

Одной из проблем **магматизма и сейсмичности** островных дуг является **нарушение геохимической зональности** в пределах этих планетарных структур. Хорошим примером являются извержения Ключевской группы вулканов. Здесь на вулканах Шивелуч, Ключевской, Камень, Безымянный, Харчинский извергались только продукты среднекалиевого вулканизма. На вулканах Крестовский, Ушковский, Острый и Плоский Толбачик, Толбачинском долу извергались продукты как **среднекалиевого**, так и **субщелочного высококалиевого** вулканизма. 27 ноября 2012 г. на Южном склоне вулкана Плоский Толбачик произошло извержение **субщелочных высококалиевых андезибазальтов (ТТИ-50)**. Извержение происходило рядом с конусом магнезиальных **среднекалиевых базальтов 1941 г.** Это обстоятельство поставило **вопрос** - либо о вертикальной гетерогенности мантии в этом районе Камчатки, либо о разных источниках **среднекалиевых и субщелочных высококалиевых** вулканитов. Обсуждение этого вопроса является предметом настоящего сообщения.

Шивелуч

Хубуная С.А., Гонтовая Л.И., Максимов, Хубуная В.С.

*О разноглубинных мантийных источниках
базальтов и магматических камерах под
Ключевской группой вулканов (Камчатка)*

