

УДК 551.14 552.323.6 549.642.21

## МОЩНОСТЬ И ТЕРМАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ ПОД ТРУБКОЙ ЮБИЛЕЙНАЯ (АЛАКИТ-МАРХИНСКОЕ КИМБЕРЛИТОВОЕ ПОЛЕ, СИБИРСКИЙ КРАТОН)

© 2025 г. М. В. Милаушкин<sup>1,2,\*</sup>, В. Г. Мальковец<sup>1,2</sup>, А. А. Гибшер<sup>1,2</sup>, А. М. Дымшиц<sup>3,4</sup>,  
И. В. Яковлев<sup>2</sup>, академик РАН Н. П. Похиленко<sup>1</sup>

Поступило 17.06.2024 г.

После доработки 05.09.2024 г.

Принято к публикации 09.09.2024 г.

В работе представлены результаты исследования химического состава ксенокристаллов хромдиоксида из концентрата тяжёлой фракции кимберлитов трубки Юбилейная. Реконструкция мантийной палеогеотермы выполнена с использованием мономинеральной клинопироксеновой геотермобарометрии и программы FITPLOT. Установлено, что палеогеотерма соответствует поверхностному тепловому потоку 34.8 мВт/м<sup>2</sup>. Мощность литосферы в период кимберлитового магматизма под трубкой Юбилейная оценивается в 230 км с интервалом “алмазного окна” около 105 км (от 125 до 230 км). Для того чтобы сравнить палеогеотерму, мощности литосферы и “алмазного окна” под трубками Юбилейная и Удачная была реконструирована мантийная палеогеотерма под трубкой Удачная. Полученные значения теплового потока, мощности литосферы и “алмазного окна” под трубкой Удачная составляют 34.7 мВт/м<sup>2</sup>, 233 км и 108 км, соответственно. Однако алмазоносность трубки Юбилейная в два раза ниже алмазоносности кимберлитов трубки Удачная. Следовательно, разница в алмазоносности может быть связана не только с мощностью опробуемой литосферы и “алмазного окна”, но также и с другими петрологическими параметрами, такими как степень проявления алмазо-генерирующего и алмазо-деструктивного метасоматоза.

*Ключевые слова:* кимберлитовая трубка, литосферная мантия, хромдиоксид, палеогеотерма

DOI: 10.31857/S2686739725010149 EDN: GVUCQV

### ВВЕДЕНИЕ

В пределах Алаakit-Мархинского среднепалеозойского кимберлитового поля (АМКП, Сибирский кратон) (рис. 1 а) [1] обнаружено свыше 100 кимберлитовых тел, в том числе алмазоносные кимберлитовые трубки Юбилейная,

Комсомольская, Сытыканская, Айхал, Заря и Краснопресненская (рис. 1 б) [2]. Добыча алмазов в настоящее время происходит на трубках Юбилейная, Айхал и Заря, трубки Сытыканская и Комсомольская к настоящему времени отработаны, а трубка Краснопресненская относится к категории резервных месторождений. Трубка Юбилейная по своим размерам относится к уникальным телам; её размеры составляют 1293×741 м, площадь на поверхности ~560 000 м<sup>2</sup>. Трубка прорывает толщу нижнепалеозойских субгоризонтально залегающих пород осадочного чехла, представленную отложениями кембрия, нижнего и среднего ордовика и нижнего силура. Перекрывающая трубку толща представлена терригенными отложениями верхнего отдела каменноугольной системы и осадочными отложениями нижней перми. Возраст внедрения

