в качестве включения в алмазах [Logvinova et al., 2005] и независимое свидетельство сверхвысокого давления образования такого граната [Туркин, Соболев, 2009]. Следует подчеркнуть, что высокохромистые пиропы с таким уникально-высоким содержанием Cr_2O_3 не были обнаружены даже в концентратах высокоалмазных кимберлитовых трубок Якутии [Griffin et al., 1993]. Дополнительным доказательством возможного присутствия особо глубинного материала в россыпях и вероятных кимберлитах рассматриваемого региона является находка в четвертичных россыпях алмазов, содержащих включения мейджоритовых гранатов как гарцбургитового, так и эклогитового парагенезисов [Шацкий и др., 2010].

Непрерывный характер серии составов пиропов лерцолитового и вебстеритового парагенезисов по соотношению примесей CaO и Cr_2O_3 (см. рис. 5, 6) свидетельствует об отсутствии признаков химического выветривания и механического износа для данной выборки [Афанасьев и др., 2008]. Рассмотрение представительных составов (табл. 3) свидетельствует об идентичности ряда зерен пиропам мегакристовой серии с повышенным содержанием TiO_2 (см. табл. 3, анализы 2, 3, 10), а также пиропам типичных ксенолитов вебстеритов, пироксенитов и зернистых перидотитов [Соболев, 1974]. Наиболее высокохромистые пиропы лерцолитового парагенезиса по повы-

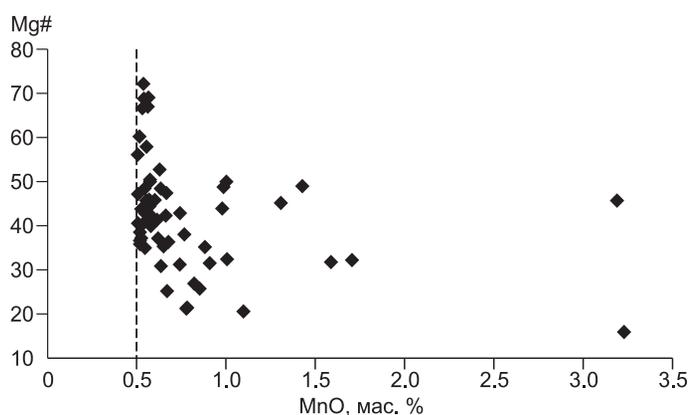


Рис. 4. Зависимость Mg# от содержания MnO для гранатов ($\text{MnO} > 0.5$ мас. %) вероятного эклогитового парагенезиса из базальных отложений карнийского яруса (T_3).

Таблица 1. Представительные анализы гранатов вероятного элютивного парагенезиса из базального горизонта карнийского яруса (Г₃)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
SiO ₂ , мас. %	41.00	39.79	39.14	39.56	38.98	40.72	39.37	39.68	39.91	40.35	41.30	38.92	39.26	40.13	39.23	37.67	39.51	38.70	39.77	39.78	39.50
TiO ₂	0.96	0.18	0.06	0.03	0.11	0.51	0.05	0.23	0.18	0.06	0.63	0.28	0.07	0.30	0.28	0.01	0.29	0.03	0.08	0.11	0.09
Al ₂ O ₃	20.80	22.06	21.49	21.77	21.47	22.26	22.02	21.73	21.79	22.12	21.15	21.40	21.50	21.99	21.65	20.86	21.81	20.82	22.52	21.62	21.76
Cr ₂ O ₃	0.00	0.02	0.03	0.06	0.07	0.07	0.04	0.03	0.04	0.06	0.13	0.03	0.06	0.04	0.03	0.03	0.05	0.00	0.12	0.04	0.12
FeO	13.98	15.74	21.61	21.29	19.44	15.91	22.66	16.96	17.80	19.20	14.40	20.03	19.25	18.97	17.51	30.96	20.08	25.06	20.65	22.21	21.06
MnO	0.46	0.31	0.57	0.56	0.57	0.45	0.77	0.39	1.31	1.00	0.53	0.42	3.20	1.42	0.98	3.24	0.40	1.58	0.98	0.66	0.74
MgO	17.25	10.42	8.22	8.88	11.45	13.72	8.14	9.01	8.88	11.27	16.74	7.87	10.68	11.03	8.12	3.67	7.97	7.02	11.54	9.51	9.18
CaO	4.50	10.83	8.43	7.12	5.26	6.24	7.71	11.50	10.07	6.14	4.62	10.27	4.84	6.45	11.59	3.82	9.94	6.51	4.88	6.71	7.99
Na ₂ O	0.14	0.10	0.09	0.05	0.04	0.21	0.02	0.12	0.07	0.03	0.11	0.16	0.05	0.14	0.15	0.04	0.16	0.01	0.04	0.06	0.04
Сумма	99.10	99.46	99.64	99.31	97.38	100.08	100.78	99.66	100.03	100.23	99.59	99.38	98.90	100.46	99.56	100.30	100.21	99.74	100.59	100.48	100.48
Mg#	68.0	53.6	39.8	42.0	50.5	59.9	38.2	48.1	45.3	49.8	66.6	40.7	45.8	49.0	43.9	16.0	40.9	31.9	48.7	43.70	43.70
Ca#	11.3	28.6	22.7	19.5	14.3	16.4	20.7	30.6	27.0	16.3	11.7	27.6	13.0	17.1	31.1	10.7	26.9	17.6	12.9	21.50	21.50

Примечание. 1—5 — р. Булкур, приток р. Лена, пр. 1и/10-23; 6, 7 — р. Улахан-Алдырхай, приток р. Лена: 6 — пр. 3е/10-17, 7 — пр. 3е/10-18; 8—11 — море Лаптевых, м. Тумул, пр. 3и/10-8; 12, 13, 16—21 — море Лаптевых, м. Ыстанах-Хочо пр. 8и/10-6; 14 — о. Таас-Ары, р. Лена, пр. 1и/10-31; 15 — р. Хатыстах, приток р. Лена, пр. 12и/10-1. Mg# = [100Mg/(Mg + Fe + Mn)], Ca# = [100Ca/(Ca + Mg + Fe + Mn)].

Таблица 2. Состав высокохромистых субкальциевых пиропов из базального горизонта карнийского яруса (Г₃)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SiO ₂ , мас. %	42.53	42.43	42.60	42.14	41.59	42.00	42.06	41.54	41.21	41.49	41.73	41.44	41.71	40.78	40.50	41.43	41.50	40.91	40.35
TiO ₂	0.06	0.02	0.08	0.03	0.14	0.04	0.03	0.10	0.31	0.04	0.15	0.00	0.02	0.86	0.42	0.31	0.02	0.01	0.07
Al ₂ O ₃	20.04	19.70	19.86	18.51	17.63	17.57	17.91	17.51	16.89	16.50	16.38	15.84	16.14	14.79	14.48	14.62	14.59	14.07	11.35
Cr ₂ O ₃	5.03	5.16	5.28	6.83	7.60	7.81	8.04	8.17	8.26	9.10	9.21	9.27	10.19	10.31	10.94	11.60	11.88	12.59	16.04
FeO	5.20	5.97	5.96	5.61	6.56	5.51	6.46	6.20	5.96	6.36	6.88	6.46	6.30	6.27	7.21	6.29	6.24	6.67	6.17
MnO	0.25	0.26	0.32	0.29	0.36	0.24	0.36	0.30	0.30	0.33	0.36	0.31	0.29	0.33	0.41	0.28	0.32	0.37	0.42
MgO	23.65	23.84	23.15	24.41	21.35	23.22	23.95	21.32	21.48	21.22	21.51	22.31	22.12	20.51	19.30	20.66	22.76	21.31	19.30
CaO	3.23	2.26	3.26	1.34	4.22	3.32	1.29	4.43	4.76	4.74	3.73	3.01	3.47	5.08	5.74	5.65	2.17	3.64	5.92
Na ₂ O	0.03	0.01	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.02	0.06	0.02	0.06	0.00	0.02	0.08	0.06	0.04	0.01	0.02	0.03
Сумма	100.00	99.65	100.54	99.18	99.48	99.73	100.13	99.59	99.23	99.80	99.99	98.63	100.27	98.99	99.07	100.87	99.48	99.60	99.65
Mg#	88.6	87.2	86.8	88.1	84.6	87.8	86.2	85.4	85.9	85.0	84.1	85.4	85.7	84.7	81.9	84.9	86.1	84.3	83.9
Ca#	8.00	5.60	8.08	3.36	10.74	8.27	3.23	11.31	12.04	12.01	9.49	7.66	8.81	13.11	14.90	14.30	5.57	9.39	15.62
Кн, мол. %	8.30	11.80	9.00	18.50	13.70	17.20	21.30	13.80	15.10	17.10	20.20	23.80	22.30	22.10	21.10	22.70	31.60	29.30	34.00