Харчинский

Заречный

Крестовский

Средний

Ключевской

Ушковский

Камень

Безымянный

Зимина

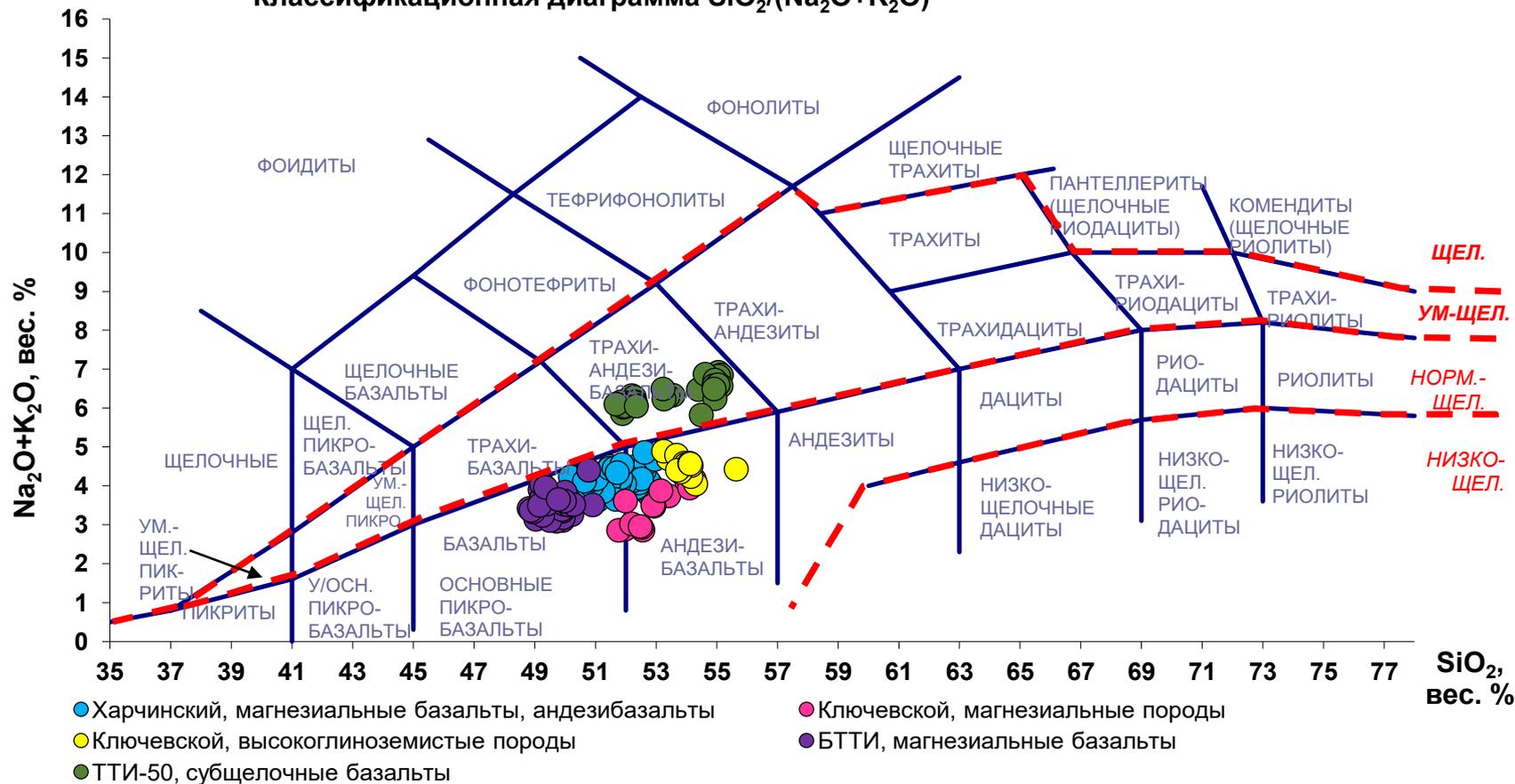
Ключевская группа вулканов

Острый Толбачик

Удина

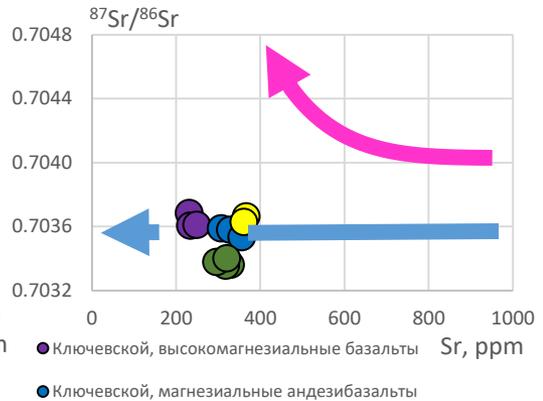
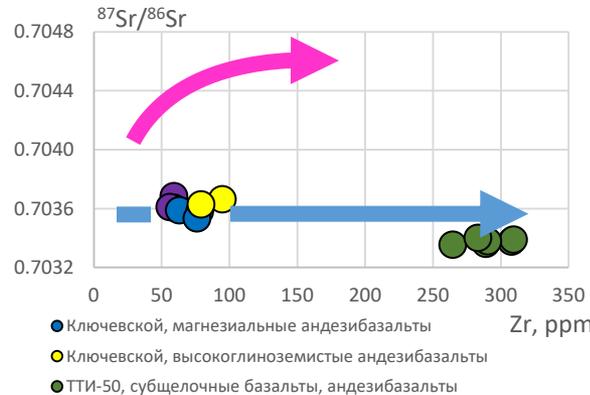
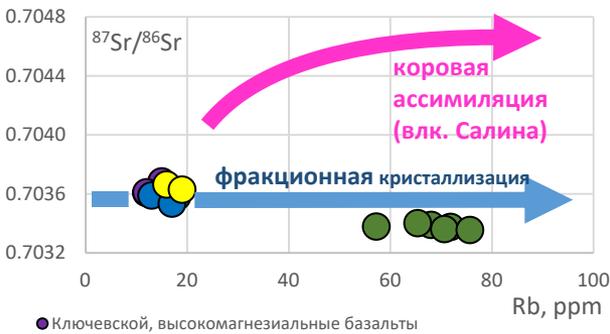
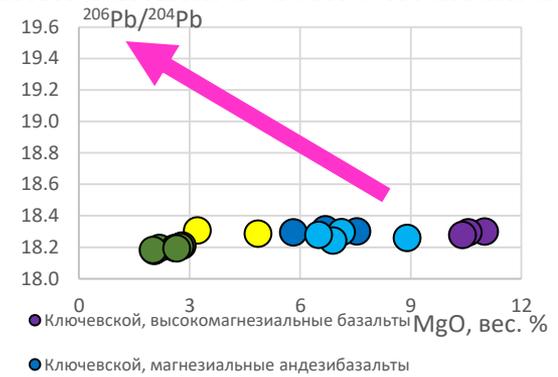
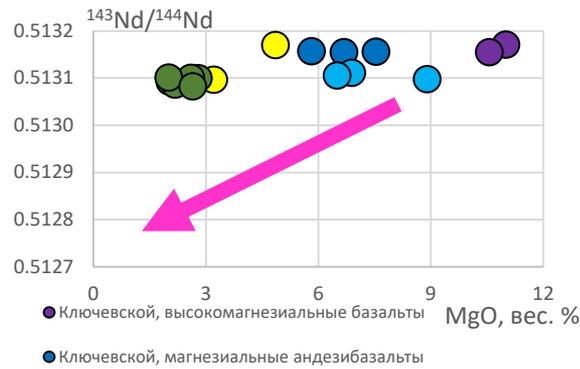
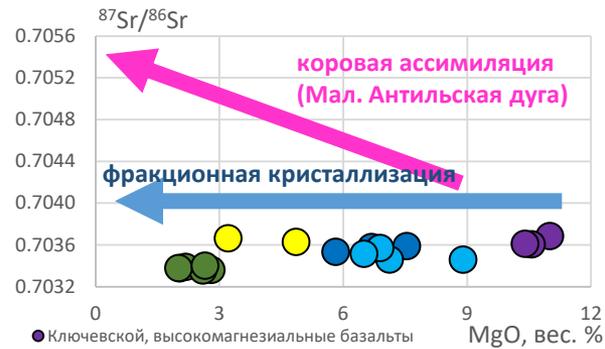
Плоский Толбачик

Классификационная диаграмма $\text{SiO}_2/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$



На диаграмме петрографического кодекса обе группы пород располагаются компактно в поле **среднекальциевых базальтов, андезибазальтов и субщелочных высококальциевых андезибазальтов (ТТИ-50)**.

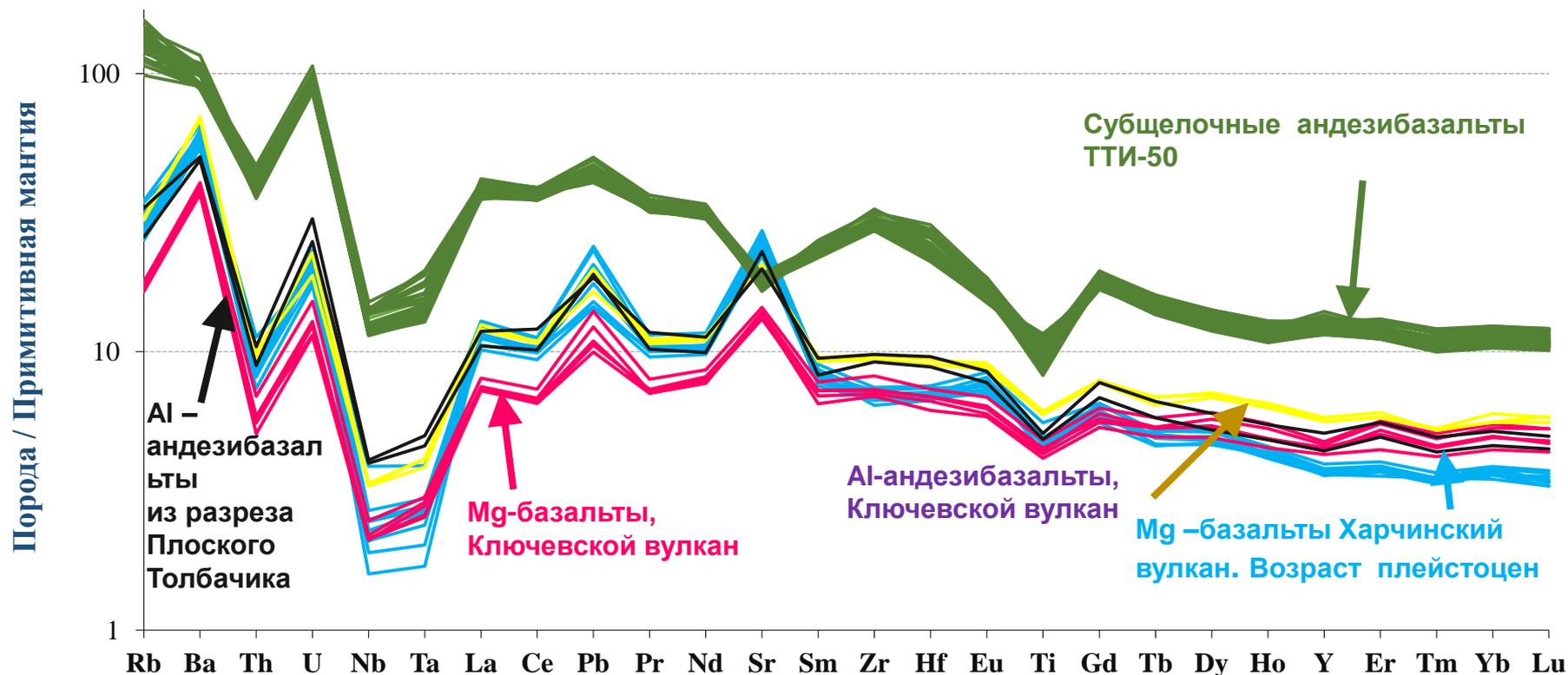
Изотопные характеристики пород и связь с мантийными источниками



По соотношениям радиогенных изотопов Nd, Sr, Pb **среднекалиевые** и **субщелочные андезибазальты** характеризуются **мантийными источниками**.

