

Астеносферный и литосферный источники кимберлитового вулканизма

**Костровицкий С.И., Соловьева Л.В., Яковлев
Д.А., Калашникова Т.В. Эсенккулова С.А.**

**Институт геохимии СО РАН
Институт земной коры СО РАН**

serkost@igc.irk.ru

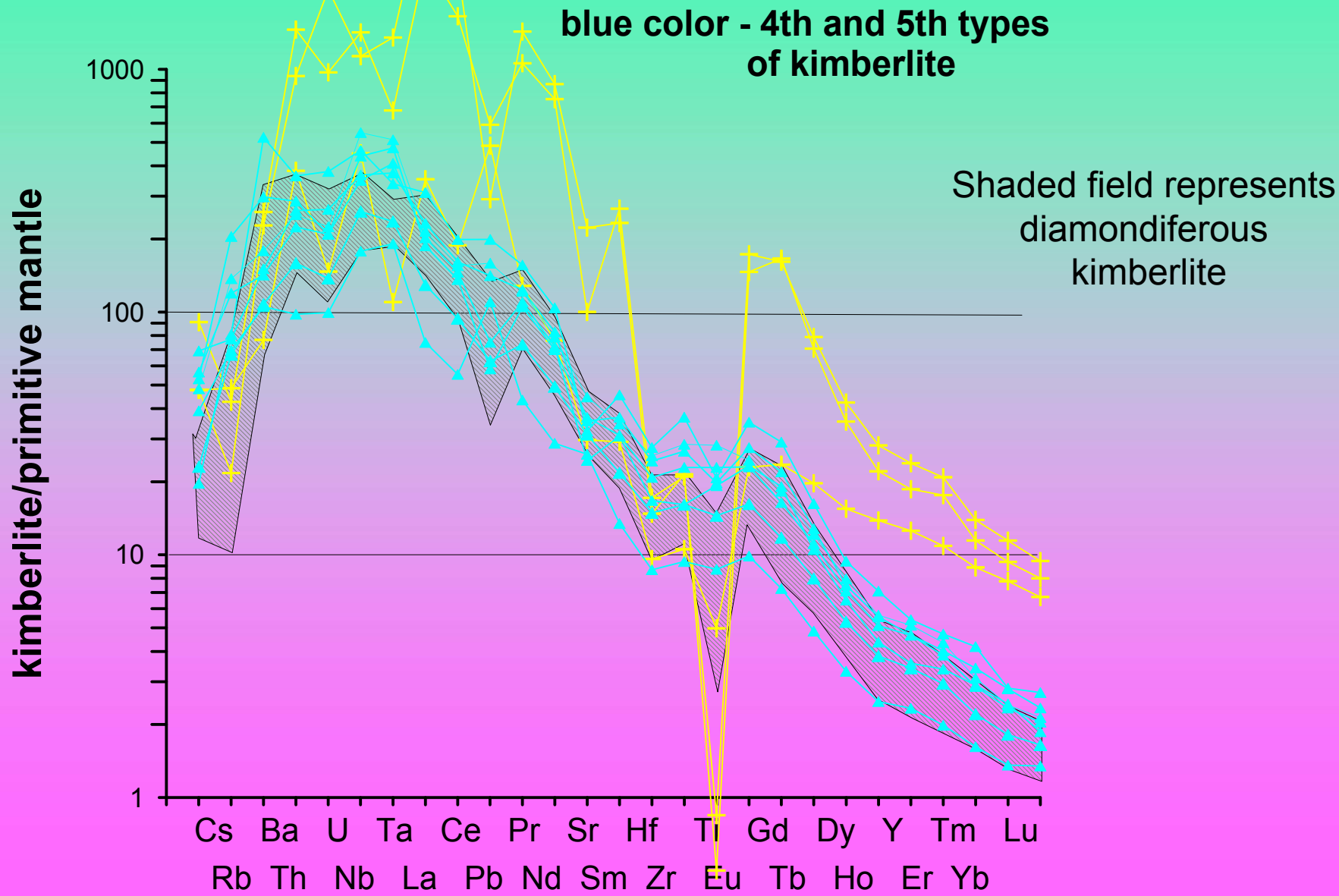
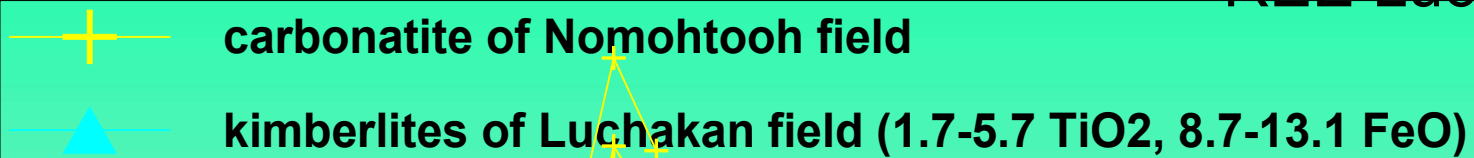
2012

- В журнале “Nature” (2012) V.481, No. 19, 352-356. опубликована статья James K. Russell, L.A. Porritt, Yan Lavallee & D.B. Dingwell
- «Kimberlite ascent by assimilation – fuelled buoyancy”. источник энергии для всплывания (восхождения)
- В статье дается обоснование быстрого подъема кимберлитового расплава за счет ассимиляции первичным кимберлитовым расплавом (который, предполагается, был существенно карбонатитового состава) обломочного материала литосферной мантии и в 1-ю очередь, ортопироксена. Основные положения статьи: Ассимиляция карбонатитовым расплавом силикатного материала литосферы ведет к образованию кимберлитового расплава, обуславливая постепенное снижение в нем растворимости CO₂ и H₂O и в результате их высвобождение. Общая плотность и вязкость смеси расплав + летучие снижается, а ее мобильность, всплываемость (**buoyancy**) возрастает.

Критика модели J.K. Russell et al (2012)

- Модель не учитывает широкого разнообразия петрохимического состава кимберлитов;
- Модель никак не объясняет наличия в кимберлитах генетически связанной с ними мегакристной низко-Cr, высоко-Ti ассоциации минералов.
- Карбонатная компонента кимберлитов отличается по микроэлементному составу от карбонатитов. Следующий слайд.

REE Luchakan field



Широкий диапазон изменчивости химического состава кимберлитов, а с другой стороны, устойчивые различия в составе кимберлитов, выполняющие отдельные трубки, кусты трубок и даже поля трубок явились основанием для разработки петрохимической классификации кимберлитов (Костровицкий и др., 2007). Было выделено 5 петрохимических типов кимберлита, различающихся по содержанию FeO, TiO₂, K₂O.

Петрохимические типы

Таблица 1. Петрохимические типы кимберлитов, выделяемые в пределах Якутской провинции.