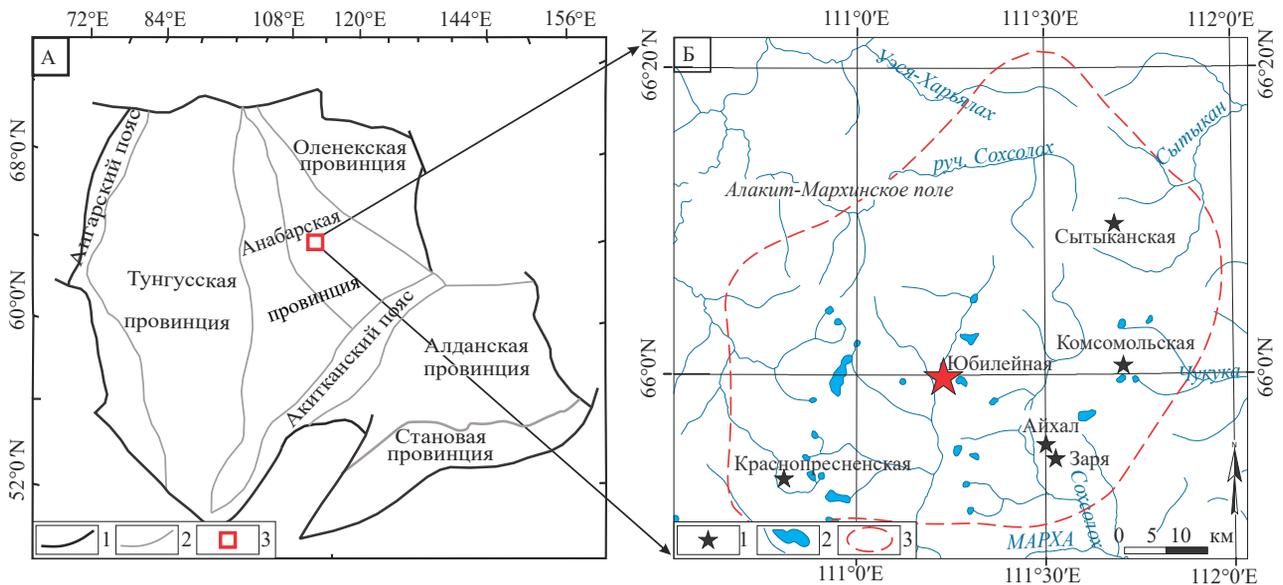
<sup>1</sup> Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева  
Сибирского отделения Российской Академии наук,  
Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> АК АЛРОСА (ПАО), Новосибирск, Россия

<sup>3</sup> Институт земной коры Сибирского отделения Российской  
Академии наук, Иркутск, Россия

<sup>4</sup> Геологический институт Кольского Научного Центра  
Российской Академии наук, Апатиты, Россия

\* E-mail: milaushkinmv@igm.nsc.ru



**Рис. 1.** А – Схематическая карта Сибирского кратона [1] с изменениями; 1 – границы кратона, 2 – границы тектонических провинций, 3 – местоположение Алакит-Мархинского кимберлитового поля (АМКП) в пределах кратона. Б – Схема расположения кимберлитовых тел в АМКП [2]; 1 – коренные месторождения алмазов, 2 – реки, 3 – контур АМКП

кимберлитов трубки определен U–Pb-методом по перовскиту с использованием SHRIMP ( $356 \pm 7$  млн лет) [3]. Трубка Юбилейная представляет собой яркий пример типичной воронки взрыва (центральная часть) и дайкообразных тел (на флангах), формирующих в её структуре три обособленных “рудных столба” [4]. Диаметр центрального столба и фланговые тела выполнены в различных пропорциях порфировым кимберлитом (ПК), автолитовой кимберлитовой брекчией (АКБ) и реже образцами кимберлитовой брекчии (КБ). В центральном рудном столбе доминирует АКБ, а фланги сложены ПК. Алмазность кимберлитов различная, в породах, слагающих фланги алмазность ниже, чем в центральном столбе. В целом, по трём столбам алмазность кимберлитов повышенная – 0.89 кар/т [5].

Алмазность кимберлитов зависит от многих факторов, и в том числе от мощности кратонной литосферы, опробуемой кимберлитовой магмой, и от мощности опробуемого “алмазного окна”. Одним из способов оценки мощности кратонной литосферы является определение глубины пересечения расчётной кондуктивной геотермы с адиабатой конвектирующей мантии. Мощность “алмазного окна” определяется по пересечению линии палеогеотермы с линией графит–алмаз [6] и линией пересечения границы литосфера–астеносфера.

Для выяснения мощностей литосферы и “алмазного окна” традиционно используется метод реконструирования палеогеотермы с применением методов минеральной геотермометрии, как по ксенолитам перидотитов, так и по отдельным выборкам минералов – клинопироксенов, гранатов и т.д. Кимберлиты трубки Юбилейная интенсивно серпентинизированы; свежие неизменённые ксенолиты в трубке отсутствуют. Вследствие этого расчёт палеогеотермы по традиционным методам минеральной геотермометрии для ксенолитов произвести не представляется возможным. Однако в концентрате тяжёлой фракции кимберлитов трубки Юбилейная присутствуют гранаты и клинопироксены мантийных парагенезисов подходящие для проведения расчетов  $PT$ -параметров методами мономинеральной геотермометрии.