Примечание. 4, 7, 9, 14, 17 — р. Булкур, приток р. Лена, пр. 1и/10-23; 2, 6, 11, 12 — р. Улахан-Алдырхай, приток р. Лена: 2, 11, 12 — пр. 3е/10-18, 6 — пр. 3е/10-17; 3, 16 — р. Хатыстах, приток р. Лена, пр. 12и/10-1; 1, 10, 13, 18, 19 — море Лаптевых, м. Тумул, пр. 3и/10-8; 5, 8 — море Лаптевых, м. Ыстанах-Хочо, пр. 8и/10-6; 15 — о. Таас-Ары, р. Лена, пр. 1и/10-31. Кн — содержание кноррингитового (MgCr) компонента в пиропе.

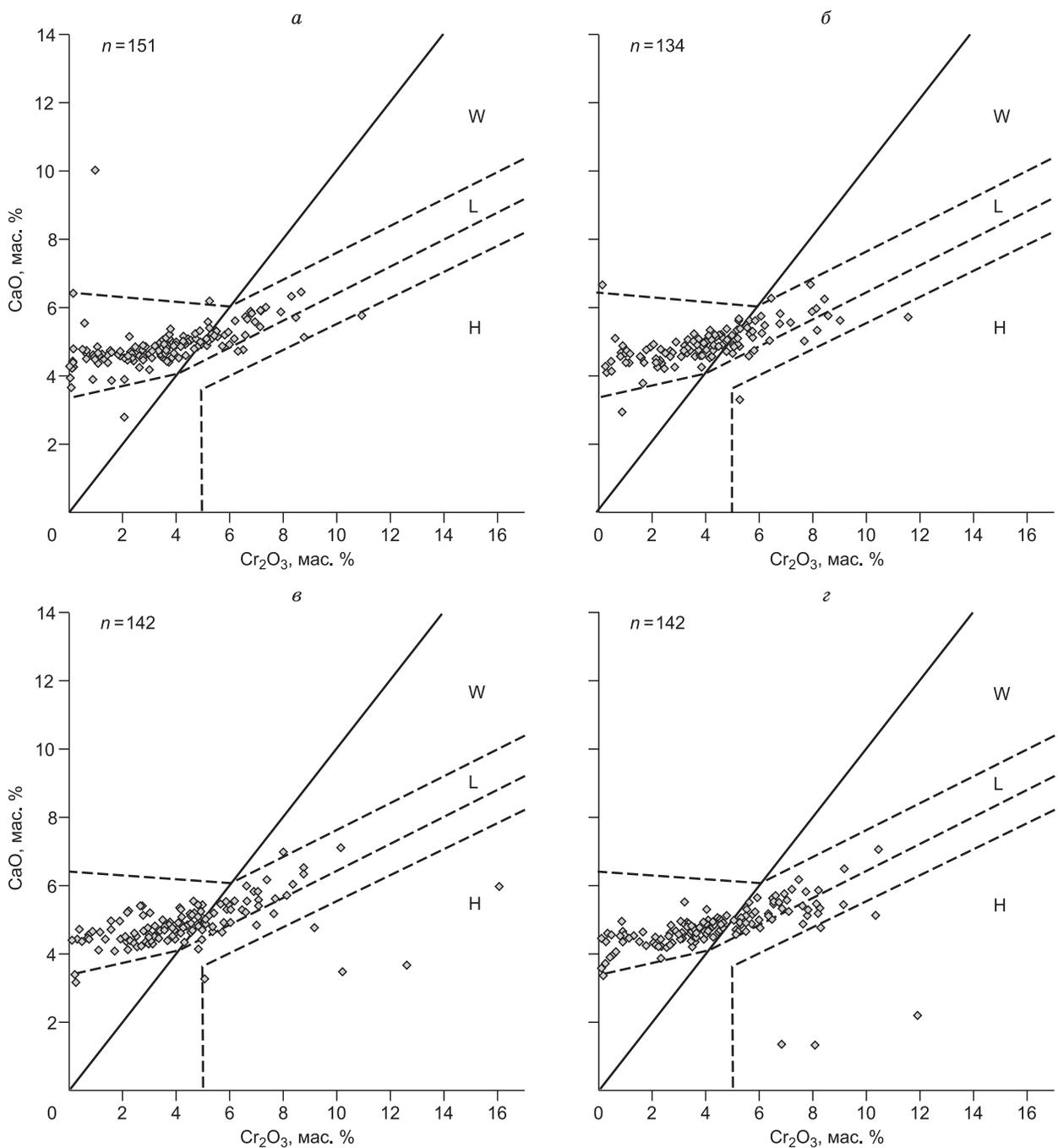


Рис. 5. Соотношение содержания Cr_2O_3 и CaO в пиропе из четырех проб базального горизонта карнийского яруса (T_3).

а — пр. 11и/10-31, о. Таас-Ары, р. Лена; *б* — пр. 12и/10-1, р. Хатыстах, приток р. Лена; *в* — пр. 3и/10-8, м. Тумул, море Лаптевых; *з* — пр. 1и/10-23, р. Булкур, приток р. Лена. Парагенезисы пиропов: H — гарцбургит-дунитовый, L — лерцолитовый, W — верлитовый, по [Соболев и др., 1969; Sobolev et al., 1973].

шенной примеси TiO_2 близки к гранатам из катаклазированных (деформированных) перидотитов (см. табл. 3, анализы 6—9, 13, 14, 16, 17). Некоторые составы (см. табл. 3, ан. 9, 16) с содержанием более 20 % кноррингита, находящиеся вне области лерцолитовых гранатов по соотношению Cr_2O_3 и CaO , могут быть также связаны с алмазонасностью. Единственным отличием от пиропов из кимберлитов палеозойского возраста [Sobolev et al., 1973] является почти полное отсутствие в рассматриваемой выборке пиропов верлитового парагенезиса. Анализ единственного зерна такого граната представлен в табл. 3 (ан. 11). Полученные в настоящей работе данные в общем удовлетворительно воспроизводят результаты

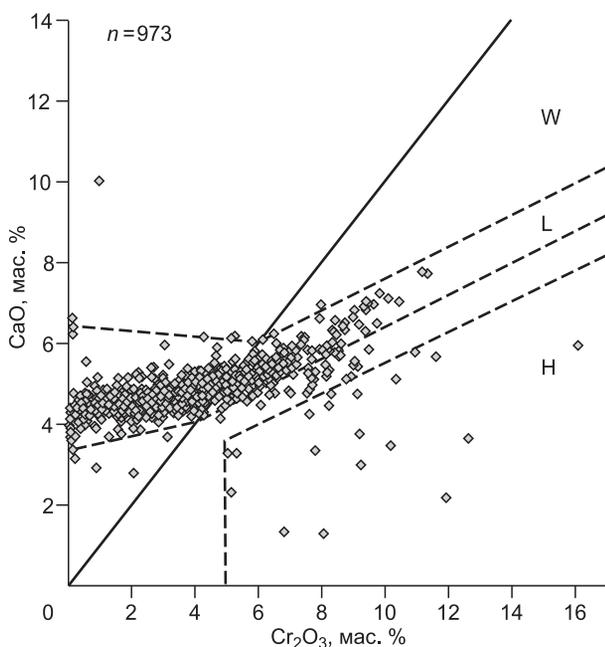


Рис. 6. Соотношение содержания Cr_2O_3 и CaO в пиропсах из семи рассматриваемых проб базального горизонта карнийского яруса (T_3).