Петрохимические типы		Параметры содержания показательных окислов (в вес. %)			Типичные примеры трубок, выполненные петрохимическим типом	Основные районы распространения
№	Характеристика	FeO _{total}	TiO ₂	K ₂ O		
1	высокомагнезиальный, низкотитанистый, низкокалиевый	<6	<1	<1	Айхал, Интернациональная, Обнаженная	Все южные алмазоносные поля, за исключением Накынского
2	высокомагнезиальный, низкотитанистый, высококалиевый	<6	<1	1-2,5	Дачная, Загадочная, Буковинская, Нюрбинская	Накынский поле
3	магнезиально-железистый, высокотитанистый, низкокалиевый	6-9	1-2,5	<1	Мир, Удачная, Дальняя, Зарница, Сытыканская, Юбилейная, Заполярная	Все алмазоносные поля, за исключением Накынского
4	железотитанистый, низкокалиевый	8-15	1,5-7	< 1,5	Дружба (Чомурдахское), Космическая (Ары-Мастахское) Виктория (Староречинское)	Северные поля
5	железотитанистый, высококалиевый	8-15	1,5-7	1,5-5	Лыхчан, Поздняя (Лучаканское), Рудный двор, Баргыдымалах (Ары-Мастахское)	

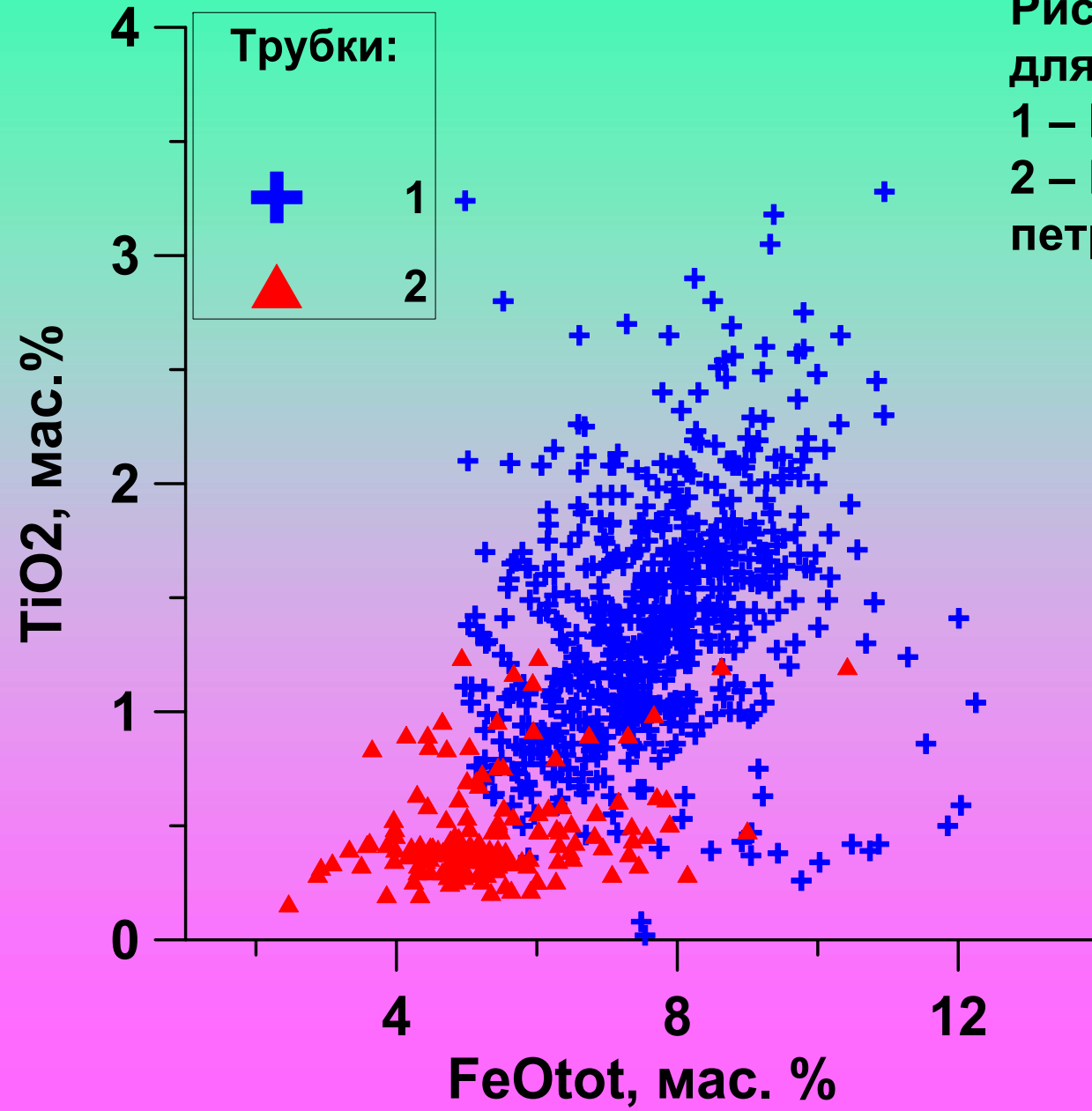


Рис. 3. График FeO_{tot}-TiO₂ для кимберлитов из трубок: 1 – Мир (3-й петрохим тип; 2 – Интернациональная (1-й петрохимический тип).