В данной работе мы приводим результаты реконструирования палеогеотермы с помощью мономинеральной геотермометрии для клинопироксенов [7, 8] из концентрата тяжёлой фракции трубки Юбилейная. Этот метод позволяет реконструировать мантийные палеогеотермы и оценить тепловое состояние мантии в период кимберлитового магматизма, а также мощность субконтинентальной литосферной мантии (СКЛМ) в отдельных районах кратона. Оценка мощности СКЛМ и “алмазного окна” исключительно важны как на ранних стадиях

поисковых работ для предварительной оценки потенциальной алмазности отдельного кимберлитового тела/поля, так и для отдельных блоков/террейнов в пределах древних кратонов. Первые и единственные надёжные оценки палеогеотермы для кимберлитовых тел Алакит-Мархинского кимберлитового поля (АМКП) были даны в работе [9] с применением метода мономинеральной гранатовой геотермобарометрии. Для оценки *PT*-параметров в гранатах в работе [9] был использован Ni-in-Gar-геотермометр и Cr-in-Gar-геобарометр [10]. Реконструированная палеогеотерма соответствует типичным “холодным” кратонным кондуктивным геотермам с значением теплового потока  $\sim 35$  мВт/м<sup>2</sup>. Мощность литосферы в пределах АМКП составила 230 км [9]. Мономинеральная гранатовая термобарометрия надёжно работает только для ксенокристов гранатов, которые находились в химическом равновесии с хромитом в мантии. В них рассчитанные значения *PT*-параметров (Ni и Cr в гранате), пригодны для построения палеогеотермы. В свою очередь мономинеральная клинопироксеновая термобарометрия работает для любых гранатсодержащих перидотитов. Цель данной работы – оценить палеогеотерму, мощности литосферы и “алмазного окна” под трубкой Юбилейная на основе изучения клинопироксенов из концентрата тяжелой фракции кимберлитов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе приведены результаты исследования 199 зёрен хромдиопсидов из концентрата тяжёлой фракции (КТФ) выделенного из автолитовых кимберлитовых брекчий (АКБ), слагающих центральный рудный столб и из порфировых кимберлитов (ПК) западного рудного столба трубки Юбилейная. Исследовано 150 зёрен хромдиопсидов из АКБ и 49 зёрен из ПК.

Анализ химического состава клинопироксенов выполнен методом рентгеноспектрального микроанализа на электронно-зондовом микроанализаторе JEOL JXA-8100 в Центре коллективного пользования “Многоэлементных и изотопных исследований” ИГМ СО РАН (г. Новосибирск). Препараты для анализа были изготовлены в виде шашек из эпоксидной смолы с вмонтированными минеральными зёрнами. Полированная алмазными пастами поверхность шашек, покрывалась проводящим углеродным покрытием толщиной около 25 нм. Условия съёмки: ускоряющее напряжение

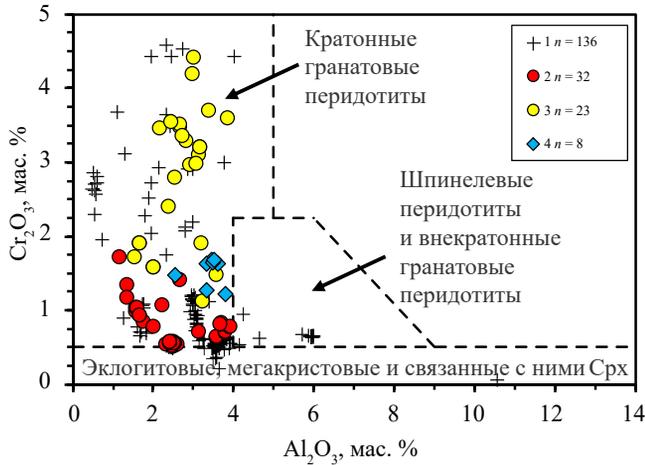
20 кВ, ток зонда 30–100 нА, диаметр пучка зонда 1–3 мкм, время набора спектров на пике составило 10 с для Mg, Ti, Ca, Si, Fe, Mn и 20 с для Na, Cr, K, Al. Для того чтобы избежать выгорания Na во время анализа, ток зонда при анализе Na составлял 30 нА. Матричные поправки рассчитывались по методу ZAF. В качестве эталонных материалов использовали аттестованные стандарты минералов.

