



**Особенности состава и эволюция среды образования
алмазов ультраглубинного происхождения
(месторождение Сао-Луис, Бразилия)**

Зедгенизов Д.А., Рагозин А.Л.

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

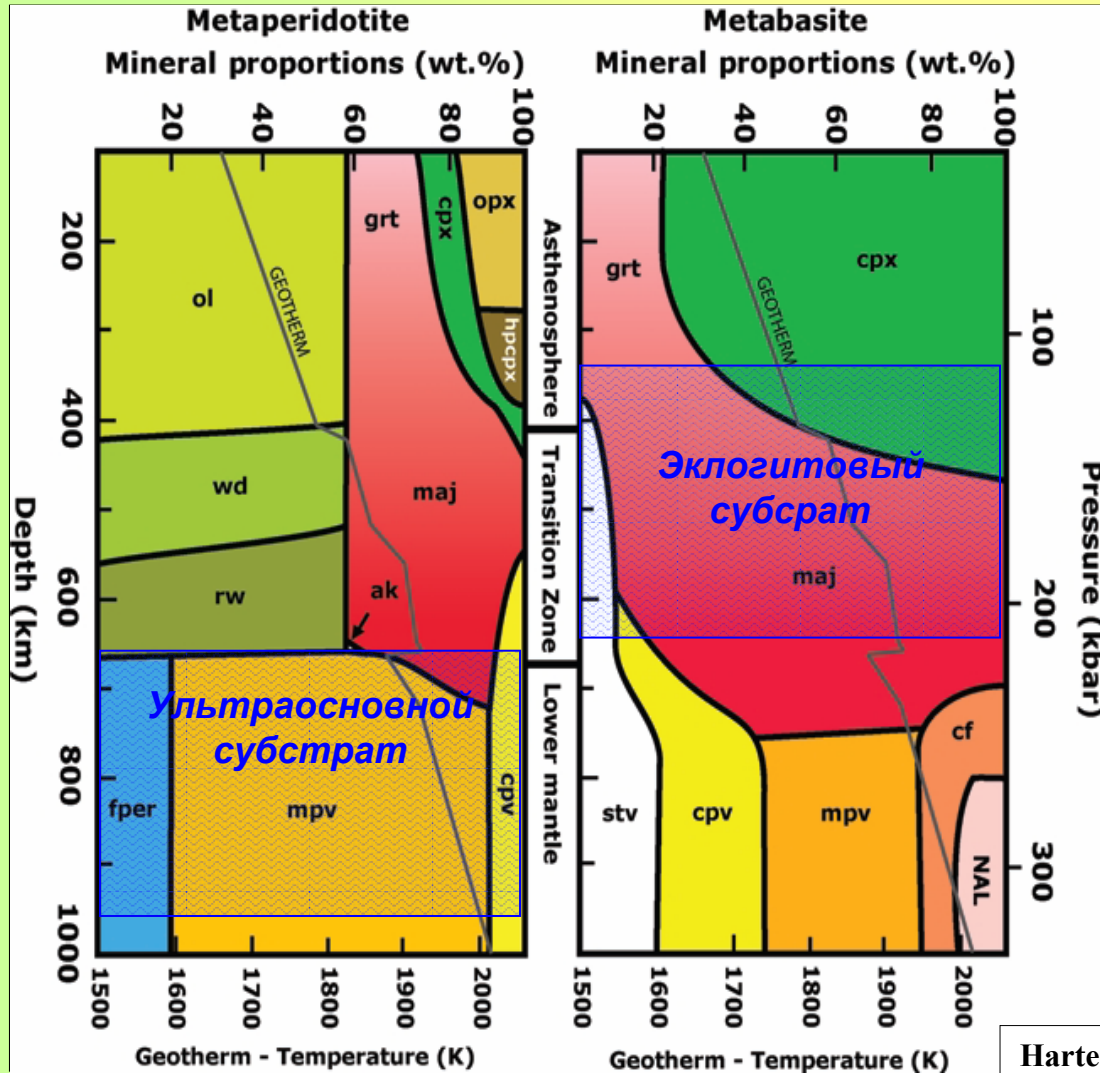
Шацкий В.С.

Институт геохимии им. А.П.Виноградова СО РАН

Каги Х.

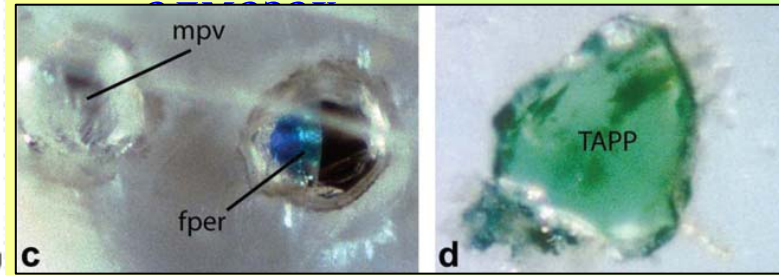
Токийский Университет (Япония)

Сверхглубинные алмазы Superdeep diamonds



Harte, 2010

Включения в

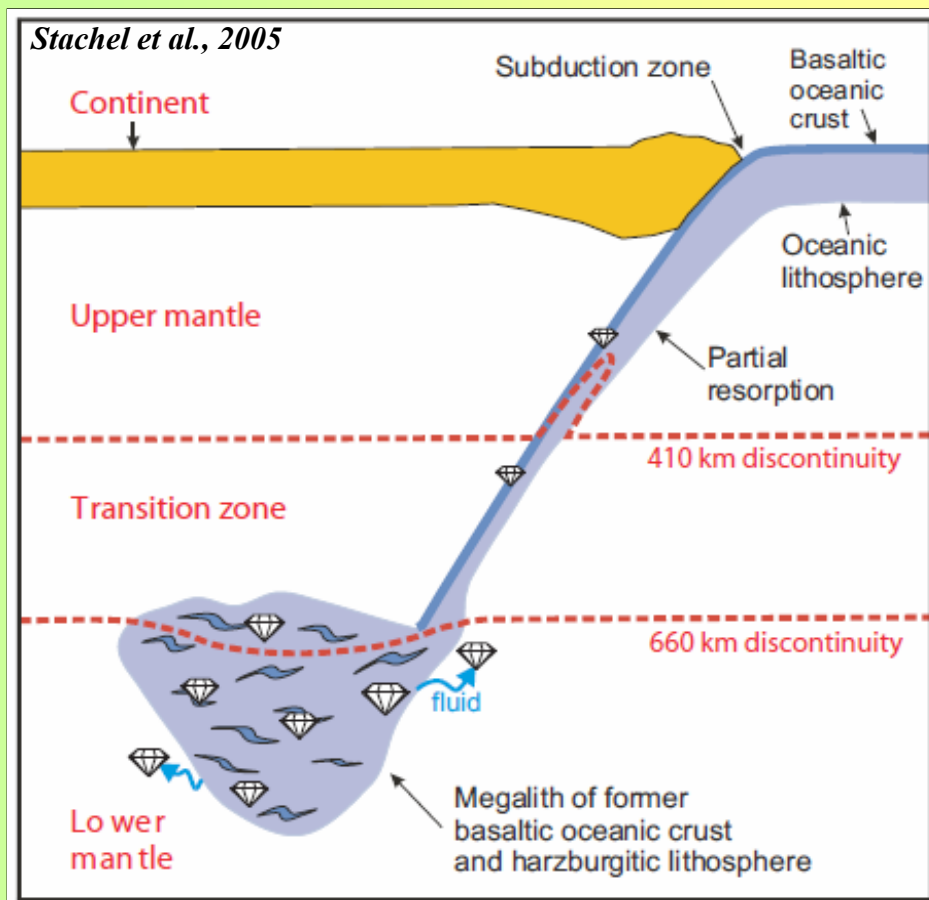


**Мaj-Grt,
MgSi-Pv, fPer, CaSi-
Pv, TAPP, SiO₂**

Сверхглубинные алмазы

Superdeep diamonds

В настоящее время существует ряд показателей (например, высокое содержание Al в MgSi-Pv или Eu аномалии в CaSi-Pv), что большая часть сверхглубинных алмазов образовалась не в примитивной мантии, а в погружающейся океанической плите, которая аккумулируется в виде *мегалита* в верхнем горизонте нижней мантии.