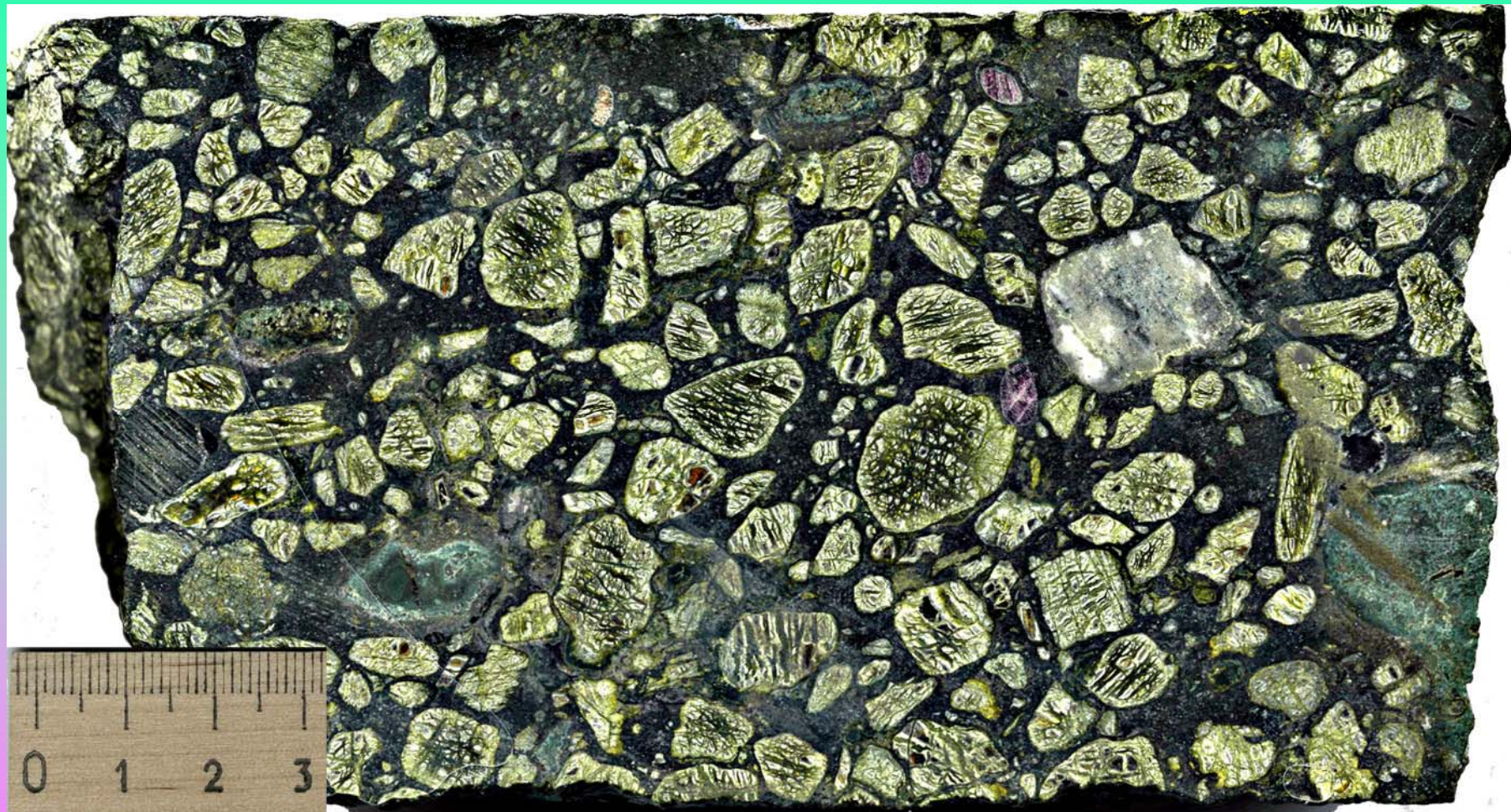


Рис. 1. Фотография брекчии порфирированного кимберлита с трубки Интернациональная, которая на 60-70 % сложена макро-, мегакристаллами оливины явно обломочной формы. На фото видны 2 зерна пирропа дунит-гарцбургитового парагенезиса.

- Мы предполагаем, что различия по составу между 1-м высоко-Mg и 3-м Mg-Fe типами обусловлены, в первую очередь, разной насыщенностью обломочного материала литосферной мантии, который, в основном, имеет высоко-Mg, высоко-Cr состав.
- 1-й тип в максимальной мере насыщен этими обломками.
- О степени насыщенности ксеногенным материалом литосферной мантии можно судить по соотношению макрокристов оливина с разной магнезиальностью. Считается (Костровицкий, 1986), что Ol с более магнезиальным составом (91-94% Fo) появился за счет дезинтеграции в целом высоко-Mg литосферной мантии, а Ol с более железистым составом (86-90% Fo) кристаллизовался из первичного кимберлитового расплава.
- В высоко-Mg кимберлитах содержится только высоко-Mg оливин. Mg-Fe кимберлиты содержат от 10 до 50 % относительно железистый оливин.
- На следующем слайде мы демонстрируем такое соотношение для кимберлитов из трубки Удачная-Восточная.

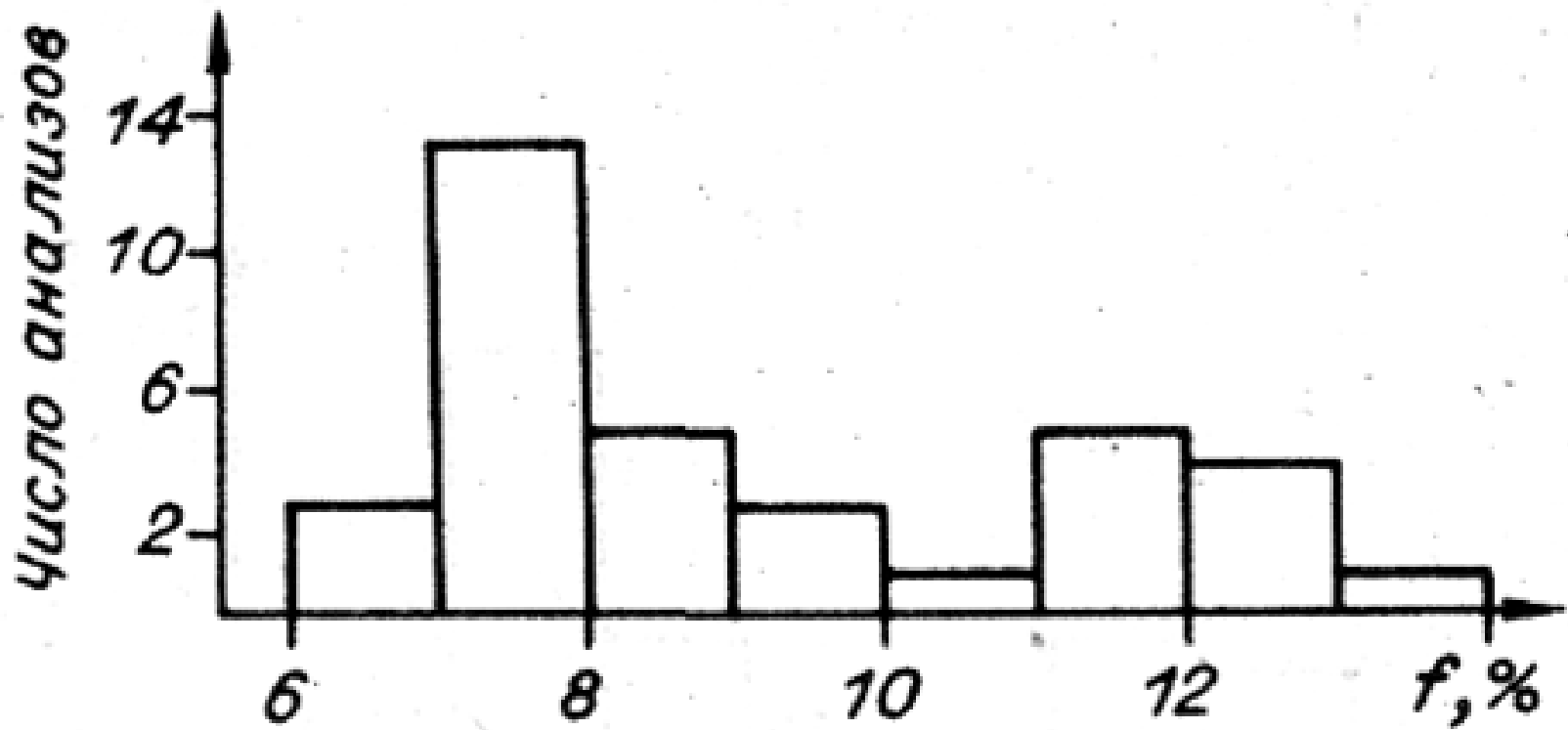


Рис. 1. Гистограмма железистости (Fe компонента) оливинов из кимберлитов трубки Удачная-Восточная (3-й петрохимический тип).

Соотношение оливинов четко коррелируется и с химическим составом породы, и с содержанием пикроильменита в кимберлите. При низкой концентрации FeO_{total} в кимберлитах относительное количество высоко-Mg оливина заметно возрастает; содержание пикроильменита в высоко-Mg кимберлитах падает до нуля.

- Роль гибридизма в становлении кимберлитов наглядно видна при рассмотрении особенностей состава брекчиевых и массивных кимберлитов, слагающих трубчатые и даечные тела Куойкского поля, и в частности, трубку Обнаженная. Брекиевые по сравнению с массивными разновидностями кимберлиты характеризуются более высоким содержанием SiO_2 , MgO и более низким CaO и CO_2 . Начало формирования брекчий, по-видимому, следует отнести к моменту прохождения кимберлитовым расплавом-флюидом литосферной мантии и связано с процессами дезинтеграции и захвата ее пород.