Усл. обозн. см. на рис. 5.

предыдущих исследований по изучению состава пиропов базального горизонта карнийского яруса как по общим особенностям непрерывного характера соотношения примесей CaO и Cr_2O_3 , так и по наличию пиропов дунит-гарцбургитового парагенезиса в каждой пробе [Граханов, Коптиль, 2003; Граханов, Ядренкин, 2007; Граханов и др., 2009, 2010а,б]. Суммируя все новые и опубликованные ранее данные по составу пиропов из верхнетриасовых россыпей, можно сделать вывод, что в разных пробах базального горизонта карнийского яруса изучено в общей сложности около 3000 зерен пиропса, среди которых более 50 могут рассматриваться в качестве прямых индикаторов алмазоносности.

Хромшпинелиды представлены широкой серией составов как по соотношению содержания Al_2O_3 и Cr_2O_3 , так и по содержанию MgO и TiO_2 (см. рис. 7, табл. 4). Ряд составов, в особенности с низким содержанием Al_2O_3 и переменным вплоть до высокого содержанием TiO_2 , соответствует хромшпинелидам Гулинского плутона [Васильев, Золотухин, 1975; Соболев, 1978; Васильев, 1983; Соболев, Слущкий, 1984; Arndt et al., 1995; Васильев, Гора, 2012]. Составы некоторых типичных хромшпинелидов из меймечитов Гулинского плутона представлены на рис. 7 [Соболев, 1978]. Широкие вариации состава по соотношению Cr_2O_3 и Al_2O_3 вплоть до выявления хромитов «алмазной ассоциации» характерны для хромшпинелидов из калиевых щелочных вулканитов в северной части Оленекского поднятия Сибирской платформы [Шпунт, Шамшина, 1989]. Следует особо подчеркнуть, что высокая хромистость шпинелидов может рассматриваться в качестве критерия алмазоносности только в ассоциации с пиропом [Соболев, 1974; Дорошев и др., 1997].

Близость состава хромшпинелидов из кимберлитов [Соболев и др., 1975] и различных ультраосновных пород [Соболев, 1974] осложняет оценку их относительной роли в материалах опробования. Дополнительной информацией о температуре образования хромшпинелидов в случае их парагенезиса с гранатом являются содержания ZnO и NiO , определенные ранее для представительных проб хромшпинелидов из концентратов из кимберлитов и включений в алмазах ЮАР и

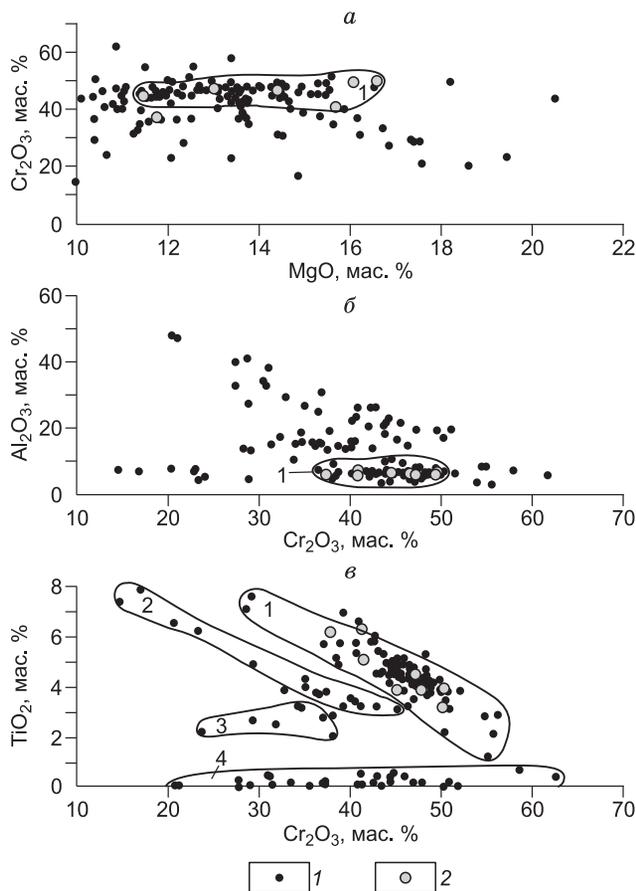


Рис. 7. Особенности состава хромшпинелидов из базального горизонта карнийского яруса (T_3).

1 — новые данные, 2 — из парагенезиса вкрапленников меймечитов Гулинского плутона, по [Соболев, 1978].

Соотношение содержания MgO и Cr_2O_3 (а); Cr_2O_3 и Al_2O_3 (б); Cr_2O_3 и TiO_2 (в). Тренды закономерного изменения состава хромшпинелидов (1—4) обведены сплошными линиями. Тренд 1 включает составы хромшпинелидов Гулинского плутона; 2—4 — составы, возможные для кимберлитов, в том числе тренд 4 — составы, вероятные для алмазоносных кимберлитов. Общее количество представленных анализов 172.

Таблица 3. Представительные составы пиропов лерцолитового и вебстеритового парагенезисов из базального горизонта карнийского яруса (Т₃)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
SiO ₂ , мас. %	41.05	41.65	41.58	40.99	40.85	41.67	41.43	42.20	41.04	41.26	41.59	40.98	41.16	41.50	41.01	40.72	40.28
TiO ₂	0.06	1.22	0.70	0.05	0.03	1.00	0.76	0.98	0.50	1.28	0.52	1.15	0.64	1.21	0.10	0.36	1.57
Al ₂ O ₃	17.01	19.52	21.55	15.91	15.31	18.86	17.43	20.32	16.38	20.35	21.18	17.49	16.48	17.57	15.48	13.26	14.78
Cr ₂ O ₃	8.34	2.30	0.57	9.49	10.10	4.20	7.04	1.56	8.91	0.45	0.95	5.23	8.17	5.60	9.83	11.30	8.44
FeO	7.37	10.64	11.95	6.59	6.88	7.59	7.30	8.88	7.39	11.80	7.86	10.07	6.51	7.61	6.38	7.06	9.42
MnO	0.46	0.34	0.48	0.34	0.34	0.29	0.38	0.28	0.35	0.37	0.33	0.37	0.32	0.29	0.31	0.33	0.40
MgO	18.59	19.30	17.67	19.85	19.15	20.95	19.96	21.18	20.02	18.88	17.17	18.90	20.35	20.13	18.98	18.07	18.74
CaO	6.32	4.68	5.52	5.81	7.08	5.07	5.55	4.66	5.18	4.70	9.98	5.37	5.84	5.46	7.23	7.70	6.17
Na ₂ O	0.04	0.15	0.12	0.03	0.04	0.10	0.11	0.08	0.06	0.10	0.04	0.12	0.10	0.11	0.02	0.01	0.13
Сумма	99.23	99.81	100.13	99.05	99.78	99.73	99.97	100.15	99.83	99.20	99.62	99.67	99.56	99.47	99.34	98.80	99.93
Mg#	80.9	75.8	71.7	83.6	82.5	82.6	82.2	80.5	82.2	73.4	78.9	76.3	84.2	82.0	83.5	81.3	77.3
Ca#	16.5	11.7	13.9	15.0	18.0	12.6	14.1	11.3	13.3	11.6	24.8	13.5	14.8	13.8	18.6	20.0	15.5
Кн, мол. %	9.50	3.80	—	15.60	15.00	6.53	10.60	2.30	15.80	—	—	9.90	13.60	10.00	13.60	20.50	18.90

Примечание. Пояснения см. в тексте.