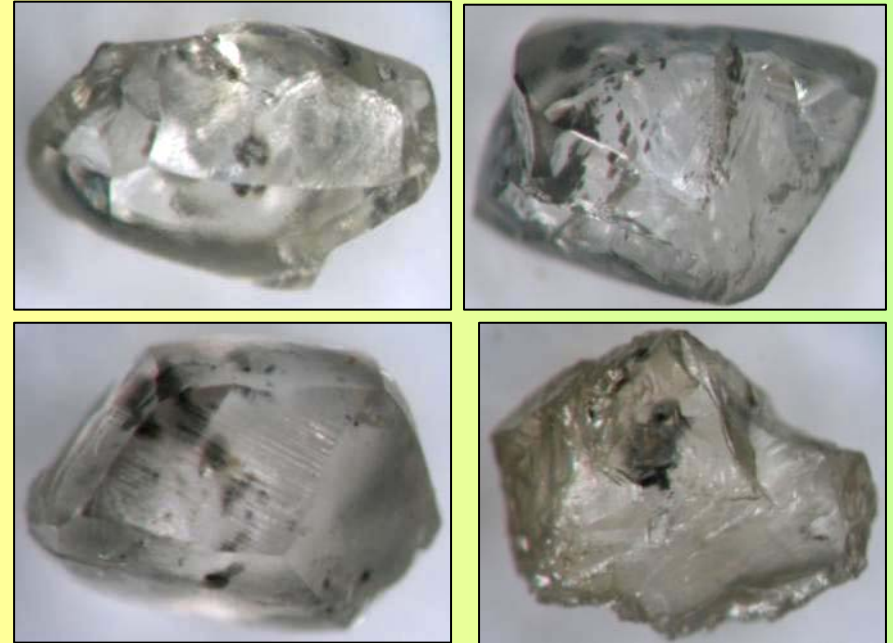
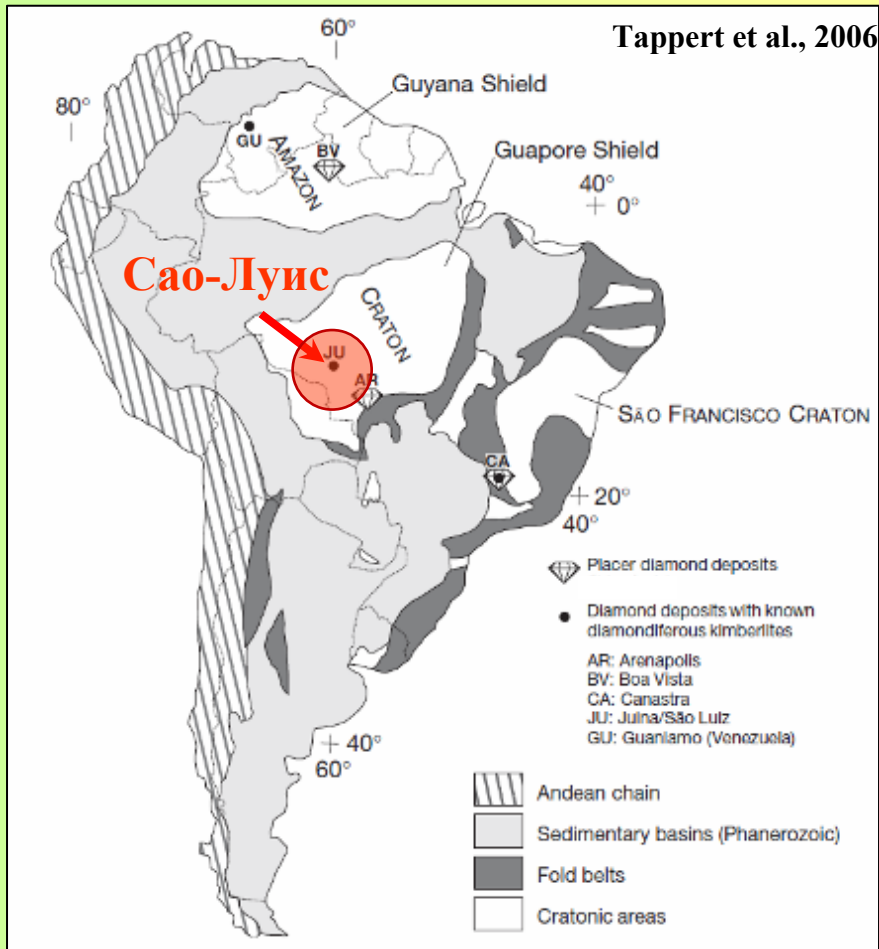


Состав алмазообразующих сред (?)

- Карбонатные расплавы
(*Walter et al., 2008; Bulanova et al., 2010*)
- Восстановленный С-О-Н флюид
(*Davies et al., 1999; Kaminsky et al., 2001*)
- Разный
(*Harte et al., 1999; Stachel et al., 2002*)

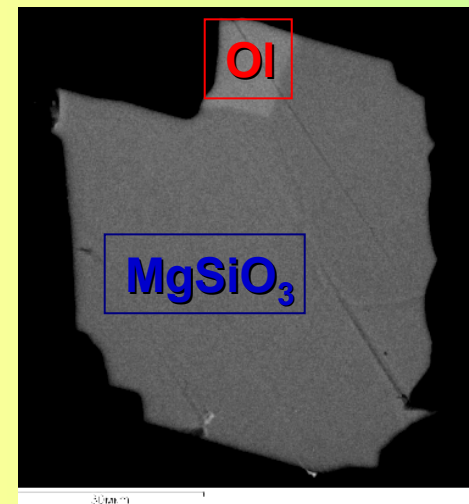
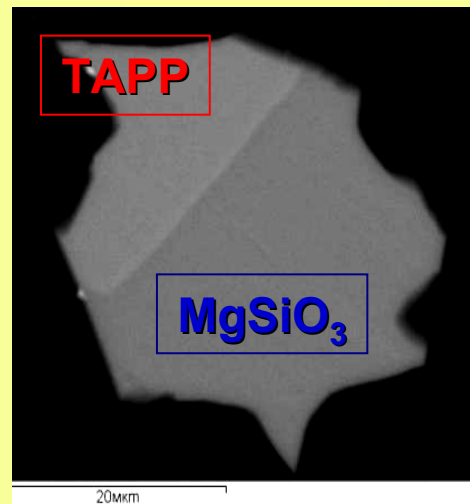
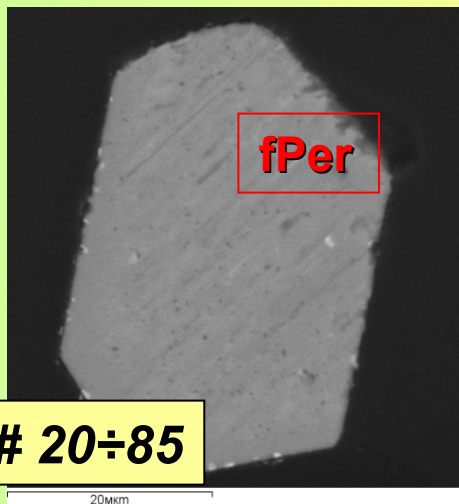
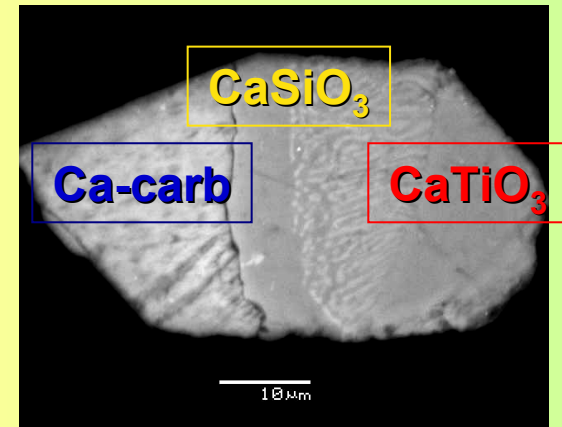
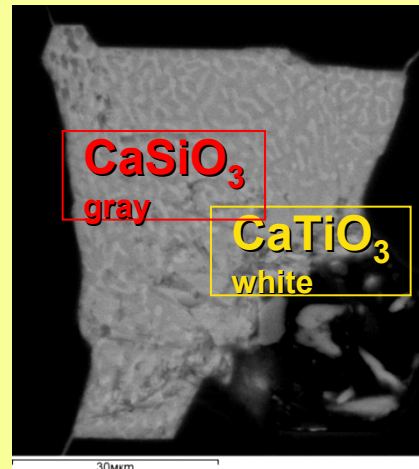
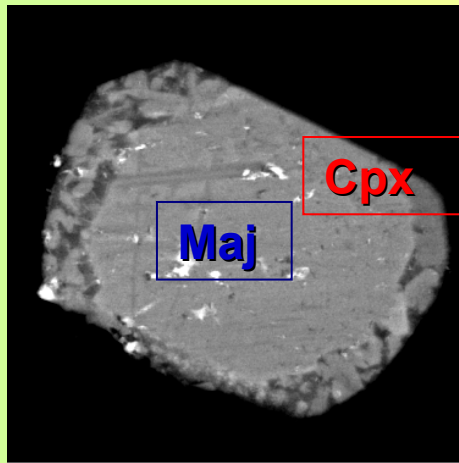
Сверхглубинные алмазы Superdeep diamonds

Алмазы из м-я Сао-Луис (Джуина, Бразилия) образовались на глубинах переходной зоны и нижней мантии.