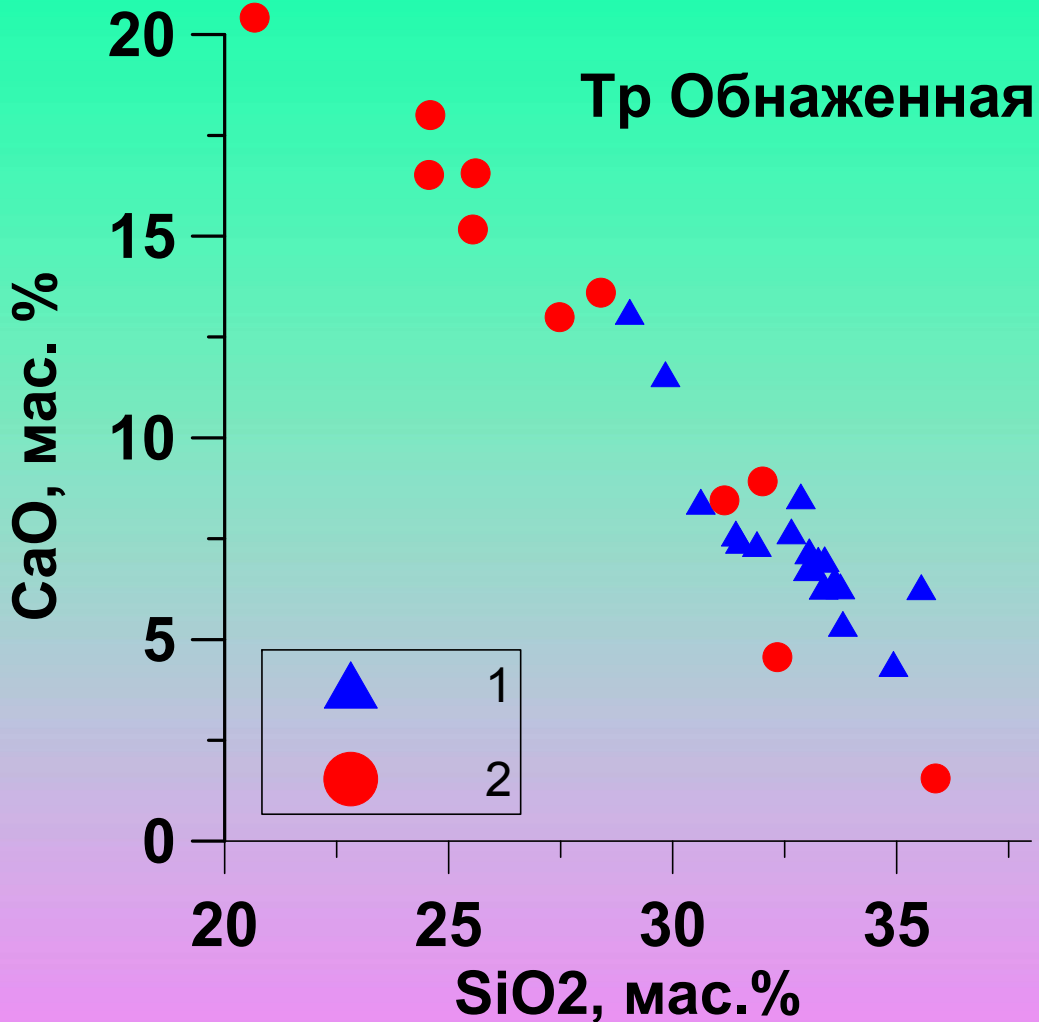


Рис. 3. График SiO₂-CaO для кимберлитов трубки Обнаженная.

- 1 – брекчия;
- 2 – массивный порфировый кимберлит.

Брекчим по сравнению с массивными кимберлитами содержат больше SiO₂, MgO и меньше CaO и CO₂. **Начало формирования брекчий**, по-видимому, следует отнести к моменту прохождения кимберлитовым расплавом-флюидом литосферной мантии и связано с процессами дезинтеграции и захвата ее пород. Это чрезвычайно важный генетический вывод.

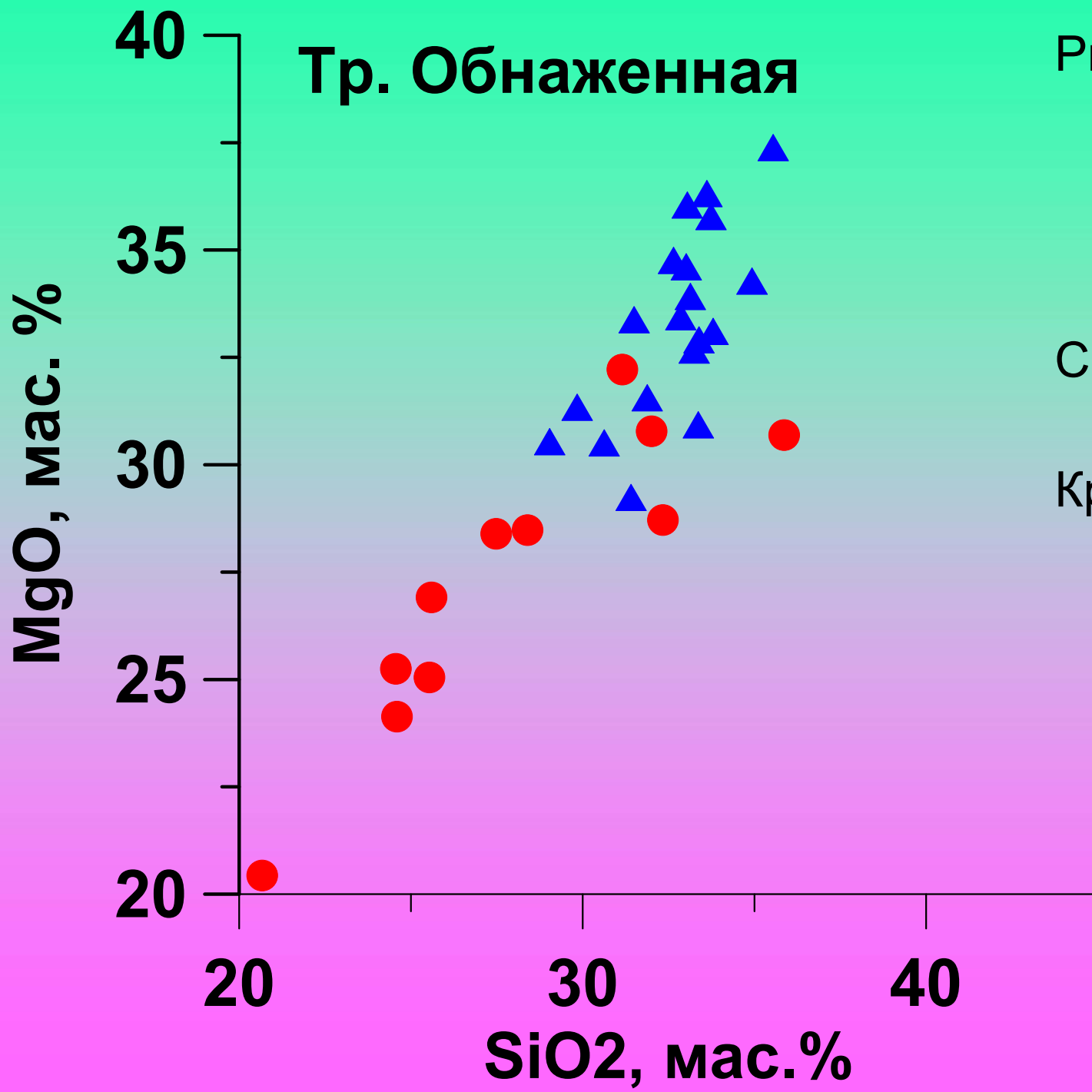


Рис. 3. График SiO₂-MgO для кимберлитов трубки Обнаженная.