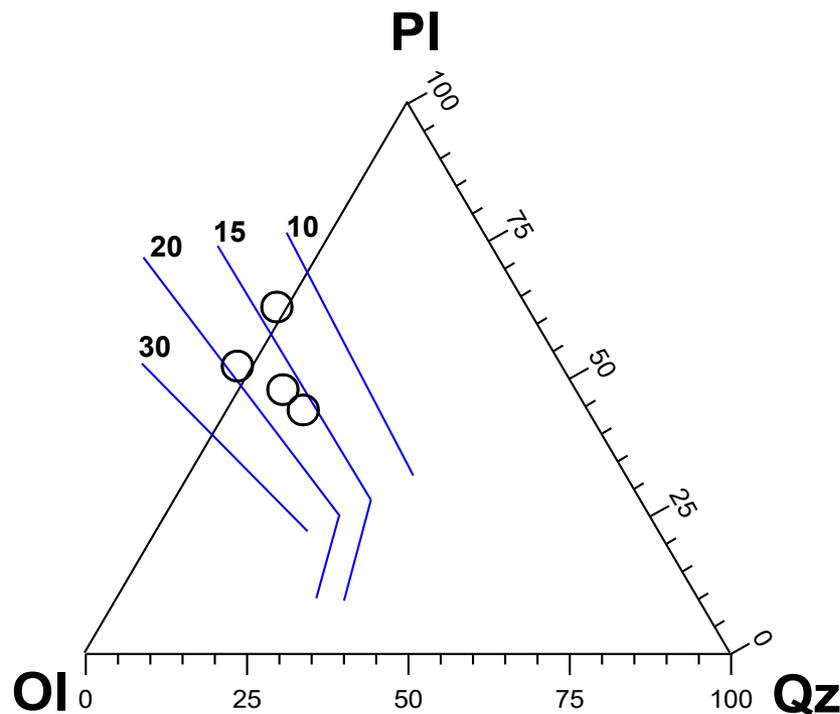
Видно отсутствие корового влияния на первичные среднекалиевые и субщелочные расплавы. Для сравнения обоих типов пород привлекаются 26 некогерентных элементов. Они не имеют минералов –концентраторов (исключение Sr) и первыми уходят в магматических расплавах. По существу, они характеризуют мантийный источник.

Спайдердиаграмма характеризуют отношение концентраций некогерентных элементов в породе к концентрациям этих элементов в примитивной (недеплетированной) мантии.



Все **среднекалиевые** породы характеризуются **типичными островодужными (надсубдуционными) геохимическими** признаками : минимумами высокозарядных элементов Th, Nb, Ti и положительными максимумами крупноионных элементов Ba, U, Pb, Sr. Эти геохимические особенности позволяют предполагать для них **единый мантийный источник с близкой степенью частичного плавления.**

Наиболее изучены **базальты вулкана Ключевской.**



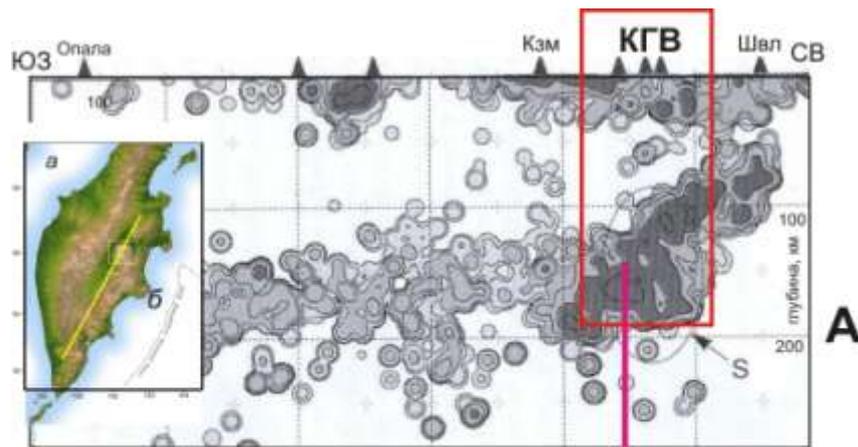
| Компонент | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Расчетные составы первичных расплавов, равновесных с Fo 91.2 | | | | |
| SiO ₂ | 49.80 | 49.20 | 47.65 | 49.68 |
| TiO ₂ | 0.85 | 0.82 | 0.89 | 0.67 |
| Al ₂ O ₃ | 14.52 | 13.69 | 14.06 | 14.11 |
| FeO | 8.59 | 8.94 | 9.12 | 8.62 |
| MnO | 0.13 | 0.10 | 0.13 | 0.10 |
| MgO | 13.15 | 13.47 | 13.36 | 13.25 |
| CaO | 9.79 | 10.55 | 11.63 | 10.78 |
| Na ₂ O | 2.51 | 2.42 | 2.37 | 2.11 |
| K ₂ O | 0.52 | 0.69 | 0.66 | 0.29 |

Примечание. 1, 2, 3, 4 – побочные прорывы магнезиальных базальтов, соответственно Булочка, Цирк, Билюкай, Слюнина. (Хубуная, Соболев, 1998)