- История роста
- Дефектно-примесный состав
- Изотопный состав углерода
- Минеральные включения
- Микровключения (флюид/расплав)

Минеральные включения



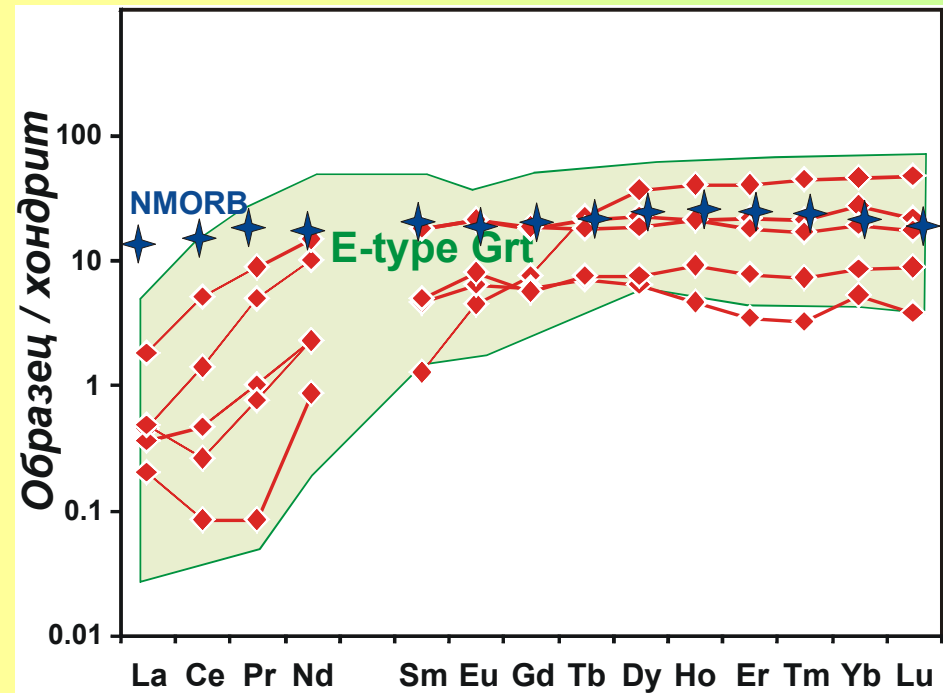
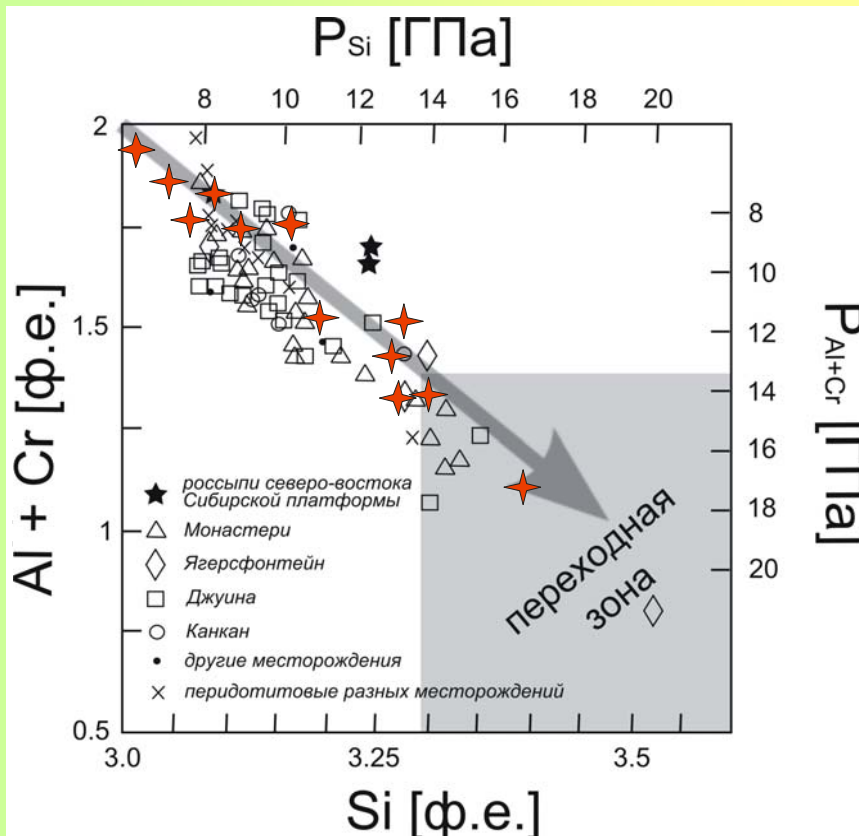
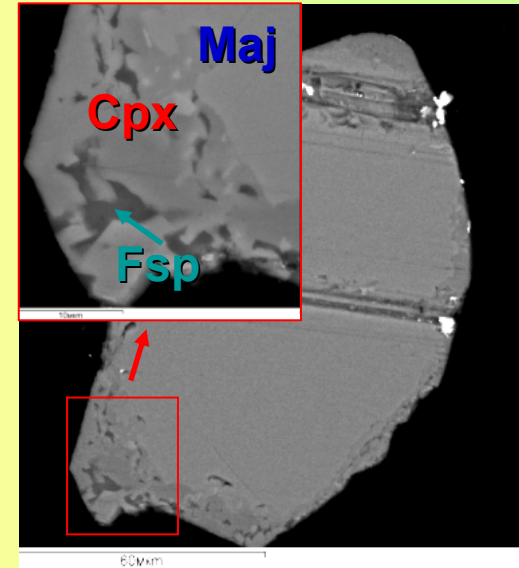
Mg# 20÷85

Мейджоритовые гранаты эклогитового парагенезиса (\pm клинопироксен), CaSi-перовскит (\pm CaTi-перовскит) и чистые алюмосиликатные фазы с переменным соотношением Al и Si.

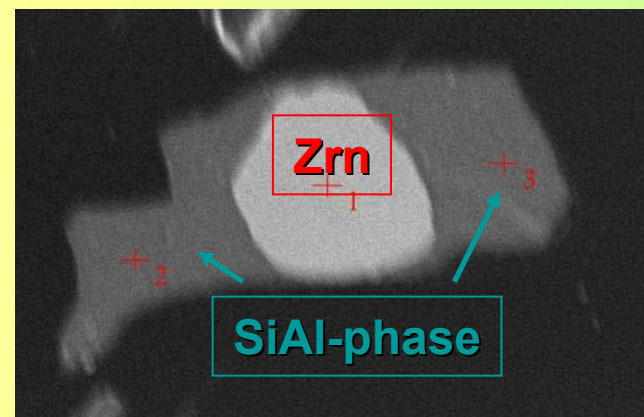
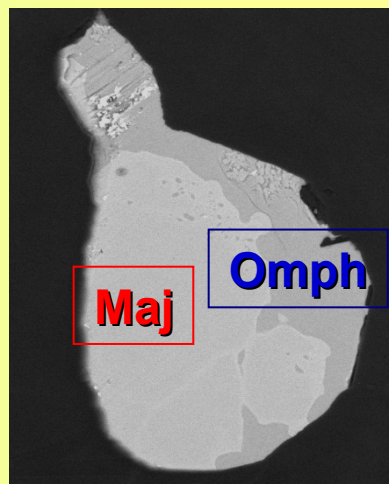
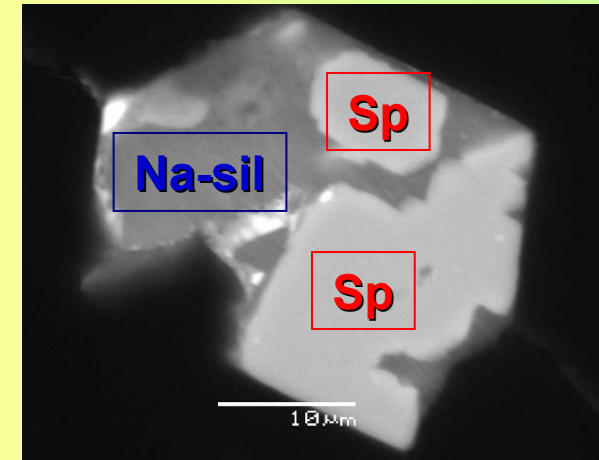
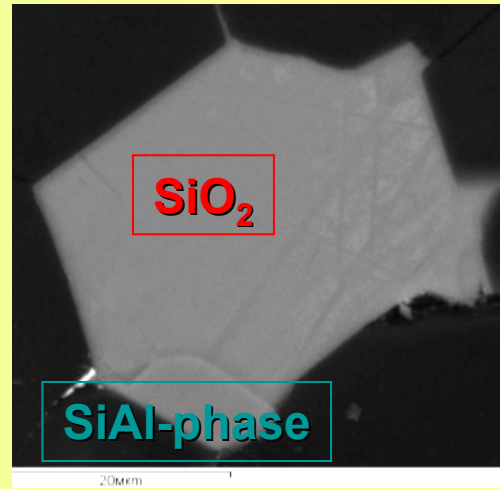
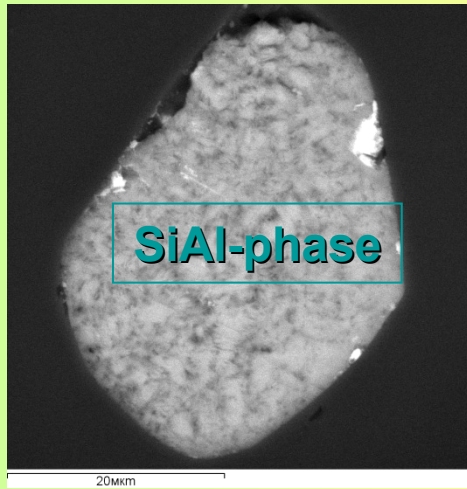
MgSi-перовскит, ферропериклаз, TAPP (тетрагональный гранат пиропового состава), Cr-пироп, гроссуляр, оливин, шпинель, металлическое железо, Fe-сульфиды, ильменит, рутил, коэсит, калишпат, карбонаты и циркон.

Минеральные включения

- Мейджоритовые гранаты имеют широкий спектр составов.
- Образование таких гранатов происходило на глубине нижних горизонтов верхней мантии и переходной зоне.