*PT*-параметры равновесия клинопироксенов рассчитывались с применением термобарометра NT00 [7], а мантийная палеогеотерма на момент внедрения кимберлитов  $\sim 356$  млн лет была реконструирована с помощью программы FITPLOT [11]. Были использованы следующие входные параметры: значение теплогенерации в мантии – 0 мВт/м<sup>3</sup> [11], а значение температуры мантийной адиабаты на поверхности 1315°C [11]. Использованные значения мощности верхней (ВК) и нижней коры (НК) были приняты по [12] – 12 км и 29 км, соответственно. Теплогенерация в ВК составляет 0.76 мкВт/м<sup>3</sup>, а в НК – 0.36 мкВт/м<sup>3</sup>, согласно [13].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Метод *PT*-расчёта NT00 [7] применим только для клинопироксенов из гранатовых перидотитов. Для идентификации клинопироксенов из гранатовых перидотитов использовалась классификационная диаграмма [14], основанная на содержании Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в хромдиопсидах. На основании этой диаграммы 174 зерна (87.4%) идентифицированы как клинопироксены из кратонных гранатовых перидотитов, и, таким образом, подходят для *PT*-расчётов данным методом (рис. 2). Тринадцать зёрен (6.5%) содержат менее 0.5 мас. % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и относятся к эклогитам, мегакристам и связанным с ними клинопироксенам; двенадцать зёрен (6%) попадают в поле шпинелевых перидотитов и внекратонных гранатовых перидотитов (см. рис. 2).

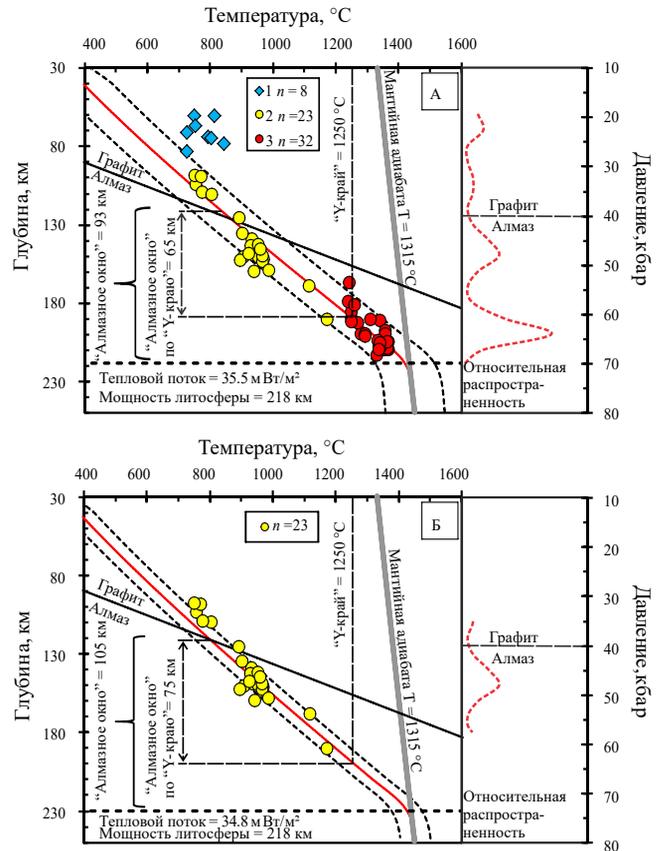
Для отбраковки клинопироксенов, не находящихся в равновесии с гранатом и ортопироксеном в условиях мантии, а также зёрен, которые были значительно метасоматизированы, использовались фильтры, предложенные в [7, 8]. После применения фильтров 111 анализов клинопироксенов были исключены из процедуры расчёта *PT*-параметров. Оставшиеся 63 отфильтрованных зерна (см. рис. 2) были идентифицированы как хромдиопсиды с вариациями состава: Ca# =  $100 \times \text{Ca} / (\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe}) = 32\text{--}49$ ; Mg# =  $100 \times \text{Mg} / (\text{Mg} + \text{Fe}) = 88\text{--}96$ ; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0.5–4.4 мас. %, Na<sub>2</sub>O = 0.9–4 мас. %.