Таблица 4. Представительные анализы хромшпинелидов из базального горизонта карнийского яруса (Т₃)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TiO ₂ , мас. %	4.61	5.12	4.64	4.22	3.54	1.81	5.71	0.69	0.01	3.78
Al ₂ O ₃	6.53	8.30	9.27	6.44	14.87	18.34	6.86	6.85	25.46	6.28
Cr ₂ O ₃	46.46	48.12	38.80	47.70	40.46	42.25	36.84	58.14	42.69	51.30
FeO*	26.44	20.28	35.86	26.27	25.99	17.18	32.36	19.82	16.70	21.53
MnO	0.19	0.27	0.22	0.21	0.15	0.38	0.18	0.15	0.26	0.11
MgO	14.65	16.57	9.84	14.21	11.81	19.22	16.65	13.46	13.49	15.74
NiO	0.305	0.309	0.228	0.289	0.278	0.219	0.362	0.164	0.059	0.277
ZnO	0.045	0.055	0.070	0.045	0.042	0.078	0.035	0.036	0.239	0.040
Сумма	99.21	99.02	98.92	99.38	97.14	99.46	98.99	99.32	98.90	99.06

Примечание. 1—10 — р. Улахан-Алдырхай, приток р. Лена, пр. 3е/10-18.

* Суммарное железо представлено в виде FeO.

Таблица 5. Представительные анализы пикроильменитов из базального горизонта карнийского яруса (Т₃)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cr ₂ O ₃ , мас. %	1.45	1.04	0.37	0.58	2.05	1.74	0.76	0.69	0.60	0.57	0.13	2.90
MgO	2.42	3.64	4.07	4.81	5.11	6.25	6.97	7.25	8.02	9.04	10.93	12.35
Al ₂ O ₃	0.07	0.18	0.17	0.04	0.14	0.09	0.22	0.08	0.18	0.53	0.55	0.47
TiO ₂	31.69	36.73	40.17	44.84	42.22	45.33	46.86	46.56	49.47	49.92	52.88	52.87
FeO*	63.23	57.81	54.75	49.28	50.04	45.95	44.85	45.27	41.40	39.71	35.29	31.06
MnO	0.14	0.19	0.16	0.30	0.30	0.29	0.29	0.23	0.28	0.26	0.27	0.28
NiO	0.04	0.04	0.02	0.03	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06	0.08	0.08	0.23
Сумма	99.05	99.63	99.71	99.89	99.91	99.71	100.01	100.14	100.01	100.11	100.13	100.16

Примечание. 1—12 — р. Хатыстах, приток р. Лена, пр. 12и/10-1.

* Суммарное железо представлено в виде FeO.

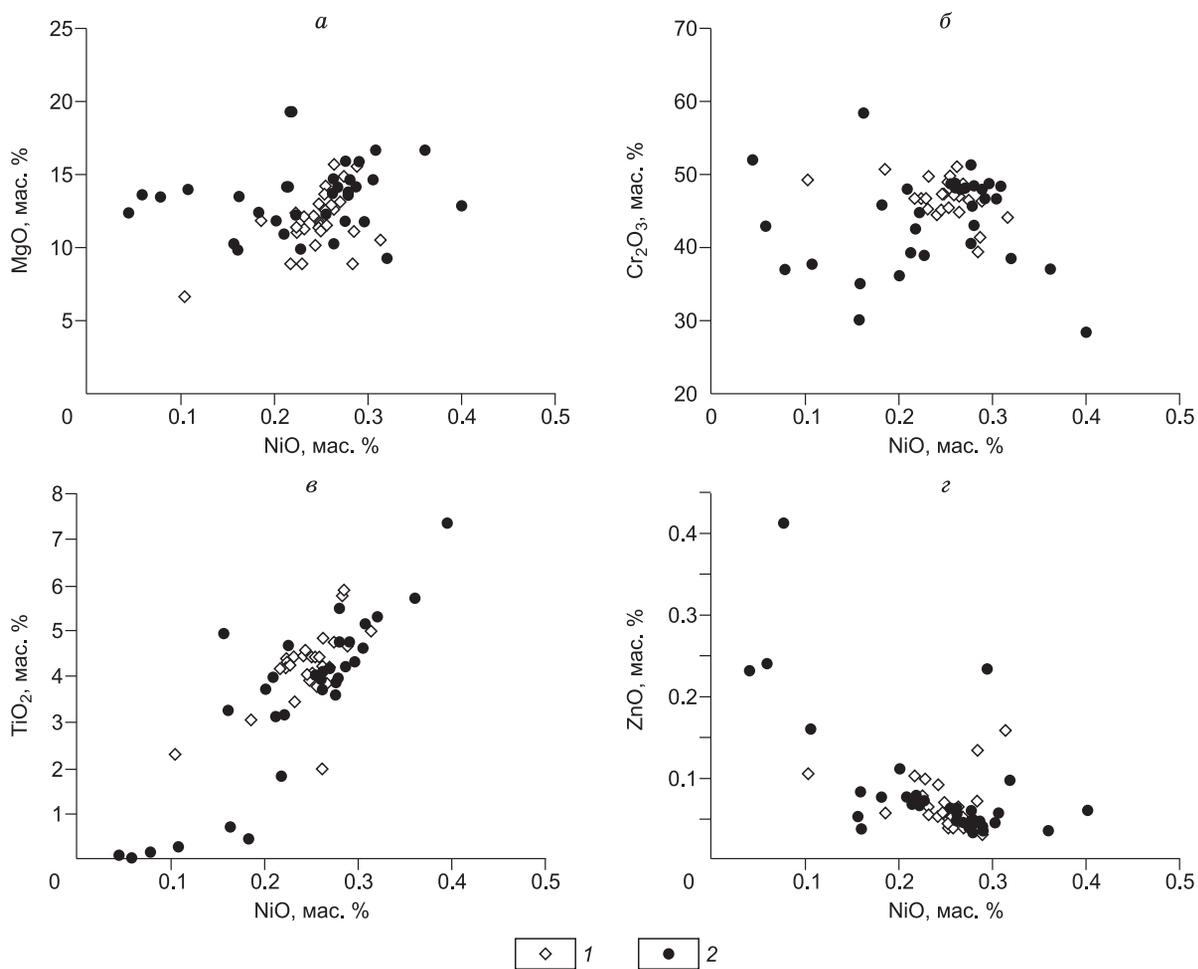


Рис. 8. Соотношение содержания Cr₂O₃, MgO, TiO₂, ZnO и NiO в хромшпинелидах из базального горизонта карнийского яруса (T₃).

1 — пр. 8и/10-6, 2 — пр. 3е/10-18. а—г — описание см. в тексте.

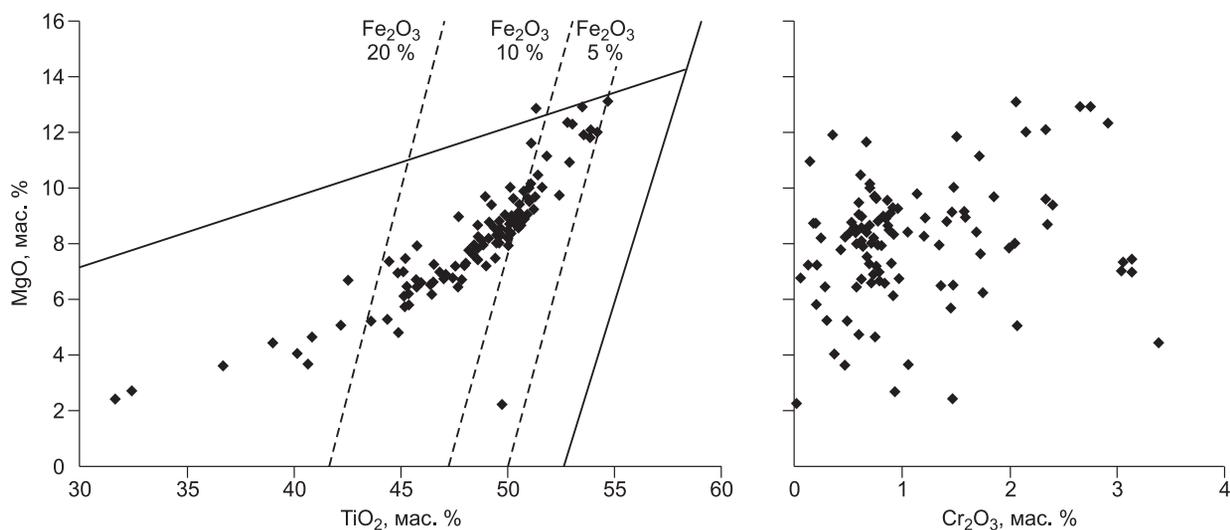


Рис. 9. Особенности состава ильменитов из базального горизонта карнийского яруса (T₃), пр. 12и/10-1, n = 117.