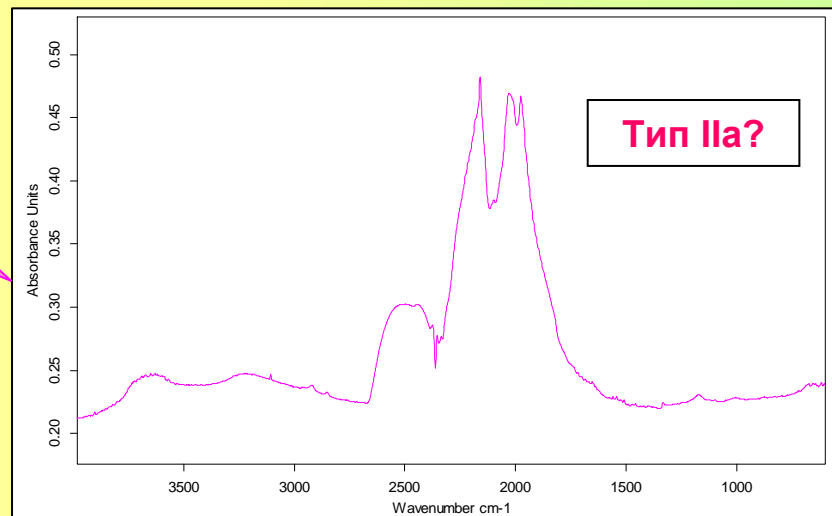
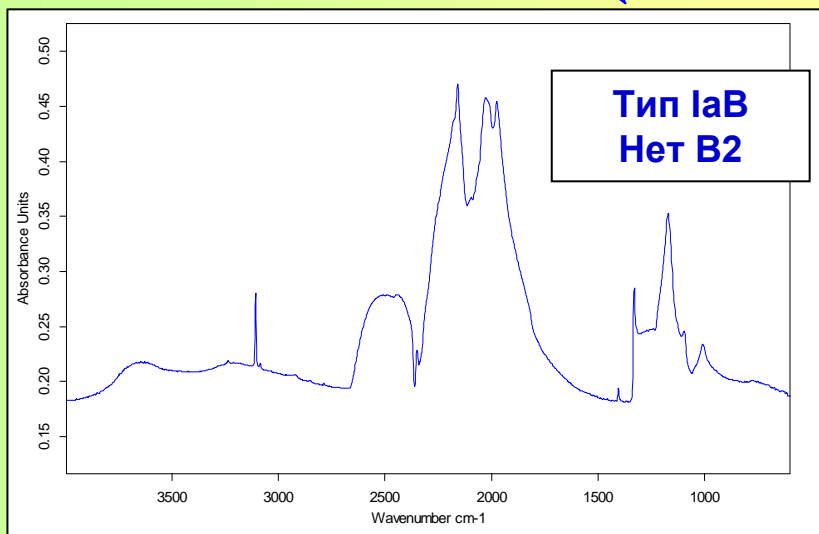
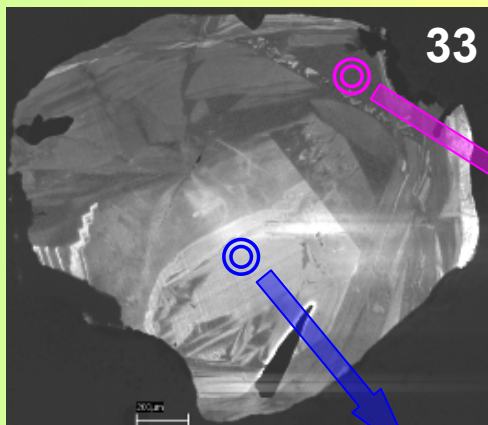


Минеральные включения



Ассоциация включений CaAlSi- и SiAl-фаз, K-голландита, Maj-граната и SiO₂ соответствует экспериментально обоснованной ассоциации для глубоко субдуцированных метаосадков (Poli and Schmidt 2002).

Азотные дефекты



- **Общее содержание азота <1200 ppm.**
- **Значительное количество безазотных алмазов (Тип IIa).**
- **В пределах отдельных кристаллов содержание азота может варьировать до 500 ppm.**

Люменесценция:

N3 – 3 атома азота в плоскости (111) связанных с вакансией

N3 – (i) N-V-N комплекс (пара атомов азота разделенных вакансией) или (ii) V-N-N-V комплекс (дефект A с двумя вакансиями)

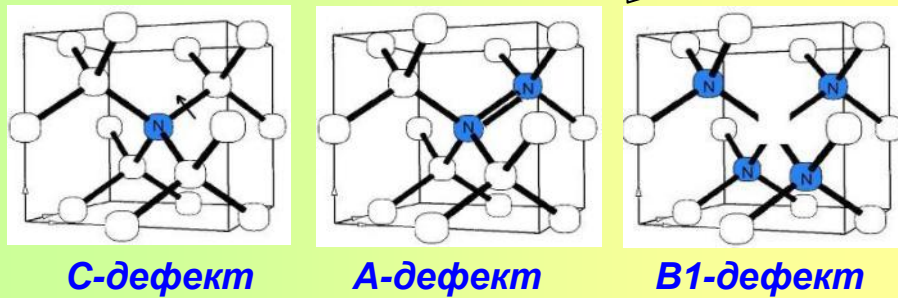
N4 - дефект B1 с вакансией

4907 - вакансионный комплекс

Агрегация азотных дефектов

Важной особенностью изученных алмазов является крайне высокая степень агрегации азотных дефектов (65-100 %B1).

Степень агрегации (T-t)

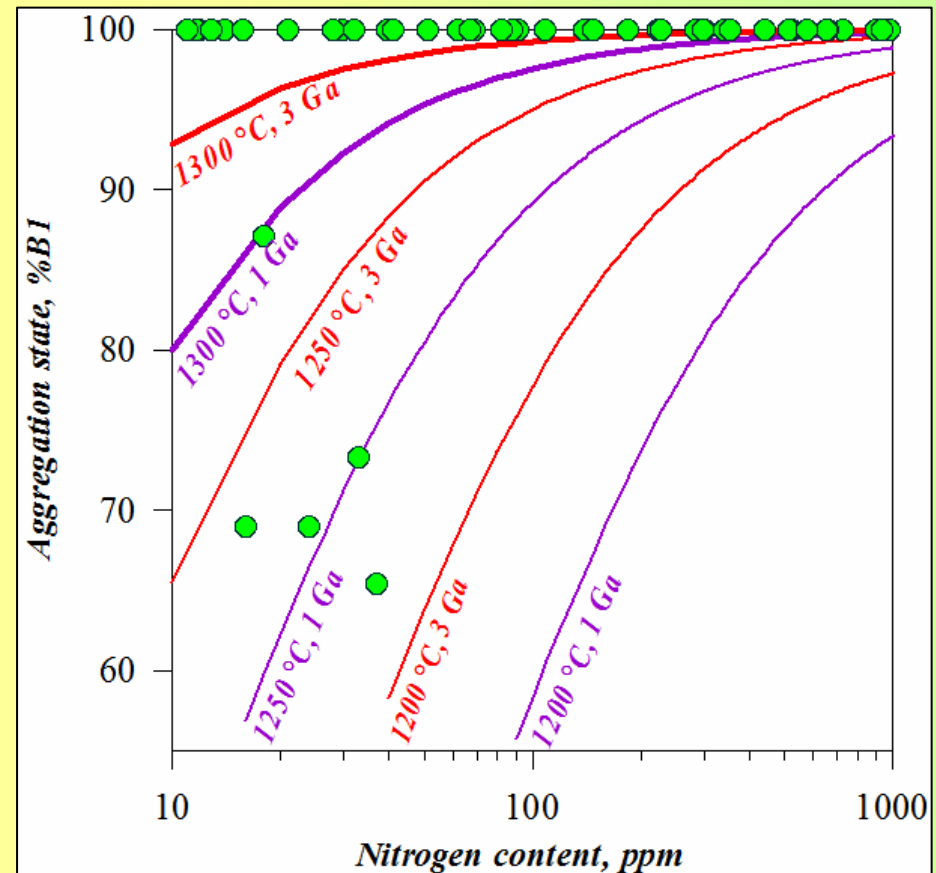


100%B1 (N>100 ppm)

T=1300°C – время «отжига» >3 Ga (?)