Синий тр-к – брекчия;

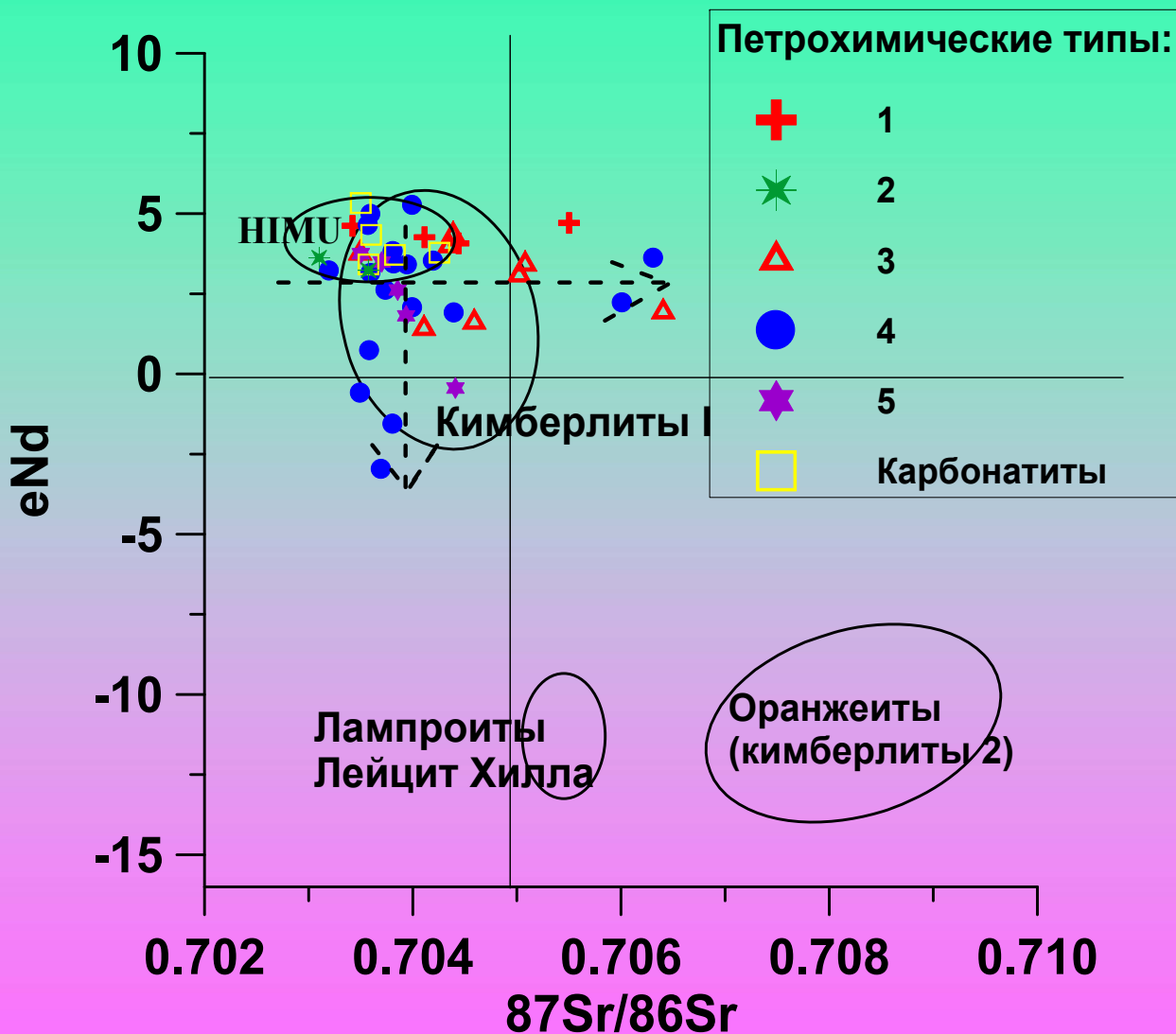
Красный кружок – массивный порфировый кимберлит.

Астеносферный источник

- Что нам указывает на участие в формировании кимберлитов астеносферного источника?
- И 2-й вопрос, какой был состав астеносферного источника?

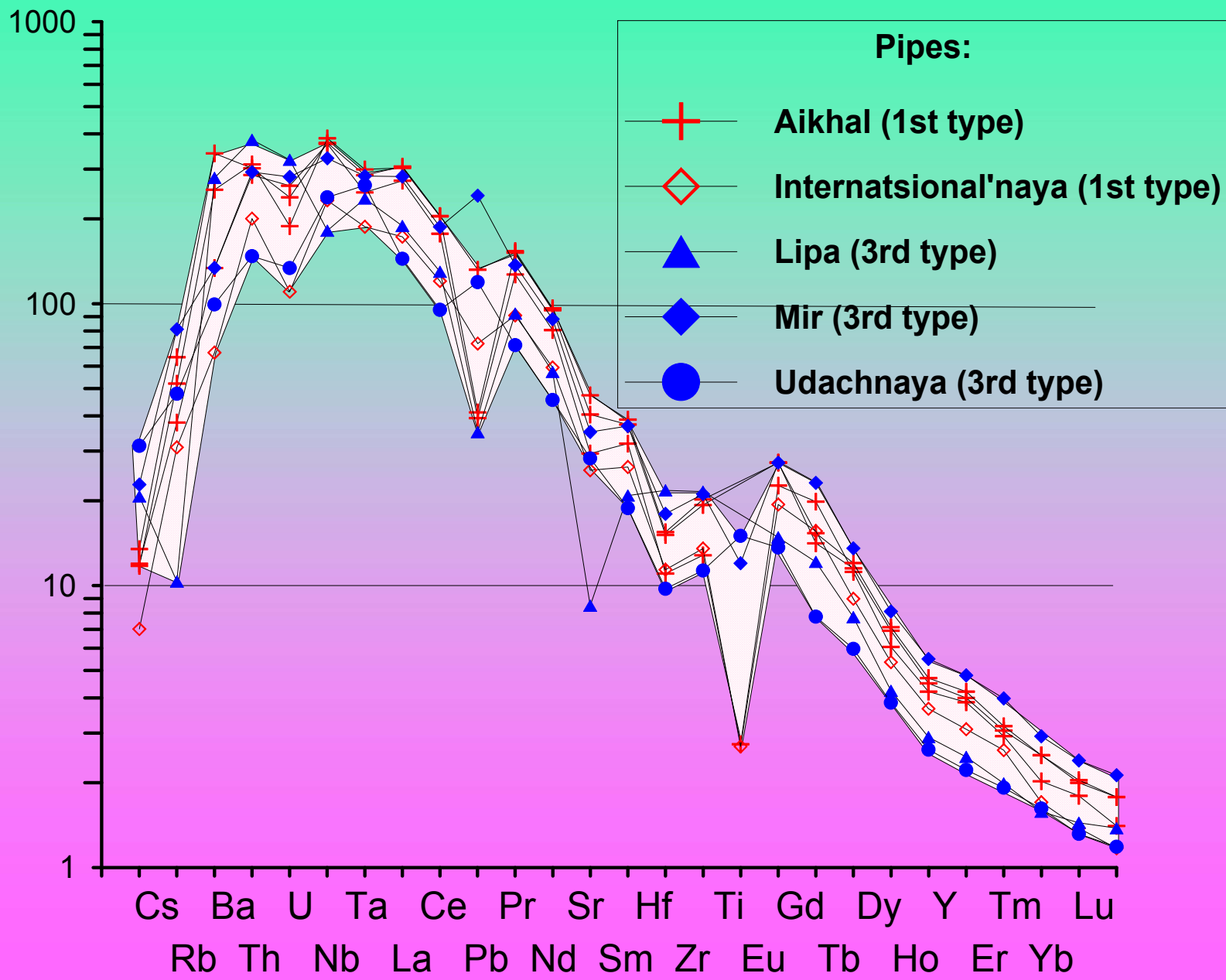
На астеносферный источник прежде всего указывает изотопия (источник PREMA) и геохимия кимберлитов. Уникальная однородность их составов для большинства провинций Мира, которая никак не может получиться путем плавления современной литосферной мантии. Происхождение низко-Cr мегакристной ассоциации минералов также связывается с астеносферным расплавом (Boyd, Nixon, 1975), о чем говорят и самые высокие оценки P-T условий их кристаллизации, и сходство их составов с составами минералов наиболее глубоких пород литосферной мантии – деформированными лерцолитами.