График MgO—TiO₂, по [Соболев, 1974; Green, Sobolev, 1975].

Якутии с помощью протонного зонда [Griffin et al., 1993, 1994]. Дополнительное рассмотрение особенностей содержания примесей NiO и ZnO в хромшпинелидах из двух проб россыпей карнийского яруса (см. табл. 4, рис. 8) свидетельствует о значимой положительной корреляции содержаний TiO₂ и NiO (см. рис. 8, в), а также о тенденции к отрицательной корреляции содержаний ZnO и NiO (см. рис. 7, з). Аналогичная тенденция корреляций ZnO и NiO отмечена также для хромшпинелидов из алмазов и концентратов кимберлитов ЮАР и Якутии [Griffin et al., 1994]. Это позволяет сделать вывод о преобладании в изученных пробах хромшпинелидов из вероятных кимберлитов.

Пикроильмениты изучены только для одной пр. 12и/10-1 (р. Хатыстах) в количестве 117 зерен. Широкая серия составов с переменным содержанием MgO от 2.42 до 12.35 мас. % представлена в табл. 5. Несмотря на отсутствие в данной пробе составов с низким вероятным содержанием Fe₂O₃, соответствующих стехиометрии ильменит-гейкилит и свидетельствующую о вероятной ассоциации с алмазами [Green, Sobolev, 1975] (рис. 9), проанализированные ильмениты по содержанию переменной примеси Cr₂O₃ и вероятной примеси Fe₂O₃ соответствуют составам, типичным для кимберлитов Якутии [Соболев, 1974]. В некоторых зернах (см. табл. 5, ан. 2, 5, 7, 9—12) переменная примесь Al₂O₃ от 0.14 до 0.55 мас. % свидетельствует о вероятном парагенезисе ильменитов с гранатом [Green, Sobolev, 1975]. Некоторые образцы близки по составу к ильменитам из перидотитов Гулинской интрузии с содержанием до 0.5 мас. % Cr₂O₃ и 5.5—8.5 мас. % MgO [Васильев, Золотухин, 1975]. Составы с низким содержанием MgO и повышенной примесью MnO, известные в качестве включений в алмазах различных регионов [Каминский, Белоусова, 2009], в том числе, кимберлитах Венесуэлы [Sobolev et al., 1998] и россыпей северо-востока Сибирской платформы, в изученной пробе не обнаружены.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Алмазоносность отложений карнийского яруса верхнего триаса установлена от западных отрогов Верхоянского хребта до Анабарской губы на протяжении более чем 500 км [Граханов, Коптиль, 2003] вплоть до Восточного Таймыра [Граханов, Ядренкин, 2007]. Продуктивный пласт характеризуется сложным составом и фациальной изменчивостью с колебаниями мощности от нескольких сантиметров до 0.5 м. Выявлена также алмазоносность отложений рэтского яруса [Граханов и др., 2010а].

Большая протяженность и незначительная мощность базального горизонта стимулировали систематические детальные стратиграфические исследования отложений верхнего триаса рассматриваемой территории [Гриненко и др., 2009; Константинов и др., 2013], что привело к разработке современной стратиграфической основы верхнетриасовых-юрских полифациальных морских, прибрежно-морских и континентальных отложений, выделяемых в самостоятельный этап развития Сибирской платформы [Гриненко и др., 2009]. Обосновывается также представление о системе палеорек Таймыра в пермотриасе с выносом с Урала [Miller et al., 2006, 2013], хотя присутствие кимберлитовых гранатов и типоморфизм алмазов в триасовых отложениях не согласуются с палеозойским возрастом россыпей и вероятных кимберлитов Урала [Laigninhas et al., 2009]. Благодаря малой мощности и большой протяженности отложений продолжается дискуссия о существовании крупного стратиграфического перерыва между карнийским и рэтским ярусами [Полуботко, 2010]. С целью достоверного определения в разрезе положения свит рекомендуется проходка ряда колонковых скважин по верхнетриасовым-юрским отложениям [Гриненко и др., 2009].

Для базального горизонта карнийского яруса (осипайская свита) Восточного Таймыра совершенно необычным результатом обработки остатков от микрофаунистического анализа массой всего 200 г явилось обнаружение 11 зерен гранатов, преимущественно, пиропов, имеющих состав, характерный для алмазоносных кимберлитов [Граханов, Ядренкин, 2007]. Особо следует отметить находку субкальциевого Cr-пиропа (7.9 мас. % Cr₂O₃ и 2.08 мас. % CaO с примесью 22 % кноррингита), а также эклогитового граната, имеющего состав, типичный для включений в алмазах северных россыпей (Mg# = 37.1; Ca# = 20.2; Na₂O = 0.10 мас. %).

Кроме гранатов, хромшпинелидов и ильменитов, постоянно фиксированных при опробовании карнийских россыпей рассматриваемой территории, составы которых обсуждены в одной из наиболее ранних публикаций [Граханов, Коптиль, 2003], приводится также информация о составе пироксенов и оливина из проб. Судя по анализам пироксенов, содержащих от 1.5 и до 2.14 мас. % Al₂O₃, от 1.35 до 3.62 мас. % Cr₂O₃, от 1.81 до 2.87 мас. % FeO, от 1.42 до 2.76 мас. % Na₂O и Mg# от 92 до 94, они являются типичными хромдиопсидами, близкими по составу к пироксенам групп I и II из кимберлитовой тр. Загадочная [Nimis et al., 2009], а также к пироксенам тр. Обнаженная [Соболев, 1974]. Обе указанные трубки не содержат алмазов и *PT*-условия образования содержащихся в них пироксенов не достигают области устойчивости алмаза [Nimis, Taylor, 2000; Nimis et al., 2009].

Характерной особенностью состава оливина из проб является высокая примесь CaO от 0.18 до 0.52 мас. %, что свойственно только оливину из меймечитов и ассоциирующих пород [Соболев и др.,

2009а] и однозначно исключает их кимберлитовую природу [Sobolev et al., 2009]. Аналогичный вывод можно сделать и при рассмотрении особенностей состава оливина калиевых щелочных вулканитов Оленевского поднятия, содержащих до 0.54 мас. % CaO [Шпунт, Шамшина, 1989].

Возраст вероятных коренных источников алмазов является ключевой проблемой прогнозных и поисковых работ. В пределах рассматриваемой территории установлен триасовый U-Pb изотопный возраст цирконов из четвертичных россыпей и некоторых кимберлитовых трубок района Эбеляха [Дэвис и др., 1980], а также перовскитов из ряда кимберлитовых тел региона [Кинни и др., 1997]. В то же время аналогичное датирование рутила, включенного в алмаз V разновидности, показало палеозойский возраст [Афанасьев и др., 2009]. Несомненно, что необходимо дальнейшее накопление изотопных датировок наиболее устойчивых минералов кимберлитов, к которым в первую очередь относится циркон. Кроме циркона, хорошие перспективы имеет перовскит [Кинни и др., 1997], так как его датирование возможно непосредственно в шлифах и он встречается намного чаще циркона. Весьма перспективным представляется также использование для этой цели рутила, содержащего примесь Nb из россыпей [Taylor, 2008]. Несмотря на возможную примесь рутила из метаморфических пород Анабарского щита, именно предварительный частичный анализ серии зерен на примесь Nb позволит выделить кимберлитовые рутилы. Учитывая имеющуюся предварительную информацию о триасовом возрасте внедрения кимберлитовой тр. Малокуонамская с содержанием алмазов, близким к промышленному [Харькин и др., 1998], и с учетом присутствия в ней перовскита, необходима ревизия возраста данной трубки с применением U-Pb изотопного метода по перовскиту.