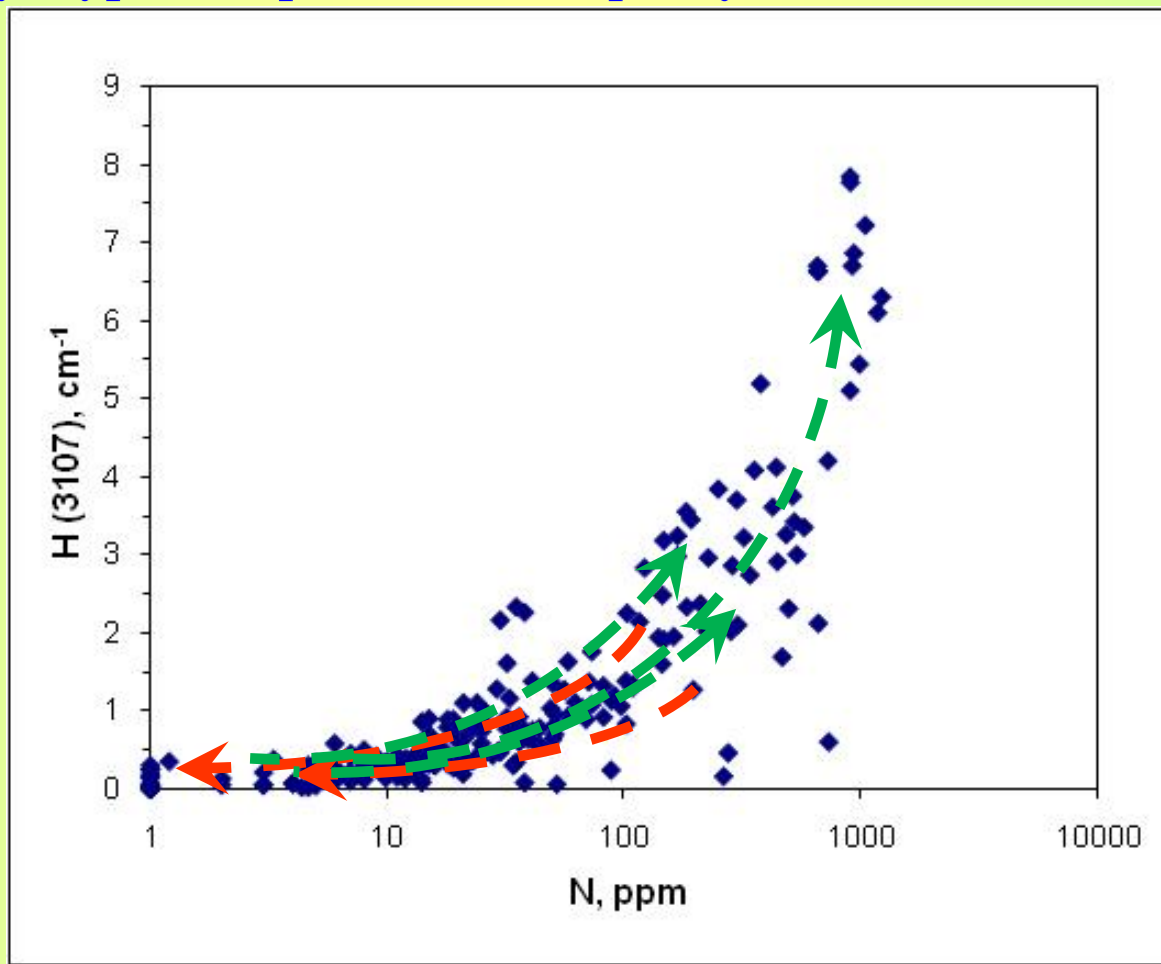
T=1500°C – время «отжига» <0.1 Ma

Предельно высокая степень агрегации азота в алмазах из Сао-Луис свидетельствует об их сверхглубинном (сублитосферном) образовании при высоких температурах, а не об их длительном пребывании в мантии.



Азот и водород

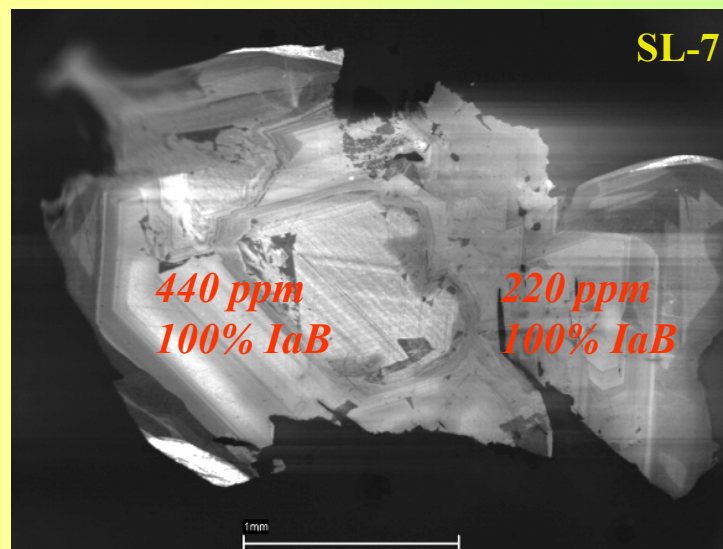
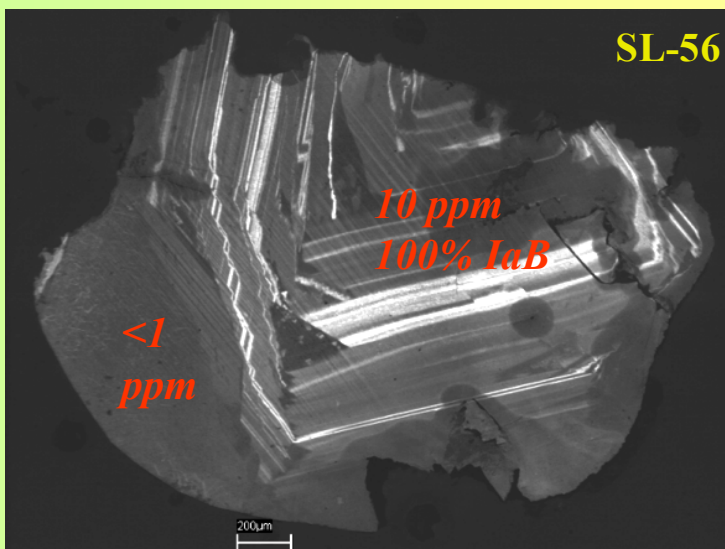
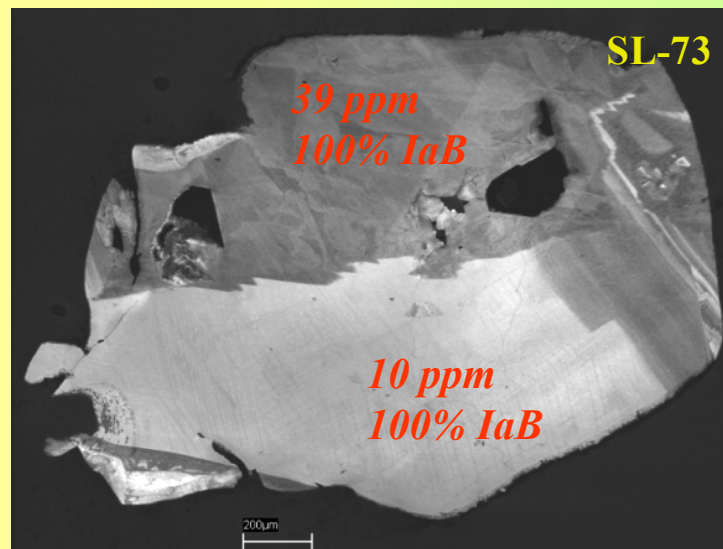
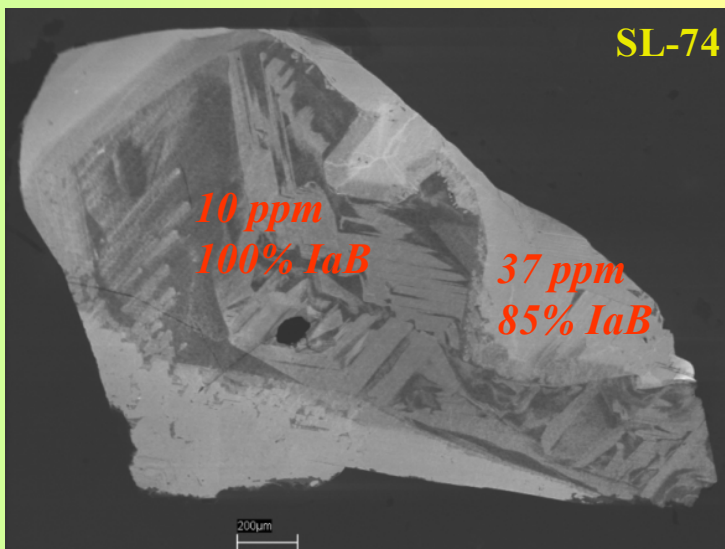
Зависимость содержания примеси азота и водорода свидетельствует о сходных условиях вхождения структурных примесей в сверхглубинных алмазах.



Центр → Край
N и H увеличиваются

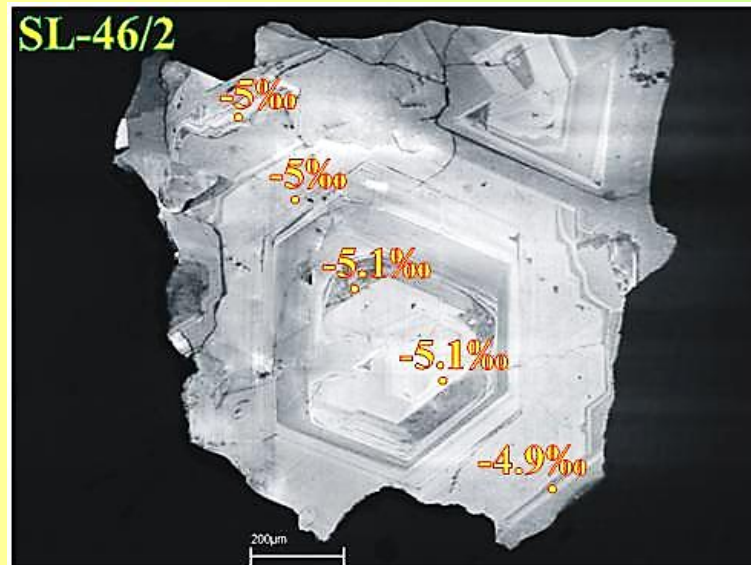
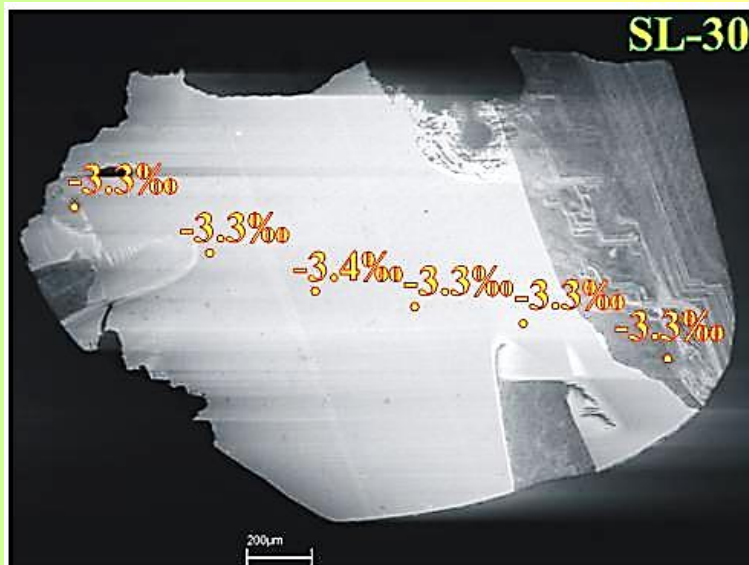
Центр → Край
N и H уменьшаются