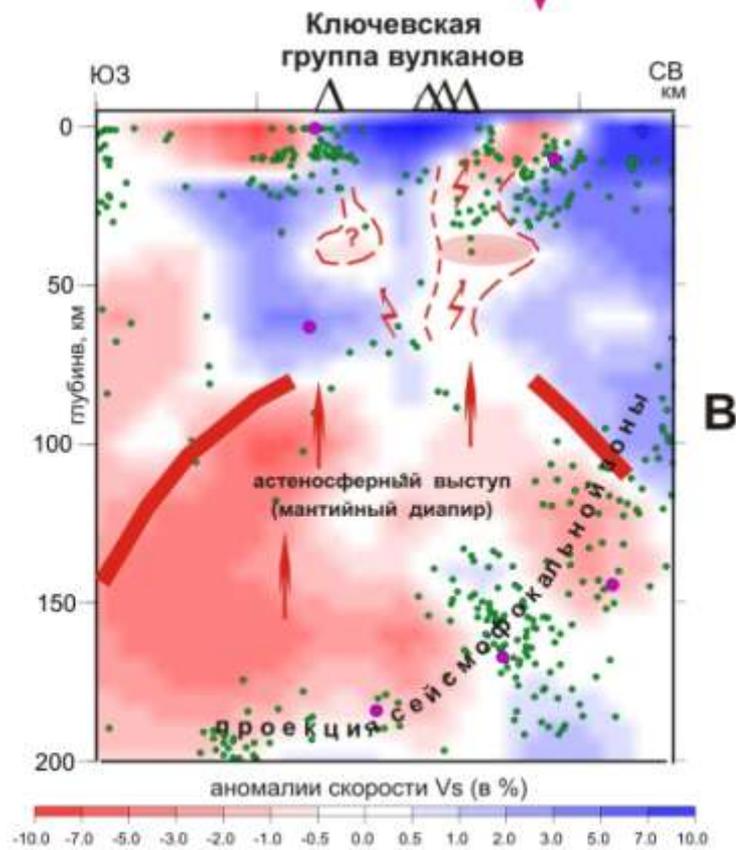
Первичные составы среднекалиевых расплавов вулкана Ключевской получены на основе гомогенизации расплавных включений высокомагнезиальных оливинах 21 потока базальтов. Они соответствуют **пикриту**.

Условия их образования получены на основании пикритового состава и предположении их равновесия с мантийным веществом **лерцолит - гарцбургитового ряда**.

Оценка генезиса проведена на основе диаграммы Ol-Pi-Q-Di с изобарами давлений, определенных по результатам эксперимента в присутствии **H₂O (2-3%)**. [Sobolev, Danyuchevsky, 1992; Danyuchevsky et al., 1994]. Полученные данные позволяют предполагать отделение расплава от мантии при **давлениях 15-20 кбар**.

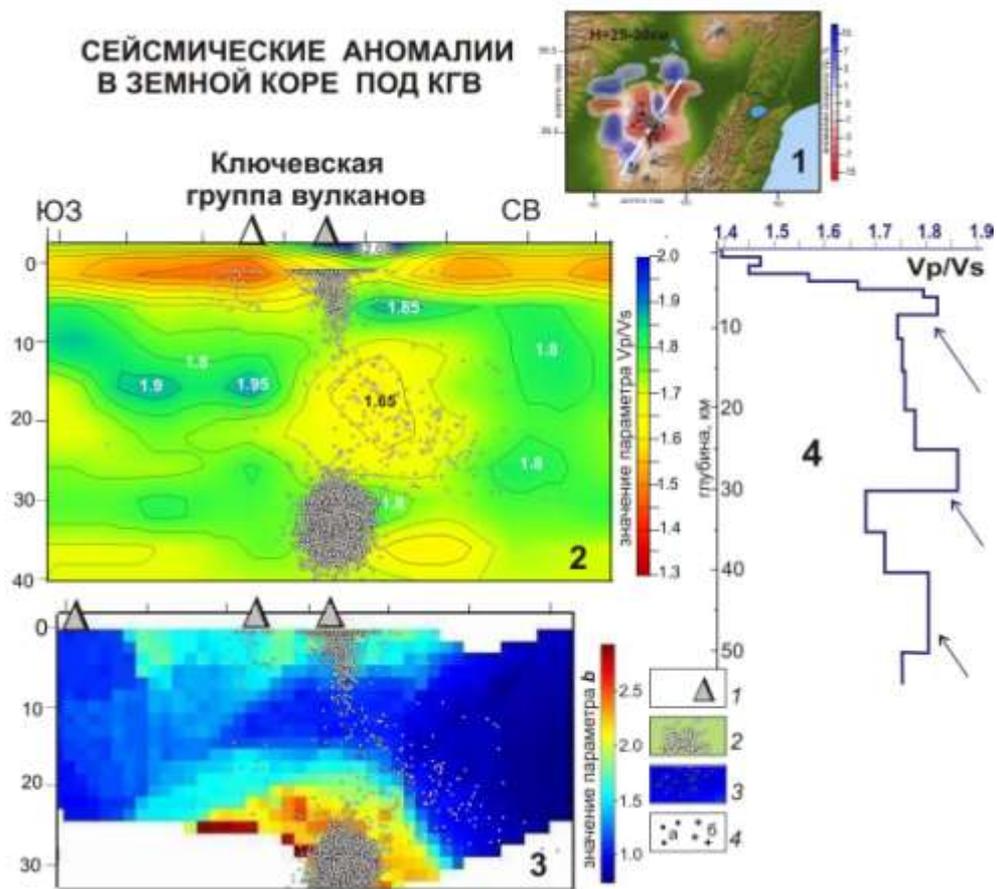


А. Разрез распределения плотности энергии землетрясений ($K_s < 10$) [Селиверстов, 2009]. КГВ приурочена к области наиболее высокого на Камчатке уровня мантийной сейсмичности.



В. Фрагмент региональной скоростной модели в аномалиях скорости V_s в районе КГВ. Отмечен подъем астеносферного слоя до глубины 50-60 км. Эти давления отвечают глубине мантийной выплавки в 45-60 км. Они согласуются с результатами сейсмической томографии и максимальными оценками глубин по геофизическим и расчетным данным [Гонтовая, 2004; Koulakov et al, 2011; Федотов и др., 1982 и др.].

СЕЙСМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ В ЗЕМНОЙ КОРЕ ПОД КГВ

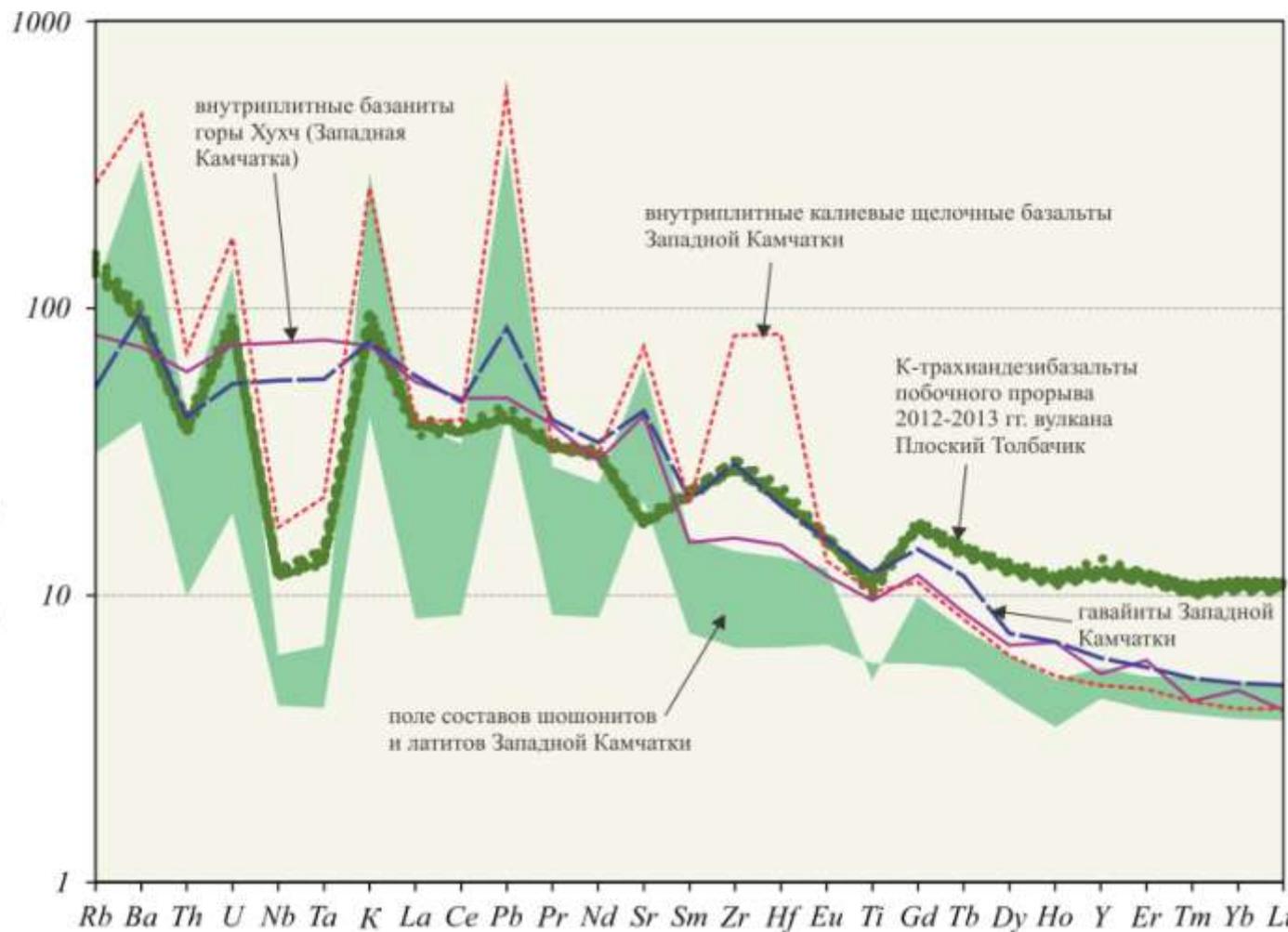


- 1 - схема расположения скоростного разреза и аномалия скорости V_p на глубине 25-30 км.
- 2 - скоростной разрез в аномалиях V_p/V_s .
- 3 - 2D модель распределения частотно-магнитудных характеристик (b -value) вулканотектонических землетрясений под КГВ.
- 4 - график изменения средних значений параметра V_p/V_s в земной коре под КГВ.

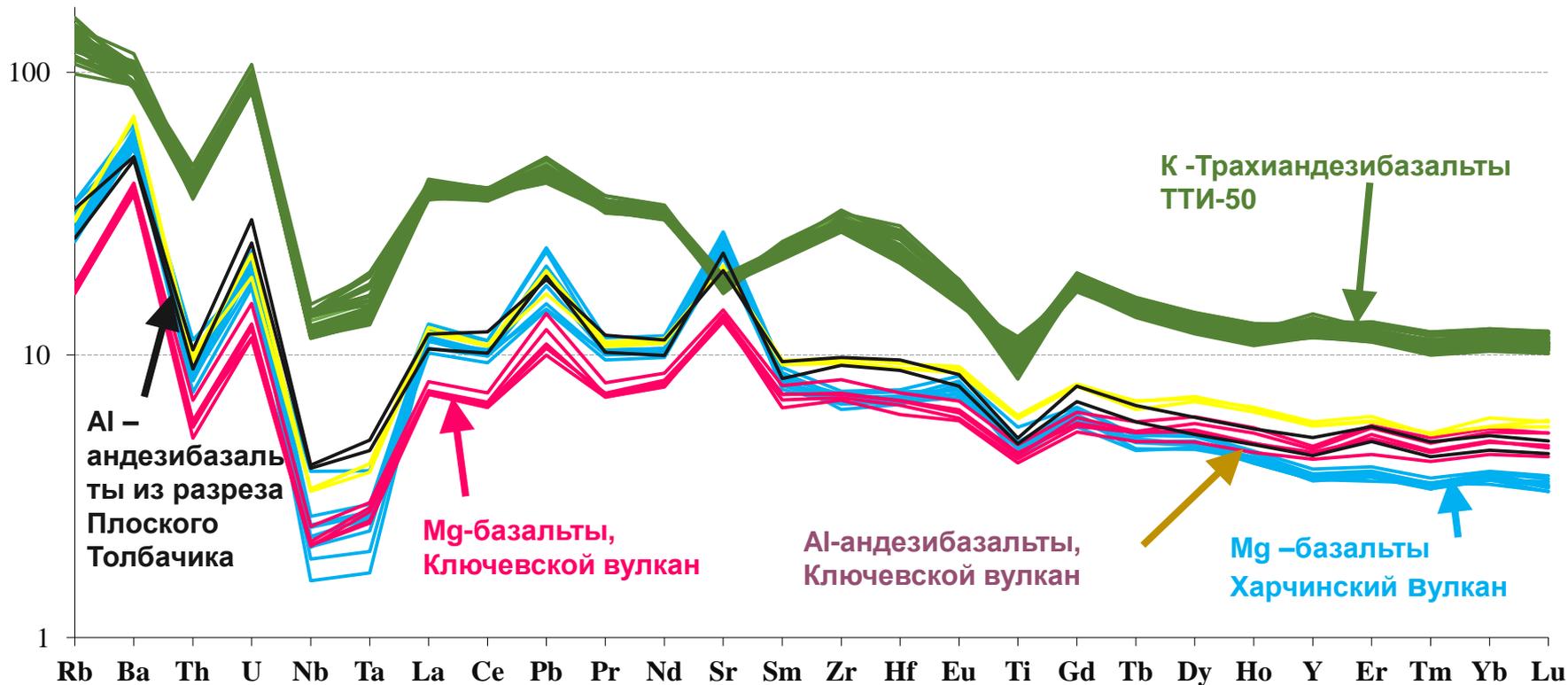
. Здесь можно ожидать движение пикритового расплава по системе трещин к месту фракционирования в коровой глубинный (25-30 км) промежуточный магматический очаг. [Гонтовая, 2014; Koulakov et. al., 2011 и др.]