**Рис. 2.** Дискриминационная диаграмма  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ – $\text{Al}_2\text{O}_3$  [14] и состав изученных клинопироксенов из трубки Юбилейная. 1 – хромдиопсиды, которые не прошли отбор по фильтрам [7, 8] (111 зёрен) а также хромдиопсиды из поля эклогитов, мегакритов и связанных с ними клинопироксенов (13 зёрен) и хромдиопсиды из поля шпинелевых перидотитов и внекратонных гранатовых перидотитов (12 зёрен). 2 – высокотемпературные хромдиопсиды со значениями  $T > 1200$  °С (32 зерна) (см. рис. 3 А), 3 – хромдиопсиды со значениями  $T$  от 700 до 1200 °С (23 зерна), 4 – низкотемпературные хромдиопсиды со значениями  $P < 30$  кбар (8 зёрен)

С использованием термобарометра NT00 для 63 хромдиопсидов рассчитанные значения температур варьируют от 725 до 1369 °С, значения давлений варьируют от 20 до 69 кбар. По полученным  $PT$ -параметрам с использованием программы “FITPLOT” реконструирована палеогеотерма под трубкой Юбилейная. Результирующий поверхностный тепловой поток составил 35.5 мВт/м<sup>2</sup>, при мощности литосферы 218 км, и мощности “алмазного окна” 93 км. Мощность “алмазного окна”, определенная по “У-краю” в гранатах согласно [9] составляет 65 км (от 125 до ~190 км) (рис. 3 а).

На глубинах от 167 до 213 км под трубкой Юбилейная (см. рис. 3 а) выделяется группа высокотемпературных точек (красные кружки) с рассчитанными температурами  $>1200$  °С. Данное обстоятельство связано либо с особенностями термобарометра NT00, так как экспериментальные данные использованные для калибровки барометра [7] были получены только до 60 кбар [7, 8], либо с локальным тепловым воздействием астеносферы на глубинную часть литосферной мантии [15, 16]. Считается,



**Рис. 3.** Реконструированная палеогеотерма под трубкой Юбилейная. А – палеогеотерма реконструированная по 63 хромдиопсидам, тепловой поток 35.5 мВт/м<sup>2</sup>, мощность литосферы 218 км, мощность “алмазного окна” 93 км; Б – палеогеотерма реконструированная по 23 хромдиопсидам, тепловой поток 34.8 мВт/м<sup>2</sup>, мощность литосферы 230 км, мощность “алмазного окна” 105 км. Мощность “алмазного окна” по “У-краю” [9] – 65 км (А) и 75 км (Б). Пунктирные линии – погрешность реконструкции геотермы. 1 – низкотемпературные хромдиопсиды со значениями  $P < 30$  кбар (8 зёрен), 2 – хромдиопсиды со значениями  $T$  от 700 до 1200 °С (23 зерна), 3 – высокотемпературные хромдиопсиды со значениями  $T > 1200$  °С (32 зерна). Красная пунктирная линия – распространённость хромдиопсидов по глубине

что высокотемпературные хромдиопсиды могут представлять вторично обогащённые породы, подвергшиеся воздействию астеносферных расплавов [15]. Наличие таких клинопироксенов может быть связано с деформацией пород и образованием так называемых катаклазированных перидотитов. Мы склоняемся ко второму варианту, поэтому высокотемпературные

хромдиопсиды были исключены из дальнейших построений, так как их *PT*-параметры превышают значение теплового потока, занижают мощность литосферы и не относятся к положению кондуктивной палеогеотермы на момент кимберлитового магматизма.

Среди 63 хромдиопсидов присутствует восемь зёрен с низкими параметрами давления (20–27 кбар) и температурами от 725 до 846 °С. (см. рис. 3 а, ромбики). Возможно, что эти малоглубинные хромдиопсиды не характеризуют первоначальные свойства литосферной мантии [15]. По-видимому, эти хромдиопсиды происходят из горизонта, где восходящие расплавы останавливаются на достаточно долгое время и реагируют с более холодной литосферой, образуя текстурно уравновешенные крупнозернистые гибридные породы до извержения вмещающего их кимберлита [16]. Поэтому эти хромдиопсиды также были исключены из процедуры построения палеогеотермы.

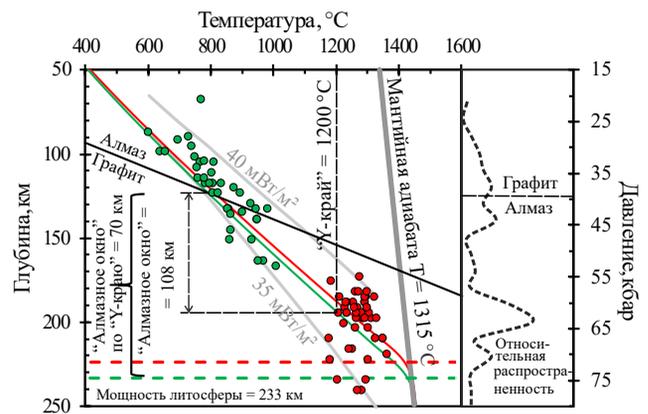
Значения температур равновесий оставшихся 23 зёрен хромдиопсидов варьируют от 752 до 1175 °С, а значения давлений от 32 кбар до 62 кбар, что соответствует глубинам ~100–194 км. Результирующий тепловой поток составил 34,8 мВт/м<sup>2</sup>, а мощность литосферы и “алмазного окна” 230 км и 105 км, соответственно (рис. 3 б), мощность “алмазного окна”, определённая по “У-краю” в гранатах, согласно [9], составляет 75 км (от 125 до 200 км). Таким образом палеогеотерма реконструированная по *PT*-параметрам 23 хромдиопсидов, представляет собой среднюю часть разреза, с наиболее холодным тепловым потоком [16, 15], который вероятней всего отображает стабильную кондуктивную геотерму, не подвергшуюся разогреву мантийными расплавами [16, 17].