Внутреннее строение

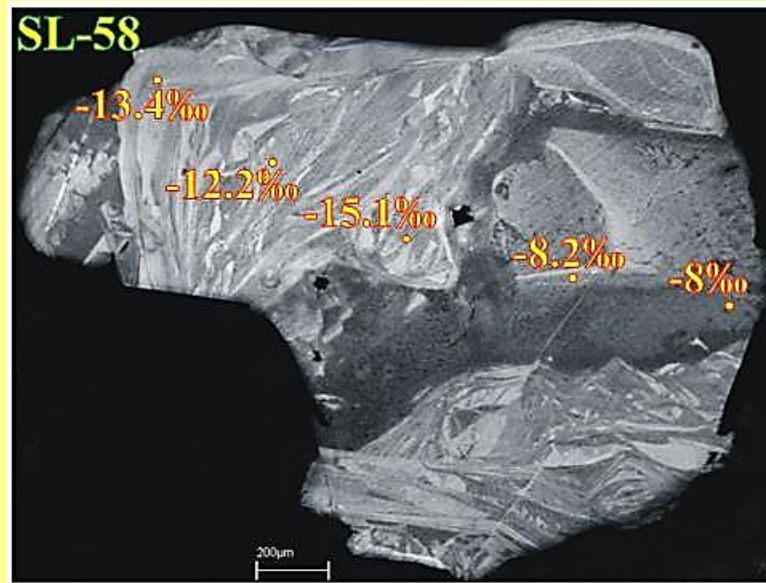
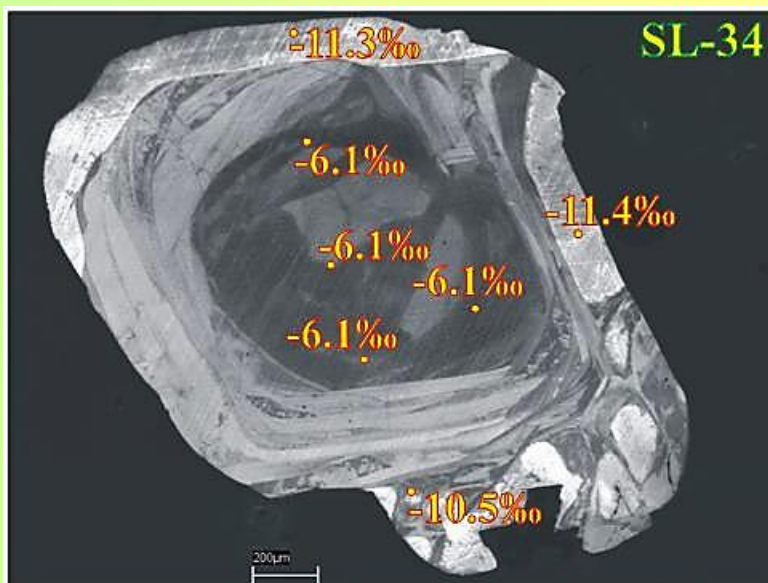


- Алмазы из месторождения Сао-Луис имеют сложную историю роста.
- Образование индивидуальных кристаллов происходило по крайней мере в две стадии.