Отдельное внимание следует обратить на перспективы определения $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраста включений K-содержащих эклогитовых пироксенов из алмазов россыпей. Такой подход успешно применен для оценки возраста вероятных коренных источников россыпей алмазов Урала [Laigninhas et al., 2009], датированных как нижнепалеозойские, что исключает возможность поступления этих алмазов как из архангельских, так и якутских кимберлитов.

Учитывая новые данные о признаках вулканогенного (эксплозивно-обломочного) генезиса терригенных отложений карнийского яруса [Граханов и др., 2010б; Проскурнин и др., 2012; Летникова и др., 2013], следует обратить особое внимание на поиски в шлифах фрагментов вероятных магнезиальных пород с сохранившимися включениями цирконов, хромшпинелидов, ильменитов, перовскитов и рутилов с последующим определением их состава и датированием. Такие находки будут представлять прямые доказательства присутствия обломков кимберлитов, но в случае включений шпинелидов и ильменитов не исключается присутствие возможных щелочных-ультраосновных пород. По имеющимся описаниям полностью измененных силикатов, слагающих обломки [Проскурнин и др., 2012], пока нельзя достоверно судить о возможном присутствии магнезиальных пород.

ВЫВОДЫ

Предложен и успешно опробован новый минералогический критерий алмазоносности россыпей северо-восточной части Сибирской платформы: оценка содержания в россыпях гранатов эклогитового типа парагенезиса с повышенной примесью MnO (> 0.5 мас. %).

Убедительно подтверждена поисковая роль субкальциевых высокохромистых пиропов и положительная корреляция их содержания с содержанием алмазов. Впервые в концентрате при опробовании россыпей выявлен пироп уникального состава с содержанием 34 % кноррингита, что наряду с находками включений мэйджоритовых гранатов в алмазах из россыпей свидетельствует об образовании хотя бы части алмазов вероятных коренных источников в условиях особо высоких давлений.

Неравномерное содержание индикаторных минералов, в основном гранатов, в разных пробах, вероятно, обусловлено множественным характером коренных источников алмазов, что повышает перспективы поисков коренных источников в триасовых отложениях.

Повышенные содержания гранатов с MnO > 0.5 мас. % и субкальциевых высокохромистых пиропов в пробах р. Булкур и м. Тумул положительно коррелируют с алмазоносностью и подтверждают перспективность этих участков для дальнейших более детальных исследований.

Проблема возраста вероятных коренных источников алмазов рассматриваемого региона может быть решена путем комплексного подхода к определению U-Pb изотопного возраста цирконов, перовскитов и рутилов из россыпей.

Авторы выражают признательность А.Г. Константинову, Б.Н. Шурыгину за консультации и А.П. Смелову за предоставленную возможность ознакомления с неопубликованными материалами.

Работа выполнена при поддержке в рамках интеграционного проекта 21.1 СО РАН программы Президиума РАН.

ЛИТЕРАТУРА

Агашев А.М., Похиленко Н.П., Толстов А.В., Поляничко В.Г., Мальковец В.Г., Соболев Н.В. Новые данные о возрасте кимберлитов Якутской алмазоносной провинции // ДАН, 2004, т. 399, № 1, с. 1142—1145.

Афанасьев В.П., Николенко Е.И., Тычков Н.С., Титов А.Т., Толстов А.В., Корнилова В.П., Соболев Н.В. Механический износ индикаторных минералов кимберлитов: экспериментальные исследования // Геология и геофизика, 2008, т. 49 (2), с. 120—127.

Афанасьев В.П., Агашев А.М., Орихаши Ю., Похиленко Н.П., Соболев Н.В. Палеозойский U-Pb возраст включения рутила в алмазе V—VII разновидности из россыпей северо-востока Сибирской платформы // ДАН, 2009, т. 428, № 2, с. 228—232.

Афанасьев В.П., Лобанов С.С., Похиленко Н.П., Коптиль В.И., Митюхин С.И., Герасимчук А.В., Помазанский Б.С., Горев Н.И. Полигенез алмазов Сибирской платформы // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (3), с. 335—353.

Бобрневич А.П., Смирнов Г.И., Соболев В.С. Ксенолит эклогита с алмазами // Докл. АН СССР, 1959, т. 126, № 3, с. 637—640.

Васильев Ю.Р. Ультраосновной магматизм Сибирской платформы: Автореф. дис. ... д.г.-м.н. Новосибирск, 1983.

Васильев Ю.Р., Золотухин В.В. Петрология ультрабазитов севера Сибирской платформы и некоторые проблемы их генезиса // Тр. ИГиГ СО АН СССР, 1975, вып. 166.

Васильев Ю.Р., Гора М.П. Происхождение дунитов и оливинитов в щелочно-ультраосновных интрузивных комплексах Сибирского кратона // ДАН, 2012, т. 442, № 3, с. 356—359.

Вишневский А.Н. Метаморфические комплексы Анабарского кристаллического щита. Л., Недра, 1978, 212 с. (Тр. НИИГА, т. 184).

Галимов Э.М. Вариации изотопного состава алмазов и их связь с условиями образования // Геохимия, 1984, № 8, с. 1091—1118.

Граханов С.А., Коптиль В.И. Триасовые палеороссыпи алмазов северо-востока Сибирской платформы // Геология и геофизика, 2003, т. 44 (11), с. 1191—1201.

Граханов С.А., Ядренкин А.В. Прогноз алмазоносности триасовых отложений Таймыра // ДАН, 2007, т. 416, № 5, с. 653—656.

Граханов С.А., Шаталов В.И., Штыров В.А., Кычкин В.Р., Сулейманов А.М. Россыпи алмазов России. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2007, 457 с.

Граханов С.А., Зарукин А.О., Богущ И.Н., Ядренкин А.В. Открытие верхнетриасовых россыпей алмазов в акватории Оленекского залива моря Лаптевых // Отечественная геология, 2009, № 1, с. 53—61.

Граханов С.А., Маланин Ю.А., Павлов В.И., Афанасьев В.П., Похиленко Н.П., Герасимчук А.В., Липашова А.Н. Рэтские россыпи алмазов Сибири // Геология и геофизика, 2010а, т. 51 (1), с. 160—170.

Граханов С.А., Смелов А.П., Егоров К.Н., Голубев Ю.К. Осадочно-вулканическая природа основания карнийского яруса — источника алмазов северо-востока Сибирской платформы // Отечественная геология, 2010б, № 5, с. 3—12.

Гриненко В.С., Князев В.Г., Девятов В.П., Шурыгин Б.Н., Никитенко Б.Л. Новые данные о стратиграфии верхнетриасовых-юрских отложений, перспективных на алмазы восточных районов Сибирской платформы // Наука и образование, 2009, № 4, с. 21—30.

Добрецов Н.Л., Похиленко Н.П. Минеральные ресурсы Российской Арктики и проблемы их освоения в современных условиях // Геология и геофизика, 2010, т. 51 (1), с. 126—141.

Дорошев А.М., Брай Г.П., Гирнис А.В., Туркин А.И., Когарко Л.Н. Гранаты пироп-кноррингитового ряда в условиях мантии Земли: экспериментальное изучение // Геология и геофизика, 1997, т. 38 (2), с. 523—545.

Дэвис Г.Л., Соболев Н.В., Харькив А.Д. Новые данные о возрасте кимберлитов Якутии, полученные U-Pb методом по цирконам // Докл. АН СССР, 1980, т. 254, № 1, с. 175—179.

Ефимова Э.С., Соболев Н.В. Распространенность кристаллических включений в якутских алмазах // Докл. АН СССР, 1977, т. 237, № 6, с. 1475—1478.

Зедгенизов Д.А., Рагозин А.Л., Шацкий В.С., Араухо Д., Гриффин В.Л. Карбонатные и силикатные среды кристаллизации волокнистых алмазов из россыпей северо-востока Сибирской платформы // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (11), с. 1649—1664.

Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. М., Недра, 2003, 602 с.