ϵ_{Nd} - $^{87}Sr/^{86}Sr$

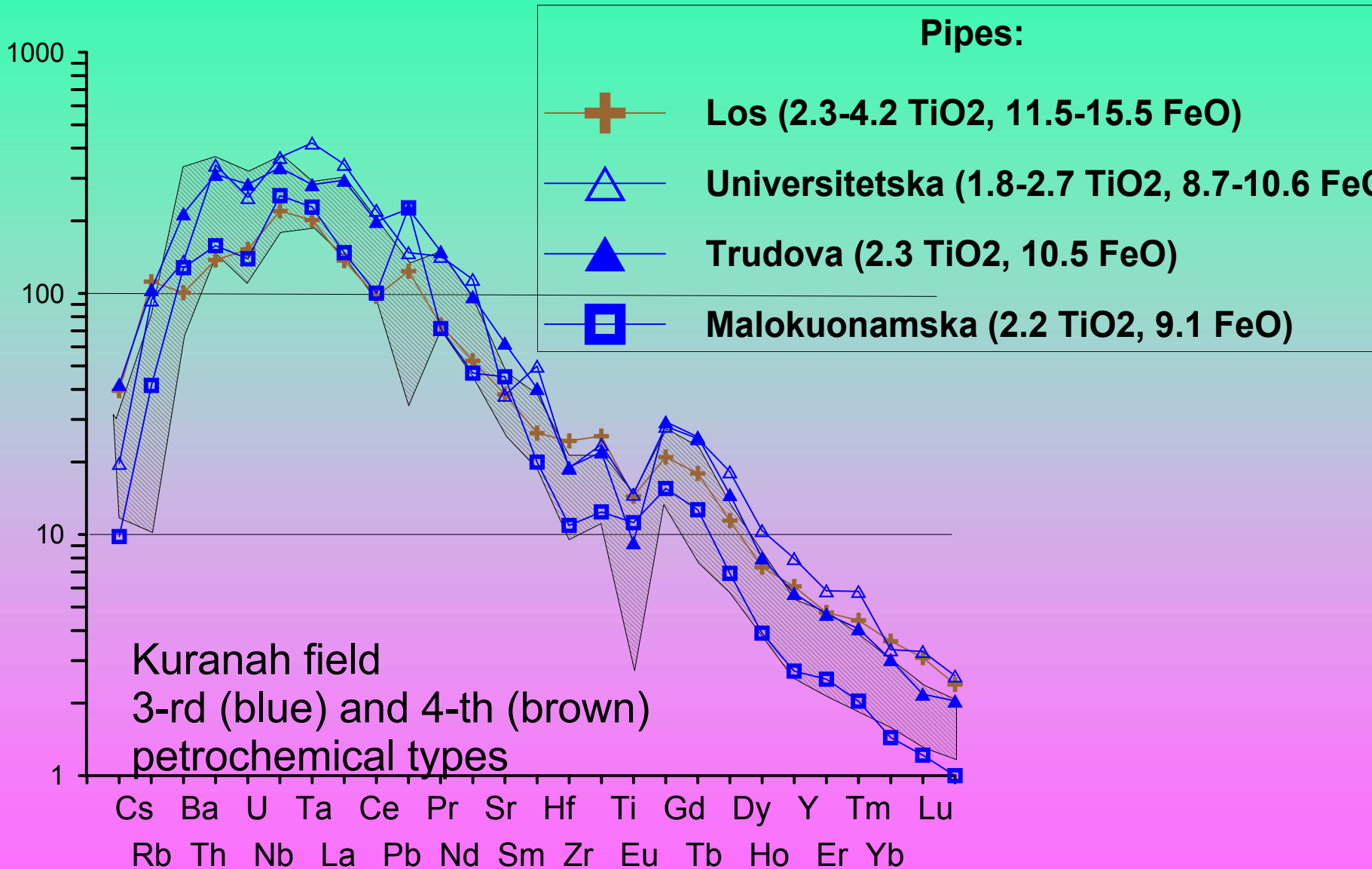


Изотопная Sr-Nd систематика кимберлитов не зависит от петрохимических типов, а это, в свою очередь, указывает на независимость изотопных характеристик от состава литосферы.

kimberlite/primitive mantle



kimberlite/primitive mantle



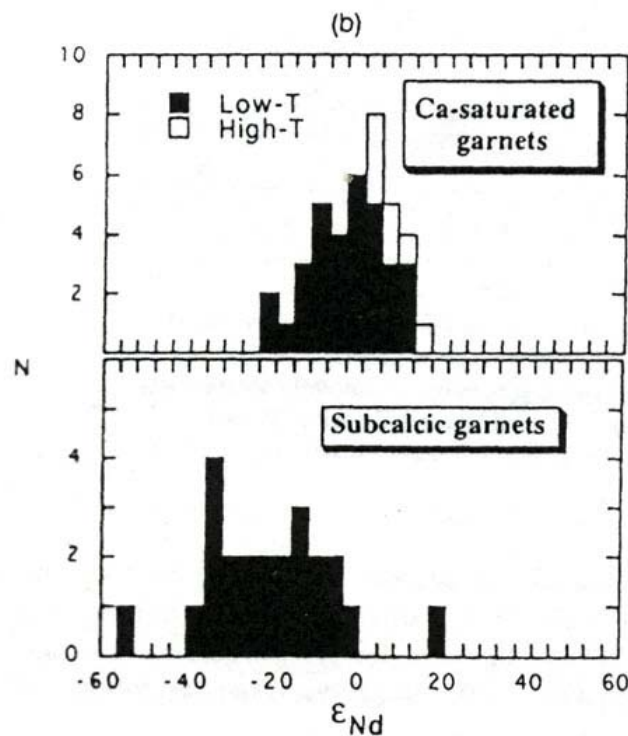
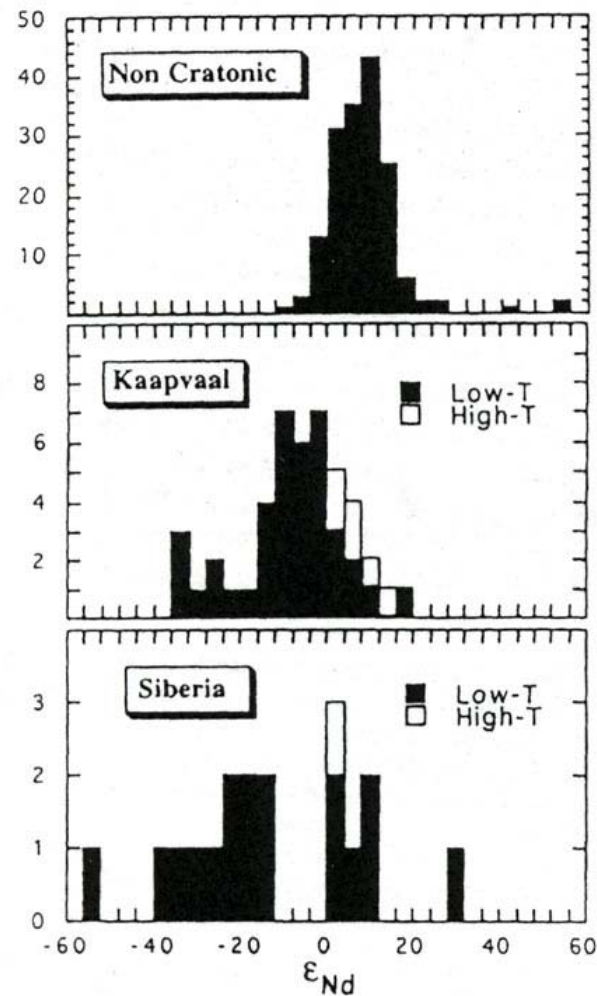