Изотопный состав углерода

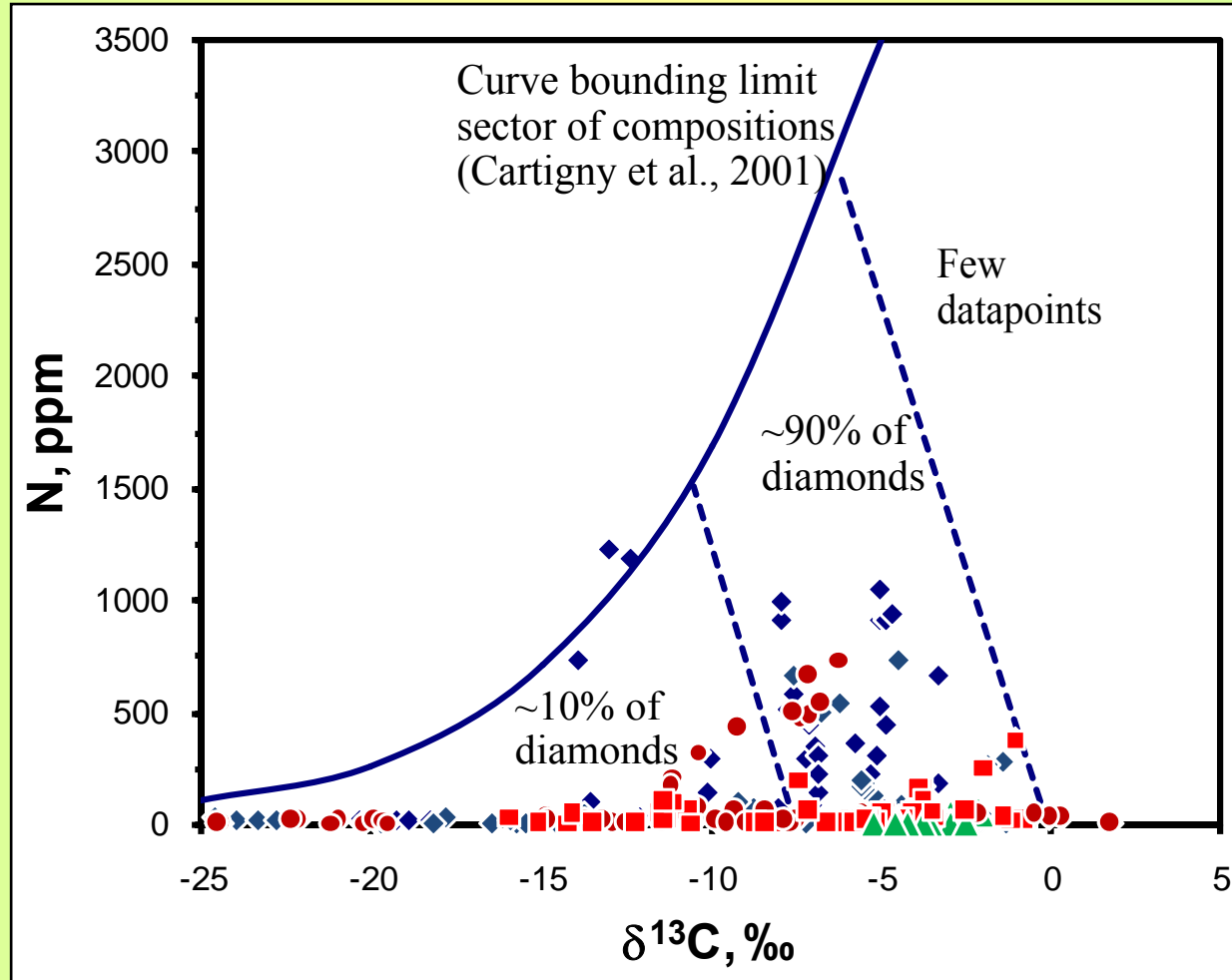


Кристаллы без существенных вариаций $\delta^{13}\text{C}$



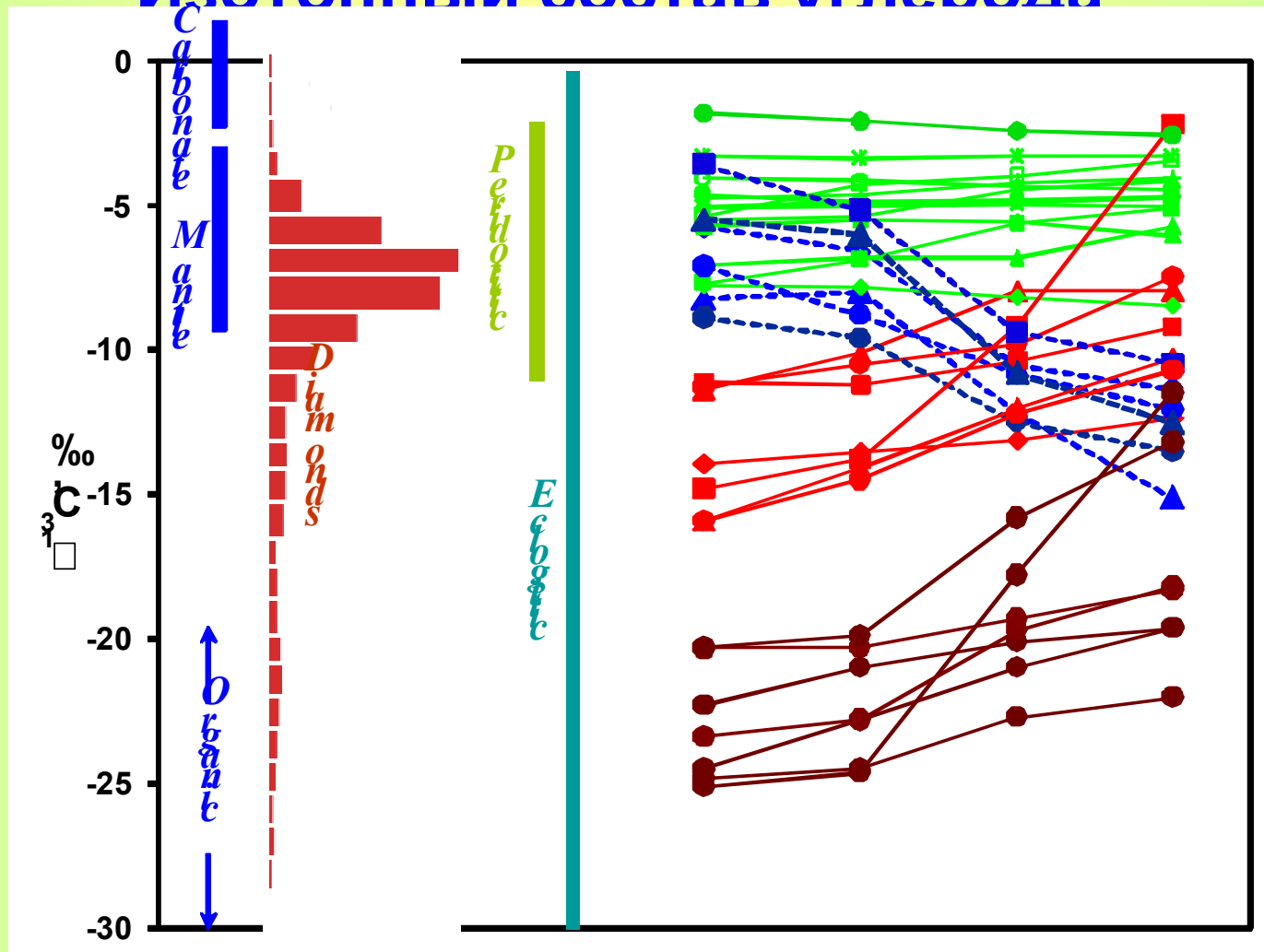
Кристаллы со значительными вариациями $\delta^{13}\text{C}$

Изотопный состав углерода



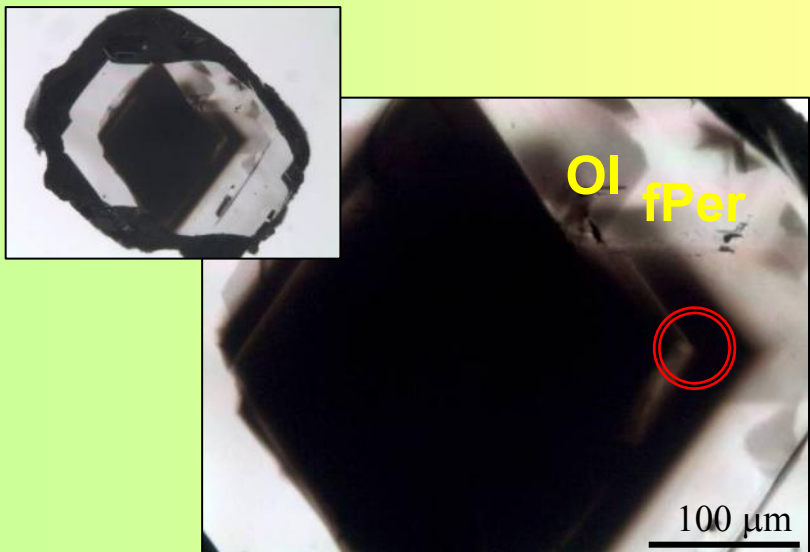
- ▲ Алмазы с включениями *fPer* ($\delta^{13}\text{C}$ -2÷-6‰)
- Алмазы с включениями *Maj* – *Grt* ($\delta^{13}\text{C}$ 2÷-25‰)
- Алмазы с включениями *CaSi*-*Prv* ($\delta^{13}\text{C}$ -1÷-16‰)

Изотопный состав углерода

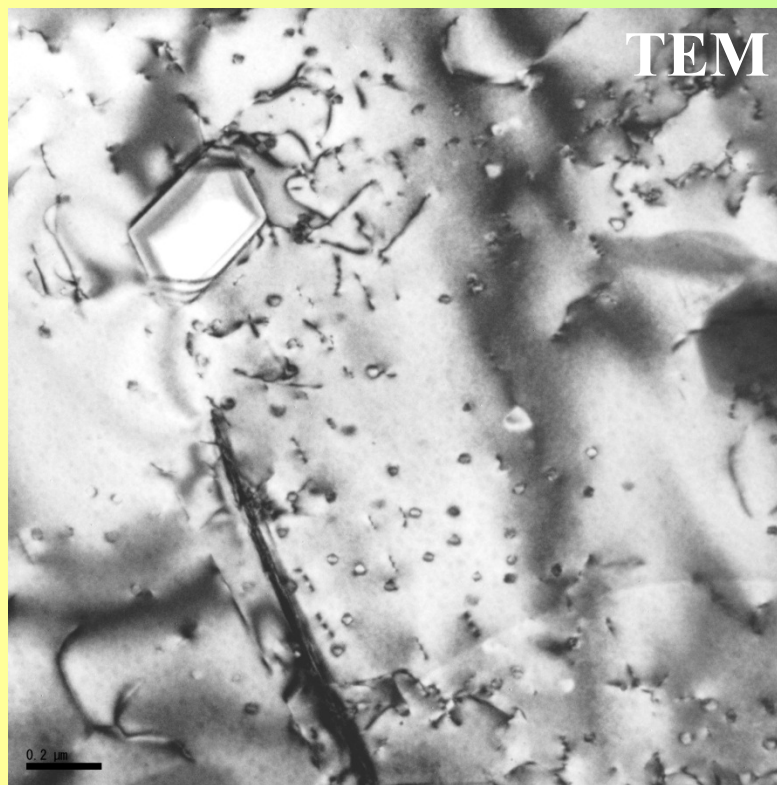
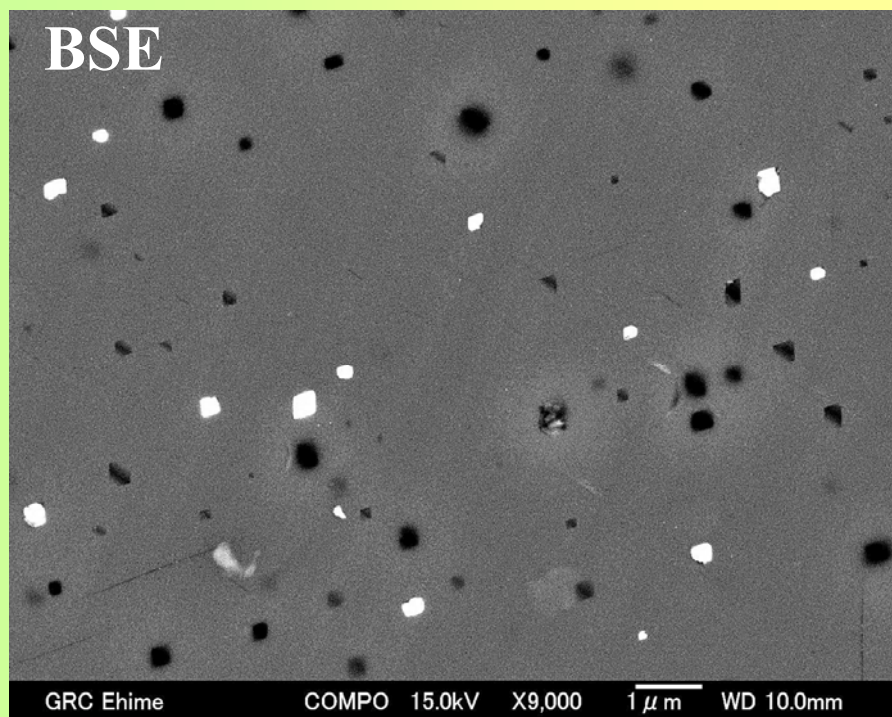


- (i) $\delta^{13}\text{C}$ близко к среднемантийному и не имеют существенных вариаций
- (ii) $\delta^{13}\text{C}$ к краю уменьшается от среднемантийных до более облегченных значений (Δ -5÷7 ‰)
- (iii) $\delta^{13}\text{C}$ имеет облегченные значения и увеличивается к краю (Δ до 10 ‰)
- (iv) $\delta^{13}\text{C}$ имеет предельно облегченный состав («органогенный») и увеличивается к краю (Δ до 10 ‰)

Микровключения (флюид/расплав)

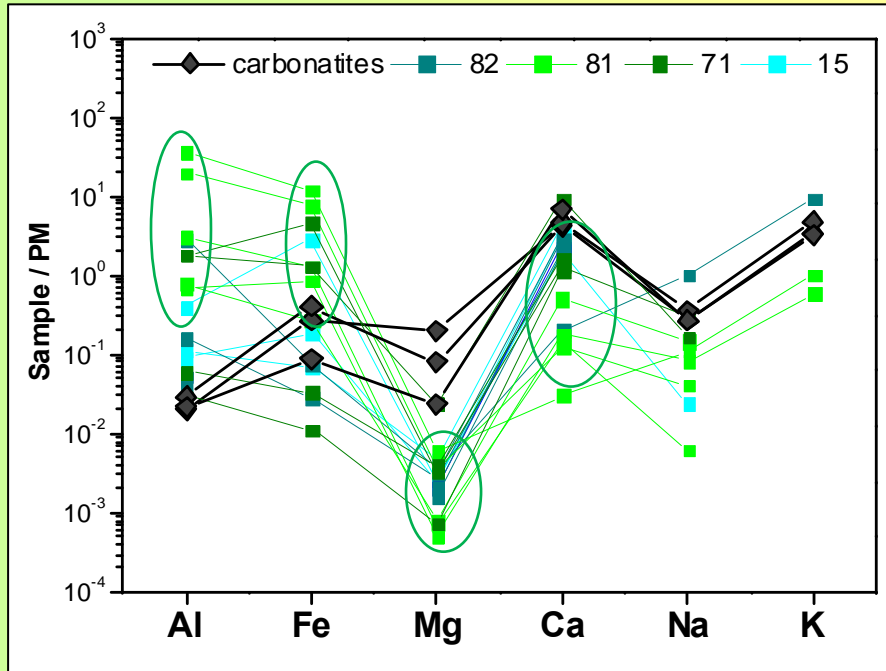


ИК спектроскопия показывает, что вода и карбонаты не являются основными компонентами таких микровключений.