- Каминский Ф.В., Белоусова Е.А.** Манганоильменит как минерал-спутник алмаза в кимберлитах // Геология и геофизика, 2009, т. 50 (12), с. 1560—1570.
- Кинни П.Д., Гриффин Б.Дж., Хеамэн Л.М., Брахфогель Ф.Ф., Специус З.В.** Определение U-Pb возрастов перовскитов из якутских кимберлитов ионно-ионным масс-спектрометрическим (SHRIMP) методом // Геология и геофизика, 1997, т. 38 (1), с. 91—99.
- Константинов А.Г., Соболев Е.С., Ядренкин А.В.** Стратиграфия триаса восточной части побережья моря Лаптевых и Новосибирских островов // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (8), с. 1028—1046.
- Королюк В.Н., Лаврентьев Ю.Г., Усова Л.В., Нигматулина Е.Н.** О точности электронно-зондового анализа породообразующих минералов на микроанализаторе JXA-8100 // Геология и геофизика, 2008, т. 49 (3), с. 221—226.
- Кухаренко А.А.** Алмазы Урала. М., Госгеолтехиздат, 1955, 514 с.
- Лаврентьев Ю.Г., Усова Л.В., Королюк В.Н., Логвинова А.М.** Электронно-зондовое определение примесей цинка и никеля в хромшпинелидах для целей геотермометрии перидотитов // Геология и геофизика, 2005, т. 46 (7), с. 741—745.
- Летникова Е.Ф., Лобанов С.С., Похиленко Н.П., Изох А.Э., Николенко Е.И.** Источники поступления обломочного материала в карнийский алмазоносный горизонт северо-востока Сибирской платформы // ДАН, 2013.
- Логвинова А.М., Вирт Р., Томиленко А.А., Афанасьев В.П., Соболев Н.В.** Особенности фазового состава наноразмерных кристаллофлюидных включений в аллювиальных алмазах северо-востока Сибирской платформы // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (11), с. 1634—1648.
- Лутц Б.Г., Оксман В.С.** Глубокоэродированные зоны разломов Анабарского щита. М., Наука, 1990, 260 с.
- Милашев В.А., Шульгина Н.И.** Новые данные о возрасте кимберлитов Сибирской платформы // Докл. АН СССР, 1959, т. 126, № 6, с. 1320—1322.
- Орлов Ю.Л.** Минералогия алмаза. М., Наука, 1973, 264 с.
- Полуботко И.В.** К вопросу о норийских и рэтских отложениях на севере Сибирской платформы // Новости палеонтологии и стратиграфии. Вып. 14. Приложение к журналу «Геология и геофизика», т. 51, 2010, с. 51—60.
- Проскурнин В.Ф., Виноградова Н.П., Гавриш А.В., Наумов М.В.** Признаки эксплозивно-обломочного генезиса алмазоносного карнийского горизонта Усть-Оленекского района (петрографо-геохимические данные) // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (6), с. 698—711.
- Рагозин А.Л., Шацкий В.С., Рылов Г.М., Горыйнов С.В.** Включения коэсита в округлых алмазах из россыпей северо-восточной части Сибирской платформы // ДАН, 2002, т. 384, № 4, с. 509—513.
- Рагозин А.Л., Шацкий В.С., Зедгенизов Д.А.** Новые данные о составе среды кристаллизации алмазов V разновидности из россыпей северо-востока Сибирской платформы // ДАН, 2009, т. 425, № 4, с. 527—531.
- Скузоватов С.Ю., Зедгенизов Д.А., Шацкий В.С., Рагозин А.Л., Купер К.Э.** Особенности состава облакоподобных микровключений в октаэдрических алмазах из кимберлитовой трубки Интернациональная (Якутия) // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (1), с. 107—121.
- Скузоватов С.Ю., Зедгенизов Д.А., Рагозин А.Л., Шацкий В.С.** Состав среды кристаллизации алмазов «в оболочке» из кимберлитовой трубки Сытыканская (Якутия) // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (11), с. 1556—1571.
- Соболев А.В.** Фазовый состав меймечитов севера Сибири и некоторые проблемы их генезиса // Проблемы петрологии земной коры и верхней мантии. Новосибирск, Наука, 1978, с. 330—347. (Тр. ИГиГ СО АН СССР, вып. 403).
- Соболев А.В., Слуцкий А.Б.** Состав и условия кристаллизации исходного расплава сибирских меймечитов в связи с общей проблемой ультраосновных магм // Геология и геофизика, 1984 (12), с. 97—110.
- Соболев А.В., Соболев С.В., Кузьмин Д.В., Малич К.Н., Петрунин А.Г.** Механизм образования сибирских меймечитов и природа их связи с траппами и кимберлитами // Геология и геофизика, 2009а, т. 50 (12), с. 1293—1334.
- Соболев В.С.** Условия образования месторождений алмазов // Геология и геофизика, 1960 (1), с. 7—23.
- Соболев В.С., Соболев Н.В.** Новые доказательства погружения на большие глубины эцлогитизированных пород земной коры // Докл. АН СССР, 1980, т. 252, № 2, с. 439—442.
- Соболев В.С., Най Б.С., Соболев Н.В., Лаврентьев Ю.Г., Поспелова Л.Н.** Ксенолиты алмазоносных пироповых серпентинитов из трубки Айхал, Якутия // Докл. АН СССР, 1969а, т. 188, № 5, с. 1141—1143.