FIG. 13. (a) Comparison of ϵ_{Nd} values for minerals from cratonic and noncratonic peridotites. Data from this study and references given in McDonough (1990). (b) Comparison of ϵ_{Nd} values for minerals in cratonic spinel and Ca-saturated garnet lherzolite/harzburgite xenoliths with Ca-undersaturated (subcalcic) garnets in peridotites from the Siberian and Kaapvaal lithospheres. Data from this study and references given in McDonough (1990).

Высоко-Mg
 кимберлит тр.
 Интернациональная
 обусловлен
 засорением
 обломками дунит-
 гарцбургитов
 Поскольку величина
 ϵ_{Nd} для дунит-
 гарцбургитов
 является
 отрицательной
 согласно McDonough
 (1990), а для
 кимберлитов она –
 положительная,
 следует вывод, что
 изотопный состав
 кимберлитов никак
 не связан с
 литосферным
 источником.

Состав астеносферного источника

- Мы предполагаем, что по составу астеносферный расплав-флюид был наиболее близок щелочному базальтоиду.
- Об этом свидетельствует модельный расчет материнского расплава для мегакристов Срх, произведенный R.A.Jones
- (1987). Следующий слайд.

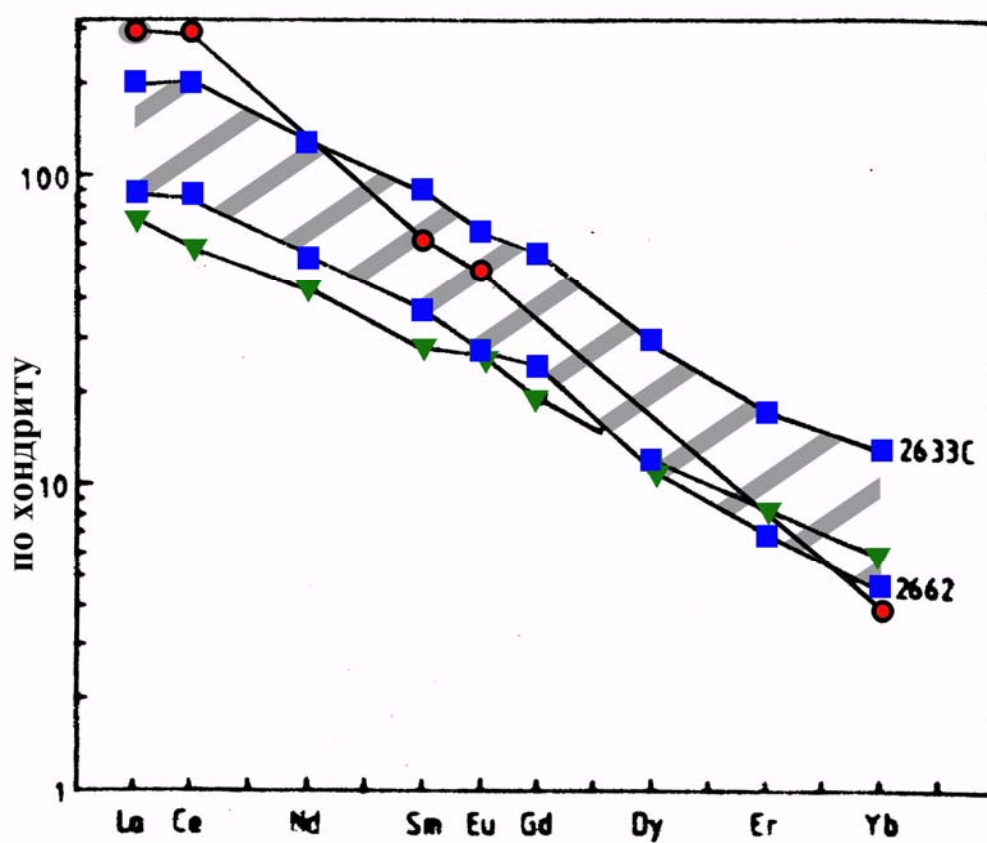


Рис. Из статьи R.A.Jones (1987) "Sr and Nd isotopic and REE Evidence for the genesis of megacrysts in kimberlites of Southern Africa"

Заштрихованное поле, ограниченное синими квадратами, соответствует модельному расчету состава материнского расплава для мегакристов Срх.

Линия с красными кружками – распределение для кимберлитов
 Линия с зелеными треугольниками – для щелочных базальтоидов

Вывод автора статьи

The calculated patterns are significantly closer to the pattern of the alkali basalt than that of the host kimberlite.

- Имеются еще два аргумента, указывающие на генетическую связь кимберлитового и базальтоидного вулканизма.
- 1) Существует пространственная и временная связь между кимберлитами и базальтоидными породами (это и Накынское поле Якутской провинции, и Архангельская провинция и др.).
- 2) В щелочных базальтах, как и в кимберлитах, обнаруживаются мегакристы граната (Шаварын-Царан, Моголия).

Модель кимберлитообразования

- Наша модель кимберлитообразования существенным образом отличается от модели, предложенной J.K. Russell.
- Первичный расплав-флюид астеносферы по составу отвечал насыщенному CO_2 щелочному базальтоидному. Уже на уровне астеносферы происходила его дифференциация, приводящая к образованию частей с разным соотношением расплавной и флюидной компонент и возможно, с разным содержанием щелочей (K_2O).
- Прорыв через литосферную мантию осуществлялся разными сценариями:
- 1) При существенном доминировании флюидной компоненты образование кимберлитов происходило в результате захвата и контаминации высоко-Mg высоко-Cr пород литосферной мантии, что приводило к формированию 1-го петрохимического типа кимберлитов.
- 2) При заметном участии расплавной фазы (наряду с флюидной) формировались в зависимости от содержания расплавной компоненты 3-й (Mg-Fe), 4-й и 5-й (Fe-Ti) петрохимические типы кимберлитов. Безусловно, и эти типы кимберлитов формировались при значительной контаминации литосферного обломочного материала.