Можно констатировать, начиная с позднего плейстоцена в районе Ключевской группы вулканов для образования первичных среднекалиевых магнезиальных расплавов плавился единый мантийный субстрат с близкой степенью частичного плавления на глубинах 45-60 км..

Для оценки источника **субщелочных высококалийевых андезибазальтов (ТТИ-50)** проведено сравнение их геохимических особенностей с характерными чертами

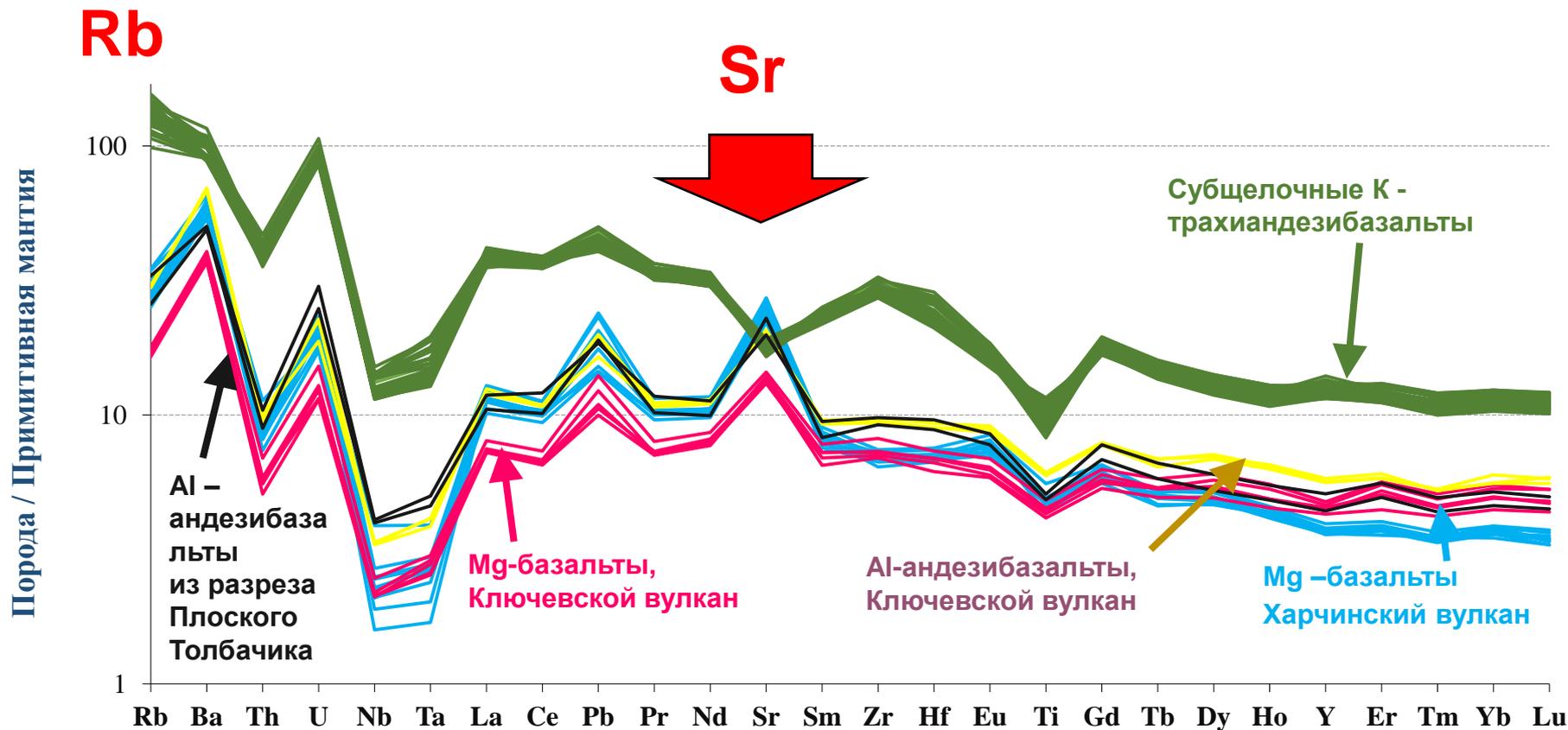


высококалийевых геохимических типов пород различных районов Камчатского полуострова. Как следует из этой диаграммы Субщелочные андезибазальты 2012-2013гг. (ТТИ-50) имеют иной мантийный источник, чем все другие высококалийевые базальты Камчатки.



Мантийный источник субщелочных андезибазальтов по минеральному составу близок источнику островодужных среднекалийевых вулканитов: на спайдердиаграммах он характеризуется их типичными геохимическими особенностями - **минимумами** высокозарядных элементов **Th, Nb, Ti** и **максимумами** крупно ионных элементов **Ba, U, Pb**. Распределение концентраций **тяжелых некогерентных** элементов параллельны таковым островодужным (**надсубдукционным**) базальтам.

Существенные различия у субщелочных базальтоидов - стабильно повышенное содержание всех некогерентных элементов , Sr- Min и Rb- Max



Повышенные содержания всех некогерентных элементов в субщелочных породах связаны с **меньшей степенью плавления** мантийного источника, **более глубинного**, чем источник среднекалиевых базальтов.