## ОБСУЖДЕНИЕ

Реконструированная палеогеотерма под трубкой Юбилейная характеризуется холодным тепловым потоком 34,8 мВт/м<sup>2</sup>, что соотносится с рассчитанной ранее палеогеотермой для трубки Юбилейная по перидотитовым хромистым гранатам [9]. Полученные данные указывают на существование мощной холодной литосферы под трубкой Юбилейная на момент внедрения кимберлитовой магмы.

Для АМКП поля мало данных, так как мантийные ксенолиты, найденные на поверхности кимберлитовых трубок сильно изменены, однако в соседнем Далдынском поле есть трубка Удачная, в которой обнаружено много свежих

неизменённых ксенолитов и для которой проведено большое количество исследований. Для трубки Удачная в работах [16–18] приведены результаты исследования мантийных ксенолитов, а также с помощью различных термобарометров рассчитаны *PT*-параметры этих ксенолитов. В работе [16] приведены *PT*-оценки хромдиопсидов из ксенолитов трубки Удачная в том числе и по мономинеральному клинопироксеновому термобарометру NT00. Мы использовали приведённые в работе [16]. *PT*-оценки клинопироксенов для реконструирования палеогеотермы под трубкой Удачная для того чтобы сравнить палеогеотерму, мощности литосферы и “алмазного окна” под трубками Юбилейная и Удачная. Исследованные ксенолиты трубки Удачная [16–18] представлены крупнозернистыми перидотитами (рис. 4, зелёные кружки), а также переходными и катаклазированными перидотитами (рис. 4,



**Рис. 4.** Реконструированная палеогеотерма под трубкой Удачная (Далдынское поле). *PT*-оценки из [16]. Красные кружки – переходные и катаклазированные перидотиты, зелёные кружки – крупнозернистые перидотиты. Красная сплошная линия – палеогеотерма, реконструированная по хромдиопсидам из переходных, катаклазированных и крупнозернистых перидотитов. Тепловой поток – 35,1 мВт/м<sup>2</sup>, мощность литосферы 224 км, мощность “алмазного окна” 99 км. Зелёная сплошная линия – палеогеотерма реконструированная по хромдиопсидам только из крупнозернистых перидотитов. Тепловой поток – 34,7 мВт/м<sup>2</sup>, мощность литосферы 233 км, мощность “алмазного окна” 108 км, мощность “алмазного окна”, определённая по “У-краю” в гранатах, согласно [9], составляет 70 км. Красная и зелёная пунктирные линии – граница астеносфера-литосфера. Чёрная пунктирная линия – распространённость клинопироксенов по глубине. Модельные кондуктивные геотермы из [20]

красные кружки). Переходные и катаклазированные перидотиты характеризуются высокими температурами равновесия ( $>1200$  °C), что может быть связано с локальным тепловым воздействием астеносферы на глубинную часть литосферной мантии. Для реконструирования палеогеотермы использованы хромдиопсиды только из ксенолитов, где клинопироксен находится в равновесии с ортопироксеном и гранатом [16]. Были использованы такие же значения теплогенерации и мощности верхней и нижней коры как для трубки Юбилейная. Результирующий поверхностный тепловой поток для трубки Удачная составил  $35.1$  мВт/м<sup>2</sup>, при мощности литосферы  $224$  км, и мощности “алмазного окна”  $99$  км (см. рис. 4). По причине высоких температур равновесия мы исключили хромдиопсиды из переходных и катаклазированных перидотитов и использовали только хромдиопсиды из крупнозернистых перидотитов. В результате тепловой поток составил  $34.7$  мВт/м<sup>2</sup>, мощность литосферы  $233$  км, мощность “алмазного окна”  $108$  км, а мощность “алмазного окна”, определённая по “У-краю” в гранатах согласно [9] составляет  $70$  км (от  $125$  до  $195$  км) (см. рис. 4).