Модель кимберлитообразования

- Данная модель логично объясняет устойчивые различия петрохимизма кимберлитов, слагающих разные кусты трубок, поля трубок и даже провинции.
- Модель объясняет наличие или отсутствие низко-Sr высоко-Ti мегакристной ассоциации минералов, кристаллизация которой происходила в расплавной фазе астеносферного источника кимберлитов.

- Если принять за начало становления кимберлитов кристаллизацию мегакристной ассоциации минералов, а за конец – кристаллизацию оливина основной массы, то эволюция состава кимберлитового расплава будет выглядеть, как происходящая в направлении повышения его магнезиальности. Этот аномальный тренд развития магматического расплава может быть объяснен только непрерывно происходящим процессом контаминации высокомагнезиальными породами литосферной мантии.

Выводы

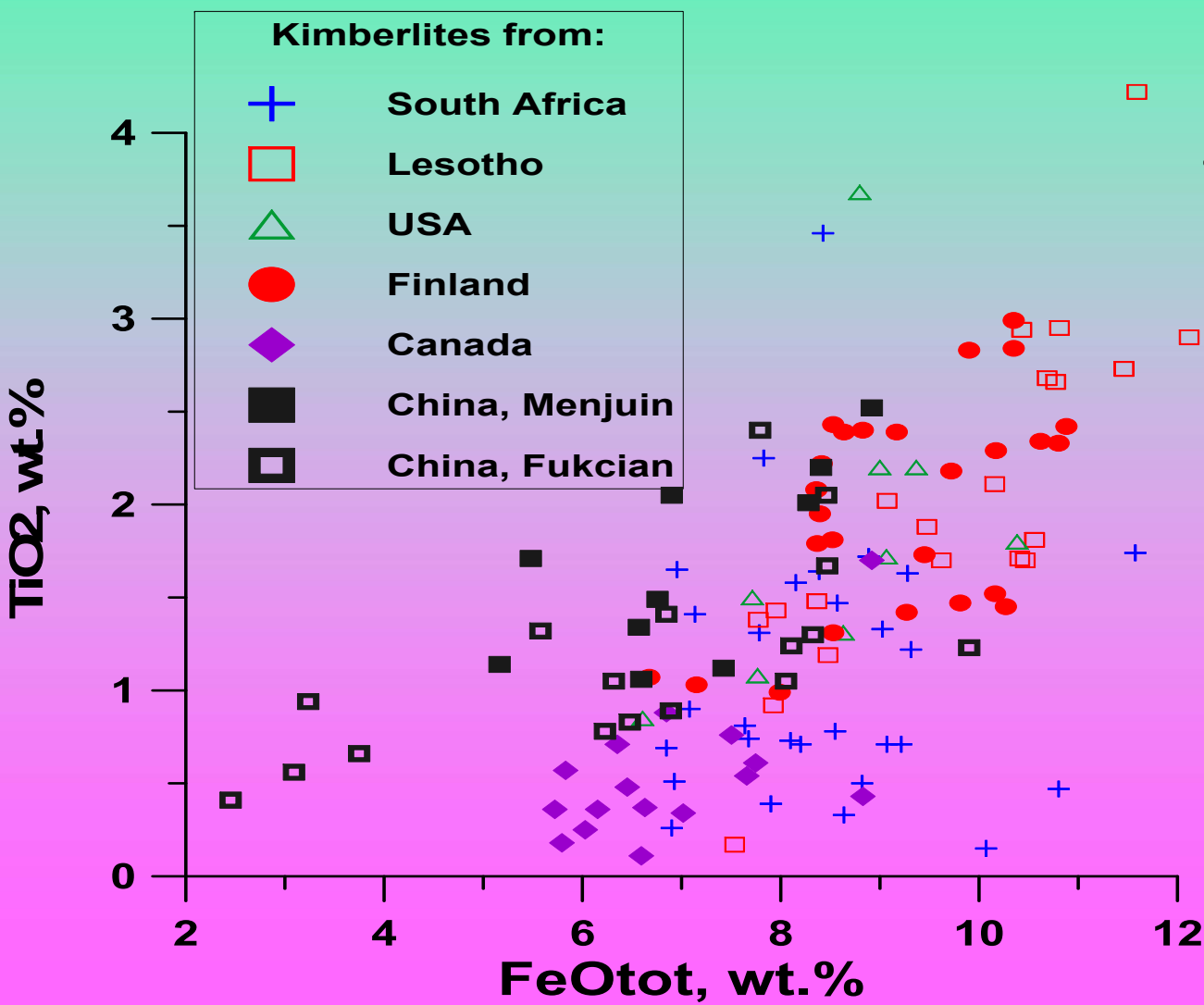
- 1) Проявления кимберлитового вулканизма нами рассматриваются, как каналы прорыва астеносферного расплава-флюида через литосферную мантию к поверхности Земли, сопровождающегося дезинтеграцией и частичной контаминацией пород мантии.
- 2) Возникновение разных петрохимических типов кимберлита, возможно, обязано разному соотношению флюидной и расплавной частей астеносферного источника и обусловленной этой причиной разному объему захваченного обломочного материала литосферной мантии.
- 3) Высоко-Mg тип кимберлита формировался при прорыве преимущественно флюидной части астеносферы, производящей более интенсивную дезинтеграцию и последующий захват максимального кол-ва обломочного литосферного материала.
- 4) В образовании Mg-Fe типа кимберлита участвовали как флюидная, так и расплавная части астеносферного вещества. Расплавная часть объясняет и повышенное содержание в кимберлитах FeO, TiO₂, и наличие в них мегакристных Ol, Grt и Ilm.

Генезис петрохимических типов кимберлитов, их алмазоносность

- Через понимание механизма кимберлитообразования становится ясным и ответ на вопрос, чем объясняются разная алмазоносность разных петрохимических типов кимберлита. Петрохимический критерий потенциальной алмазоносности кимберлитов (прямая корреляция с содержанием MgO и обратная – с FeO и TiO₂) является отражением процесса более масштабного захвата кимберлитовым расплавом-флюидом мантийных ксенолитов дунит-гарцбургитовых пород в случае, если доминировала флюидная фаза.
- Аналогично, минералогический критерий алмазоносности (низко-Ca, высоко-Cr гранаты, высоко-Cr шпинель) указывают на относительно высокое содержание в кимберлитах обломочного материала дунит-гарцбургитовых пород. Таким образом, петрохимический и минералогический критерии дополняют друг друга и, по существу, имеют одну и ту же природу.
- Наиболее высокоалмазоносными месторождениями представлены высоко-Mg кимберлитами. Это трубки Интернациональная, Айхал, Ботубинская и Нюрбинская.

Спасибо за внимание

FeO-TiO₂ for provinces of World



- Кимберлиты характеризуются высокой вариацией химических составов.

- Изучая изотопную систематику по Sr и Nd , а также особенности распределения редких некогерентных элементов в разных типах кимберлитов мы пришли к выводу о независимости этих характеристик от химического состава кимберлитов. Откуда следует следующий вывод о существовании двух мантийных источников вещества при формировании кимберлитов – астеносферного и литосферного. Собственно это заключение уже доказывает гибридную природу кимберлитов.

- Изучение изотопной систематики Sr, Nd для мегакристой ассоциации минералов привело к выводу:
- 1. Начальные изотопные величины $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ отношение и ϵNd для мегакристов Grt, Phl, Crx отвечает слабо истощенному мантийному источнику в пересчете на возраст 400 млн. лет и в принципе он подобен изотопному составу вмещающих кимберлитов с учетом возраста и возможного взаимодействия с литосферным источником.