- Соболев В.С., Соболев Н.В., Лаврентьев Ю.Г.** Включения в алмазе из алмазоносного эклогита // Докл. АН СССР, 1972, т. 207, № 1, с. 164—167.
- Соболев Н.В.** Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии // Новосибирск, Наука, 1974, 264 с.
- Соболев Н.В.** Коэсит как индикатор сверхвысоких давлений в континентальной литосфере // Геология и геофизика, 2006, т. 47 (1), с. 95—104.
- Соболев Н.В., Лаврентьев Ю.Г., Поспелова Л.Н., Соболев Е.В.** Хромовые пиропы из алмазов Якутии // Докл. АН СССР, 1969б, т. 189, № 1, с. 162—165.
- Соболев Н.В., Гневушев М.А., Михайловская Л.Н., Футергендлер С.И., Шеманина Е.И., Лаврентьев Ю.Г., Поспелова Л.Н.** Состав включений гранатов и пироксенов в уральских алмазах // Докл. АН СССР, 1971, т. 198, № 1, с. 190—193.
- Соболев Н.В., Похиленко Н.П., Лаврентьев Ю.Г., Усова Л.В.** Особенности состава хромшпинелидов из алмазов и кимберлитов Якутии // Геология и геофизика, 1975 (11), с. 7—24.
- Соболев Н.В., Ефимова Э.С., Коптиль В.И., Лаврентьев Ю.Г., Соболев В.С.** Включения коэсита, граната и омфациита в алмазах Якутии — первая находка парагенезиса коэсита // Докл. АН СССР, 1976, т. 230, № 1—2, с. 1442—1444.
- Соболев Н.В., Галимов Э.М., Ивановская И.Н., Ефимова Э.С.** Изотопный состав углерода алмазов, содержащих кристаллические включения // Докл. АН СССР, 1979, т. 249, № 5, с. 1217—1220.
- Соболев Н.В., Белик Ю.П., Похиленко Н.П., Лаврентьев Ю.Г., Кривонос В.Ф., Поляков В.Н., Соболев В.С.** Хромсодержащие пиропы в нижнекаменноугольных отложениях Кютюнгинского прогиба // Геология и геофизика, 1981 (2), с. 153—157.
- Соболев Н.В., Логвинова А.М., Ефимова Э.С.** Сингенетические включения флогопита в алмазах кимберлитов: свидетельство роли летучих в образовании алмазов // Геология и геофизика, 2009б, т. 50 (12), с. 1588—1606.
- Соболев Н.В., Логвинова А.М., Ефимова Э.С.** Включения в алмазах эклогитовых гранатов, обогащенных марганцем: свидетельство рециклирования земной коры // ДАН, 2013, т. 453.
- Томиленко А.А., Рагозин А.Л., Шацкий В.С., Шебанин А.П.** Вариации состава флюидной фазы в процессе кристаллизации природных алмазов // ДАН, 2001, т. 378, № 6, с. 802—805.
- Туркин А.И., Соболев Н.В.** Пироп-кноррингитовые гранаты: обзор экспериментальных данных и природных парагенезисов // Геология и геофизика, 2009, т. 50 (12), с. 1506—1523.
- Харькив А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И.** Коренные месторождения алмазов мира. М., Недра, 1998, 555 с.
- Чепуров А.И., Томиленко А.А., Шебанин А.П., Соболев Н.В.** Флюидные включения в алмазах из россыпей Якутии // ДАН, 1994, т. 336, № 5, с. 662—665.
- Шацкий В.С., Зедгенизов Д.А., Рагозин А.Л.** Мэйджоритовые гранаты в алмазах из россыпей северо-востока Сибирской платформы // ДАН, 2010, т. 432, с. 811—814.
- Шпунт Б.Р., Шамшина Э.А.** Поздневендские калиевые щелочные вулканы Оленекского поднятия (северо-восток Сибирской платформы) // Докл. АН СССР, 1989, т. 307, № 2, с. 678—682.
- Appleyard C.M., Viljoen K.S., Dobbe R.** A study of eclogitic diamonds and their inclusions from the Finsch kimberlite pipe, South Africa // Lithos, 2004, v. 77, p. 317—332.
- Arndt N., Lehnert K., Vasil'ev Y.** Meimechites: highly magnesian lithosphere-contaminated alkaline magmas from deep subcontinental mantle // Lithos, 1995, v. 34 (1), p. 41—59.
- Cartigny P.** Stable isotopes and the origin of diamond // Elements, 2005, v. 1, p. 79—84.
- De Stefano A., Kopylova M.G., Cartigny P., Afanasiev V.** Diamonds and eclogites of the Jericho kimberlite (Northern Canada) // Contr. Miner. Petrol., 2009, v. 158(2), p. 295—315.
- Green D.H., Sobolev N.V.** Coexisting garnets and ilmenites synthesized at high pressures from pyrolite and olivine basanite and their significance for kimberlitic assemblages // Contr. Miner. Petrol., 1975, v. 50, № 3, p. 217—229.
- Griffin W.L., Sobolev N.V., Ryan C.G., Pokhilenko N.P., Win T.T., Yefimova E.S.** Trace elements in garnets and chromites: diamond formation in the Siberian lithosphere // Lithos, 1993, v. 29, № 3—4, p. 235—256.
- Griffin W.L., Ryan C.G., Gurney J.J., Sobolev N.V., Win T.T.** Chromite macrocrysts in kimberlites and lamproites; geochemistry and origin // Proc. Fifth Int. Kimb. Conf., 1994, v. 2, p. 366—377.
- Klein-BenDavid O., Logvinova A.M., Schrauder M., Spetius Z.V., Weiss Y., Hauri E.H., Kaminsky F.V., Sobolev N.V., Navon O.** High-Mg carbonatitic microinclusions in some Yakutian diamonds — a new type of diamond-forming fluid // Lithos, 2009, v. 112S, p. 648—659.

Laiginhas F. Diamonds from the Ural Mountains: their characteristics and the mineralogy and geochemistry of their inclusions. Unpublished PhD Thesis, Univ. Glasgow, 2008, 225 p.

Laiginhas F., Pearson D.G., Phillips D., Burgess R., Harris J.W. Re-Os and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotope measurements of inclusions in alluvial diamonds from the Ural Mountains: constraints on diamond genesis and eruption ages // *Lithos*, 2009, v. 112, p. 714—723.

Logvinova A.M., Taylor L.A., Floss C., Sobolev N.V. Geochemistry of multiple diamond inclusions in harzburgitic garnets as examined in situ // *Int. Geol. Rev.*, 2005, v. 47, p. 1223—1233.

Logvinova A.M., Wirth R., Fedorova E.N., Sobolev N.V. Nanometre-sized mineral and fluid inclusions in cloudy Siberian diamonds: new insights on diamond formation // *Eur. J. Miner.*, 2008, v. 20, № 3, p. 317—331.

Meyer H.O.A. Inclusions in diamonds // *Mantle Xenoliths* / Ed. P.H. Nixon. New York, Wiley, 1987, p. 501—522.

Meyer H.O.A., Boyd F.R. Composition and origin of crystalline inclusions in natural diamonds // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1972, v. 36, p. 1255—1273.

Miller E.L., Toro J., Gehrels G., Amato J.M., Prokopiev A., Tuckkova M.I., Akinin V.V., Dumitri T.A., Moore T.M., Cecile M.P. New insights into Arctic paleogeography and tectonics from U-Pb detrital zircon geochronology // *Tectonics*, 2006, v. 25, p. 3013—3032.

Miller E.L., Soloviev A.V., Prokopiev A.V., Toro J., Harris D., Kuzmichev A.B., Gehrels G.E. Triassic river systems and the paleo-Pacific margin of northwestern Pangea // *Gondwana Res.*, 2013, v. 23, p. 1631—1645.

Nikolenko E.I., Lobanov S.S. Mn-rich eclogitic garnets from Carnian stage (Upper Triassic) sedimentary deposits of the northeastern margin of the Siberian platform // *The 6th International Siberian Early Career GeoScientists Conference: Proceedings (9—23 June 2012, Novosibirsk, Russia)*. IGM, IPPG SB RAS & NSU Novosibirsk, 2012, p. 36—38.

Nimis P., Taylor W.R. Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites. Part I. Calibration and testing of a Cr-in-Cpx barometer and an enstatite-in-Cpx thermometer // *Contr. Miner. Petrol.*, 2000, v. 139, p. 541—554.

Nimis P., Zanetti A., Dencker I., Sobolev N.V. Major and trace element composition of chromian diopsides from the Zagadochnaya kimberlite (Yakutia, Russia): Metasomatic processes, thermobarometry and diamond potential // *Lithos*, 2009, v. 112 (3—4), p. 397—412.

Pal'yanov Yu.N., Shatsky V.S., Sobolev N.V., Sokol A.G. The role of mantle ultrapotassic fluids in diamond formation // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2007, v. 104, p. 9122—9127.

Shirey S.B., Cartigny P., Frost D.J., Keshaw S., Nestola F., Nimis P., Pearson D.G., Sobolev N.V., Walter M.J. Diamonds and the geology of mantle carbon // *Rev. Miner. Geochem.*, 2013, v. 75, p. 355—421.

Sobolev N.V., Lavrent'ev Y.G. Isomorphic sodium admixture in garnets formed at high pressures // *Contr. Miner. Petrol.*, 1971, v. 31(1), p. 1—12.

Sobolev N.V., Lavrentev Y.G., Pokhilenko N.P., Usova L.V. Chrome-rich garnets from the kimberlites of Yakutia and their parageneses // *Contr. Miner. Petrol.*, 1973, v. 40, № 1, p. 39—52.

Sobolev N.V., Yefimova E.S., Channer D.M.DeR., Anderson P.F.N., Barron K.M. Unusual upper mantle beneath Guianiano Guyana Shield: evidence from diamond inclusions // *Geology*, 1998, v. 26, p. 971—974.

Sobolev N.V., Yefimova E.S., Koptil V.I. Mineral inclusions in diamonds in the Northeast of the Yakutian diamondiferous province // *Proc. VII Int. Kimb. Conf. / Eds. J.J. Gurney, J.L. Gurney, M.D. Paskoe, S.H. Richardson*. V. 2. Cape Town, 1999, p. 816—822.

Sobolev N.V., Logvinova A.M., Zedgenizov D.A., Pokhilenko N.P., Malygina E.V., Kuzmin D.V., Sobolev A.V. Petrogenetic significance of minor elements in olivines from diamonds and peridotite xenoliths from kimberlites of Yakutia // *Lithos*, 2009, v. 112, Suppl. 2, p. 701—713.

Taylor W.R. Rutile U-Pb dating in diamond exploration — application to detrital heavy mineral provenance studies and kimberlite age dating // *9th Int. Kimb. Conf., Frankfurt, 2008, Extended Abstract № 9, 9IKC-A-00373*.

*Поступила в редакцию
26 апреля 2013 г.*