Полученные результаты указывают на то, что палеогеотермы трубок Юбилейная и Удачная характеризуются близкими значениями теплового потока, а также мощностью литосферы и мощностью “алмазного окна”. Однако алмазность кимберлитов трубки Удачная значительно отличается от трубки Юбилейная —  $1.47$  к/т и  $0.89$  к/т [5], соответственно. Следовательно, разница в алмазности может быть связана не только с мощностью опробуемой литосферы, но и также с другими петрологическими параметрами, такими как степень проявления алмазо-генерирующего и алмазо-деструктивного метасоматоза [19]. В работе [9] приведены данные о распространённости гарцбургитовых гранатов под трубками АМКП и Далдынского поля. Согласно [9], в пределах АМКП в диапазоне глубин  $105$ – $205$  км доля гарцбургитовых гранатов среди перидотитовых ассоциаций превышает  $30\%$ . В пределах Далдынского поля доля гарцбургитовых гранатов также превышает  $30\%$ , но в интервале глубин от  $145$  до  $210$  км. Такие различия в распределении гранатов свидетельствуют о том, что характер метасоматических преобразований перидотитов литосферной мантии уникален под отдельными кимберлитовыми трубками. По-видимому, в мантийном разрезе под трубкой Удачная содержится более высокая пропорция гарцбургит-дунитовых гранатов, чем в разрезе мантии под трубкой Юбилейная.

Стоит отметить, что мантийная палеогеотерма под трубкой Юбилейная с использованием программы FITPLOT была реконструирована впервые. Это исследование представляет ценные данные о литосферной мантии под трубкой Юбилейная, в том числе о составе мантии, термическом состоянии и мощности. Дальнейшие исследования состава минералов, таких как гранат, хромшпинелид, ильменит, а также использование более широкого спектра геотермометров и учёт дополнительных параметров, например, сейсмических данных, могут расширить представление о строении и эволюции литосферы в исследуемом регионе.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны АК “АЛРОСА” (ПАО) за предоставленные зёрна клинопироксенов из концентрата тяжёлой фракции кимберлитов трубки Юбилейная и любезного разрешения на публикацию результатов данных исследований.

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

### ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования проводились при поддержке гранта РФФИ  $22-27-00724$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розен О. М., Манаков А. В., Суворов В. Д. Коллизионная система северо-востока Сибирского кратона и проблема алмазоносного литосферного кила // Геотектоника. 2005. № 6. С. 42–67.
2. Костровицкий С. И. и др. Атлас коренных месторождений алмазов Якутской кимберлитовой провинции. 2015.
3. Lepikhina E. et al. SHRIMP U-Pb zircon ages of Yakutian kimberlite pipes / International Kimberlite Conference: Extended Abstracts. 2008. V. 9.
4. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов мира. 1998.
5. [https://www.rudmet.ru/media/docs/3\\_20\\_diamond.pdf](https://www.rudmet.ru/media/docs/3_20_diamond.pdf)
6. Nimis P., Taylor W. Single Clinopyroxene Thermobarometry for Garnet Peridotites. Part I. Calibration and Testing of a Cr-in-Cpx Barometer and an Enstatite-in-Cpx Thermometer // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2000. V. 139. P. 541–554.