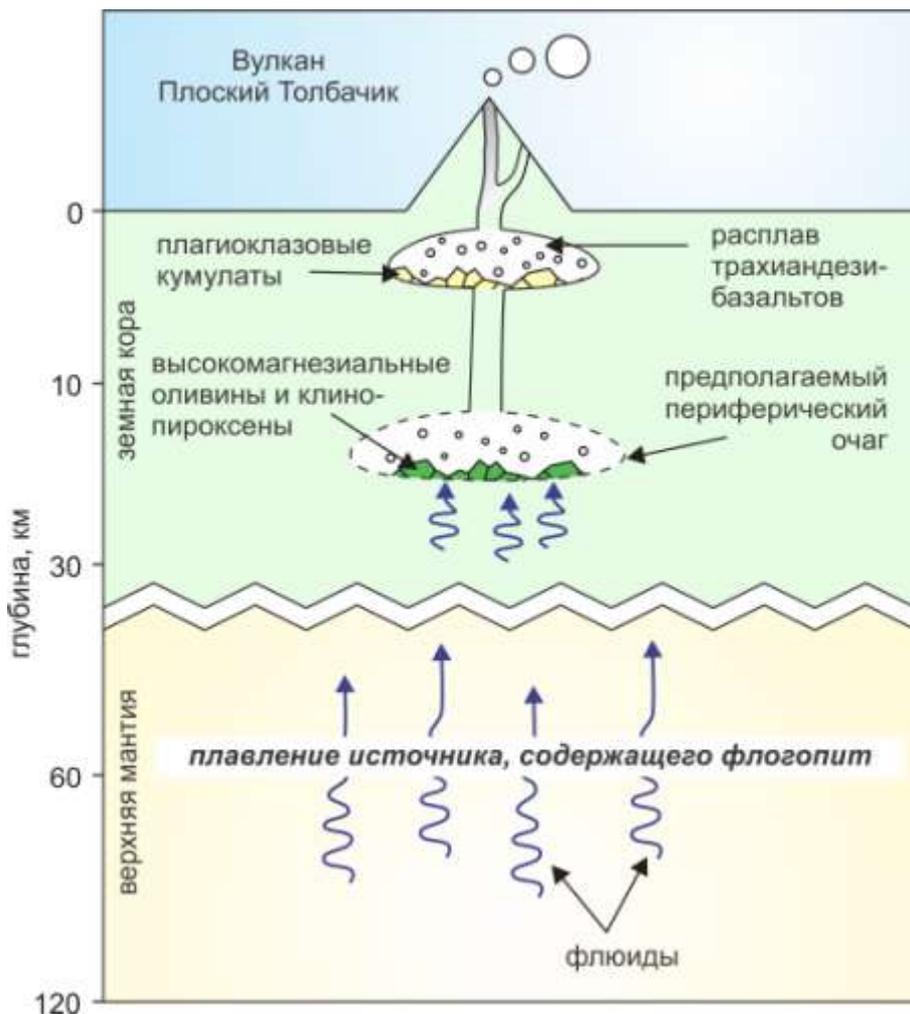
Rb – максимумы, обусловлены плавлением (глубинного) мантийного источника, образованного при разложении **флогопита**. Устойчивость флогопита в мантии - до 35 кбар [Кокс, Белл, 1982]



Sr- минимумы, связаны с отсадкой PI в малоглубинной камере вулкана Плоский толбачик.

Наличие этих объектов свидетельствует о значительной **фракционной кристаллизации PI** и возможности **кумуляции PI** в придонную часть малоглубинной магматической камеры. Это приводит к **обеднению остаточного расплава Sr**.

Предполагаемая схема образования К-трахиандезибазальтов



Петрографические, минералогические и геохимические особенности **субщелочных высококалиевых андезибазальтов** позволяют предполагать **двухэтапную** фракционную кристаллизацию родоначального расплава в промежуточных магматических камерах

На первом этапе в промежуточной магматической камере на глубине 15–20 км [Ермаков и др., 2014] из субщелочного магнeзиального расплава в присутствии **H₂O** могли кристаллизоваться высокомагнезиальные оливины и клинопироксены. При этом поле кристаллизации плагиоклаза значительно сужалось (Green, Rihgwood, 1978, Арискин и др., 1996). Остаточный расплав **обогащался высокоглиноземистрй составляющей.**

Дальнейшая фракционная кристаллизация плагиоклаза из остаточного высокоглиноземистого расплава проходила на глубине 1–2 км [Федотов и др., 2011; Ермаков и др., 2014] в магматической камере вулкана **Плоский Толбачик**

Выводы:

1. Описанные распределения некогерентных элементов, а также изотопии Sr, Nd, Pb, **среднекалийевых базальтов и субщелочных высококалийевых андезибазальтов (ТТИ-50)** связаны с плавлением **двух мантийных источников**. Они сходны по **минеральному составу**, но имеют **разную степень частичного плавления** и **разную глубину генерации** первичных магм. Все это свидетельствует о **негетерогенности мантии** под рассматриваемыми вулканами.
2. Состав первичного расплава надсубдукционных среднекалийевых базальтов соответствует **пикриту**. Отделение пикритового расплава от мантии происходит на глубинах 45-60 км. Фракционирование **пикритовых расплавов** осуществляется в магматическом очаге на **глубинах 25 – 30 км**.
3. Глубина генерации субщелочных андезибазальтов (ТТИ-50), ограничена глубиной разложения флогопита до 100 км. Извержение **субщелочных андезибазальтов** обусловлено двухэтапным фракционированием магнезиальных и высокоглиноземистых магм в коровых магматических очагах.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