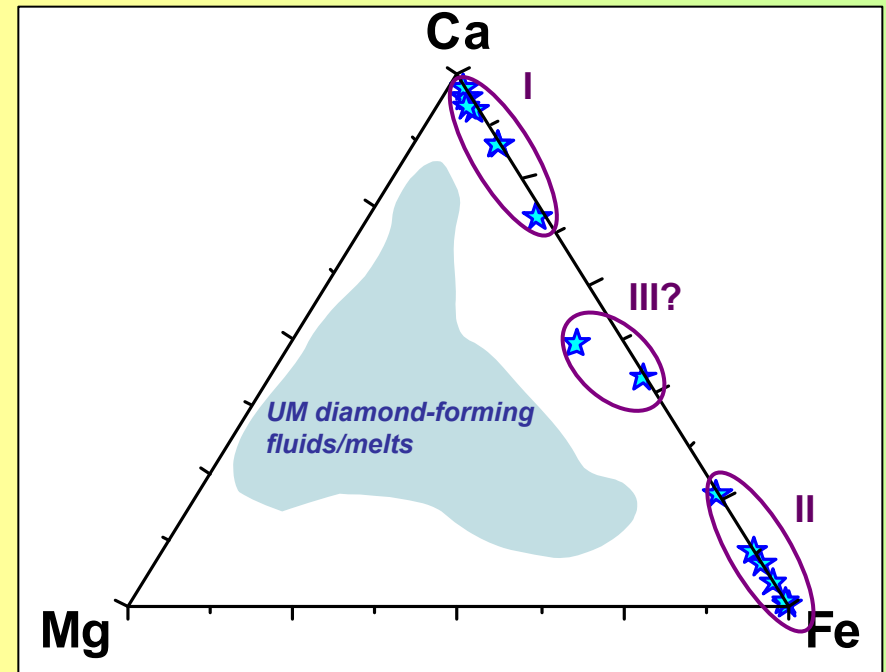
H_2 или C_nH_m ?

Микровключения (флюид/расплав)

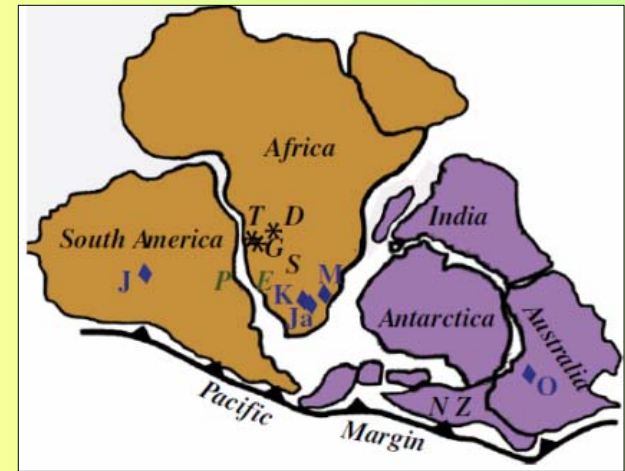
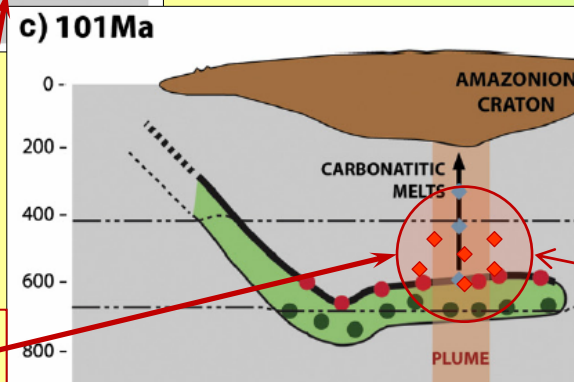
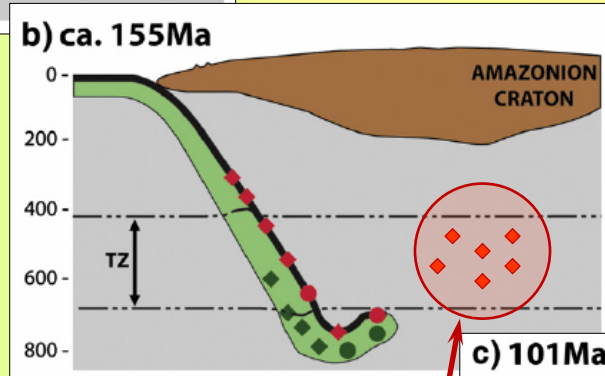
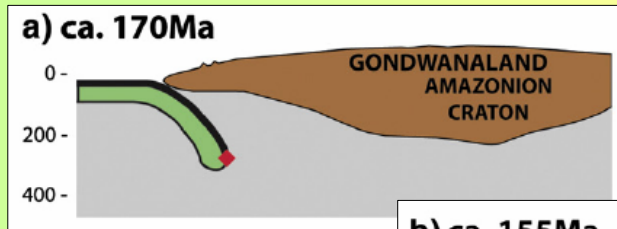


Валовый состав микровключений имеет обогащение Ca, Fe и Al и обеднение Mg.

- I – Карбонатизированные Ca-силикатные расплавы
- II – Существенно железистые расплавы
- III – Смешение (I) и (II)



Модель



Harte & Richardson, 2011

Возраст

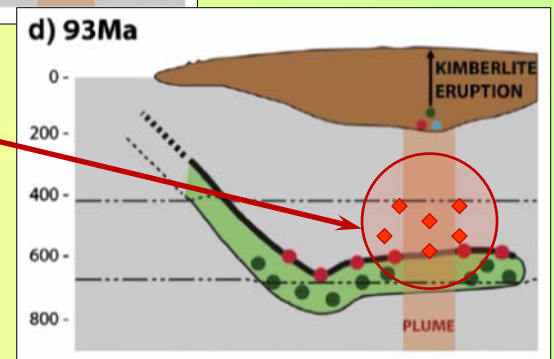
- ▶ CaTiSi-Pv Pb/U 101 Ma – Collier 4 pipe (Bulanova et al., 2009)
- ▶ Grt Nd/Sm 180-200 Ma – São-Luiz (Harte & Richardson, 2011)

☺ Zrn Pb/U 460-465 Ma;
Rt Pb/U 418-512 Ma

✓ Наиболее вероятным источником Са-карбонатно-силикатных сред могли быть расплавы, образовавшиеся при плавлении субдуцированной океанической плиты.

✓ Образование железистых сред может быть связано с плюмом, генерация которого происходит на границе ядро-мантия.

Реликты кембрийской субдукции



Заключение

- ❖ Ассоциация минеральных включений свидетельствует о преимущественно *метабазитовом* составе субстрата в которых происходило образование сверхглубинных (сублитосферных) алмазов из месторождения Сао-Луис.
- ❖ Сверхглубинные (сублитосферные) алмазы из месторождения Сао-Луис имеют сложную историю роста, отражающую их образование в несколько этапов.
- ❖ Образование сверхглубинных (сублитосферных) алмазов из месторождения Сао-Луис происходило на протяжении *длительного времени* на *разных уровнях* Переходной Зоны и Нижней Мантии Земли.
- ❖ Возможной средой образования сверхглубинных (сублитосферных) алмазов из месторождения Сао-Луис являются (i) *карбонатизированные Са-силикатные расплавы*, образовавшиеся за счет частичного плавления глубоко субдуцированных пород метасоматизированной океанической литосферы, и (ii) связанные с плюмом *железистые расплавы*. Наблюдается также смешение между этими двумя средами.

Заключение

❖ Для сверхглубинных (сублитосферных) алмазов из месторождения Сао-Луис установлены широкие вариации изотопного состава углерода от 2 до -25‰ ($\delta^{13}\text{C}$):

(i) *Наиболее облегченные составы* вероятно отражают состав органического материала в осадках или измененных базальтах, глубоко субдуцированных в Переходную Зону и Нижнюю Мантию. *Изотопно утяжеленные составы* отражают процесс смешения такого источника с углеродом примитивной мантии ($\delta^{13}\text{C}$ -5‰).

(ii) Для серии алмазов, в которых наблюдается облегчение изотопного состава углерода, также предполагается их перемещение из примитивного источника в Нижней Мантии вследствие медленного подъема плюма в Переходную Зону и смешение с реликтами органического материала из глубоко субдуцированных пород.