7. Ziberna L. et al. Error sources in single-clinopyroxene thermobarometry and a mantle geotherm for the Novinka kimberlite, Yakutia // *American Mineralogist*. 2016. V. 101. № 10. P. 2222–2232.
8. Griffin W. L. et al. The Siberian lithosphere traverse: mantle terranes and the assembly of the Siberian Craton // *Tectonophysics*. 1999. V. 310. № 1–4. С. 1–35.
9. Ryan C. G., Griffin W. L., Pearson N. J. Garnet geotherms: Pressure-temperature data from Cr-pyroxene garnet xenocrysts in volcanic rocks // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 1996. V. 101. № B3. P. 5611–5625.
10. Mather K. A. et al. Constraints on the depth and thermal history of cratonic lithosphere from peridotite xenoliths, xenocrysts and seismology // *Lithos*. 2011. V. 125. №. 1–2. P. 729–742.
11. Манаков А. В. Особенности строения литосферы Якутской кимберлитовой провинции. 1999.
12. Розен О. М., Соловьев А. В., Журавлев Д. З. Термическая эволюция северо-востока Сибирской платформы в свете датирования керна глубинного бурения по трекам деления апатита // *Известия. Физика твердой Земли*. 2009. Т. 45. С. 914–931.
13. Ramsay R. R., Tompkins L. A. The geology, heavy mineral concentrate mineralogy, and diamond propectivity of the Boa Esperanca and Cana Verde pipes, Corrego D'anta, Minas Gerais, Brasil / The geology, heavy mineral concentrate mineralogy, and diamond propectivity of the Boa Esperanca and Cana Verde pipes, Corrego D'anta, Minas Gerais, Brasil: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Special Publication), 1994. P. 329–345.
14. Тычков Н. С. и др. Мезозойская литосферная оболочка северо-востока Сибирского кратона (по включениям в кимберлитах) // *Геология и геофизика*. 2018. Т. 59. № 10. С. 1254–1270.
15. Liu Z. et al. Thermal and compositional anomalies in a detailed xenolith-based lithospheric mantle profile of the Siberian craton and the origin of seismic mid-lithosphere discontinuities // *Geology*. 2022. V. 50. № 8. P. 891–896.
16. Ionov D. A., Doucet L. S., Ashchepkov I. V. Composition of the lithospheric mantle in the Siberian craton: new constraints from fresh peridotites in the Udachnaya-East kimberlite // *Journal of petrology*. 2010. V. 51. № 11. P. 2177–2210.
17. Doucet L. S., Ionov D. A., Golovin A. V. The origin of coarse garnet peridotites in cratonic lithosphere: new data on xenoliths from the Udachnaya kimberlite, central Siberia // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 2013. V. 165. P. 1225–1242.
18. Malkovets V. G. et al. Diamond, subcalcic garnet, and mantle metasomatism: Kimberlite sampling patterns define the link // *Geology*. 2007. V. 35. № 4. P. 339–342.
19. Hasterok D., Chapman D. S. Heat production and geotherms for the continental lithosphere // *Earth and Planetary Science Letters*. 2011. V. 307. № 1–2. P. 59–70.
20. Kennedy C. S., Kennedy G. C. The equilibrium boundary between graphite and diamond // *Journal of Geophysical Research*. 1976. V. 81. № 14. P. 2467–2470.

**THICKNESS AND THERMAL STATE OF THE LITHOSPHERIC MANTLE  
BENEATH THE YUBILEYNAYA PIPE  
(ALAKIT-MARKHA KIMBERLITE FIELD, SIBERIAN CRATON)**

© 2025 **M. V. Milaushkin<sup>a,b,#</sup>, V. G. Malkovets<sup>a,b</sup>, A. A. Gibsher<sup>a,b</sup>, A. M. Dymshits<sup>c,d</sup>, I. V. Yakovlev<sup>b</sup>,  
Academician of the RAS N. P. Pokhilenko<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>*Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Novosibirsk, Russia*

<sup>b</sup>*PJSC "ALROSA", Novosibirsk, Russia*

<sup>c</sup>*Institute of the Earth's crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia*

<sup>d</sup>*Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Geological Institute, Apatity, Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: milaushkinmv@igm.nsc.ru*

The paper presents the results of a study on the chemical composition of chromdiopside xenocrystals from the concentrate of the heavy fraction of kimberlites from the Yubileynaya pipe. A reconstruction of the mantle paleogeotherm was achieved through the application of monomineral clinopyroxene geothermobarometry and the FITPLOT programme. The palaeogeotherm was found to correspond to a surface heat flux of 34.8 mW/m<sup>2</sup>. The estimated thickness of the lithosphere beneath the Yubileynaya pipe is 230 km, with a diamond window interval of approximately 105 km (from 125 to 230 km). In order to facilitate a comparison of the palaeogeotherm, lithosphere and diamond window thicknesses beneath the Yubileynaya and Udachnaya pipes, the mantle palaeogeotherm beneath the Udachnaya pipe was reconstructed. The resulting values for the heat flux, lithosphere thickness, and diamond window under the Udachnaya pipe are 34.7 mW/m<sup>2</sup>, 233 km, and 108 km, respectively. However, the diamondiferous content of the Yubileynaya pipe is approximately two times lower than that of the Udachnaya pipe kimberlites. Consequently, the observed difference in diamondiferousness may be related not only to the thickness of the sampled lithosphere and the diamond window, but also to other petrological parameters, such as the degree of manifestation of diamond-generating and diamond-destructive metasomatism.

*Keywords:* kimberlite pipe, lithospheric mantle, chromdiopside, paleogeotherm