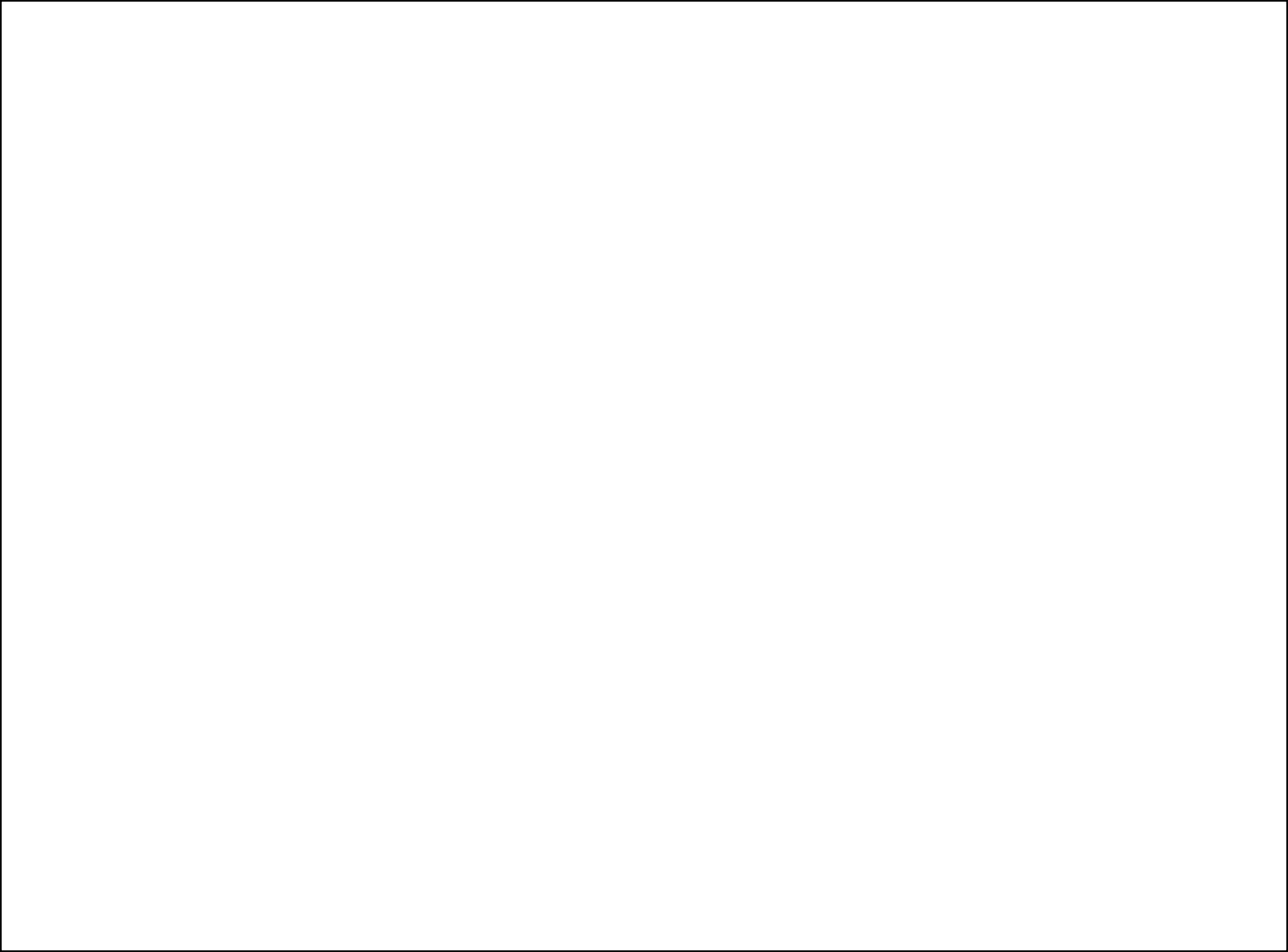


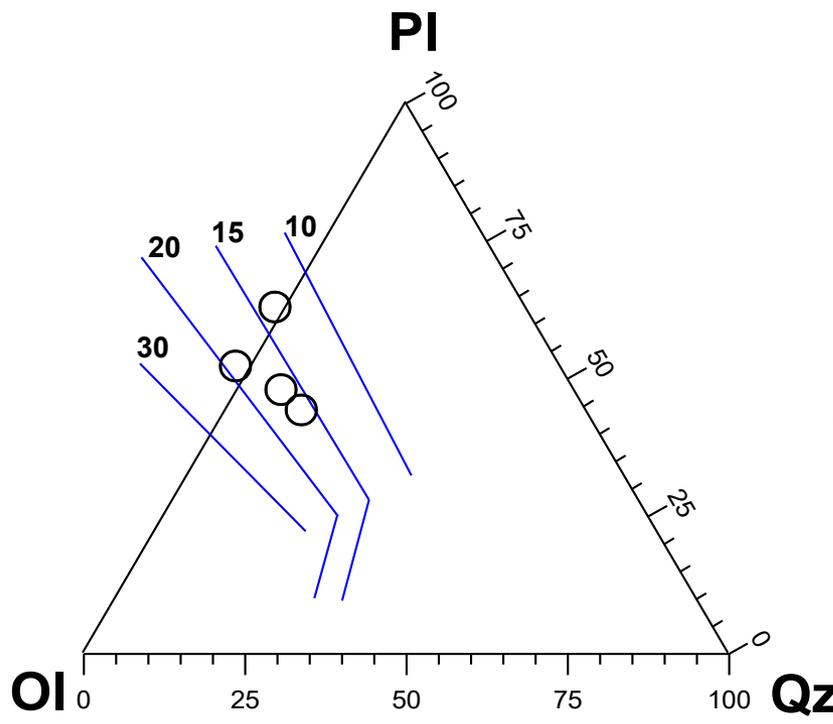
Вершинное извержение вулкана Ключевской 2 сентября 2010

Фото Ю.В.Демянчук

Геофизические данные о магматических очагах в земной коре и верхней мантии под КГВ

- Изучение глубин магматических очагов и температур в них для верхней мантии
- континентов, океанов и переходных зон показало их сходство [Гордиенко, 2012]. Примерные
- глубины кровель очагов и температуры составили (километры и градусы,С,
- соответственно):
- 420 и 2000, 320 и 1900, 220 и 1750, 160 и 1550, 100 и 1350, 50 и 1200.
- Четыре верхние очага возникают в условиях, пригодных для вынесения магмы на
- поверхность. Очаги магматизма, возникающие на глубинах менее 50 (в земной коре)
- прогнозируются на глубинах несколько больше 20 км, и, в некоторых случаях, на 2-10 км.
- **Находят ли подтверждение этим цифрам глубины магмоочагов под КГВ?**
- На Камчатке и, в частности, в районе Ключевских вулканов, широкое развитие получили
- методы сейсмической томографии (региональной и локальной). Они были начаты под
- руководством И. А. Саниной (ИФЗ РАН, ИДГ РАН, ИВиС РАН) и продолжены далее
- различными научными школами, отечественными и зарубежными) [Санина и др.; Гонтовая и
- др.; Nizkous et al; Gorbatov et al; Lees et al; Koulakov et al]. Все скоростные модели разработаны
- по данным каталогов региональных и локальных землетрясений КФ ГС РАН.
- Выявленные скоростные аномалии V_p , V_s , V_p/V_s в комплексе с другими геолого-геофизическими
- данными дают информацию о местоположении магматических очагов в земной коре и верхней
- мантии под КГВ. Схема сейсмических станций и исходные данные позволили построить 3D
- скоростную модель земной коры (по данным локальных событий) и региональную модель
- верхней мантии до глубины примерно 150 км. .



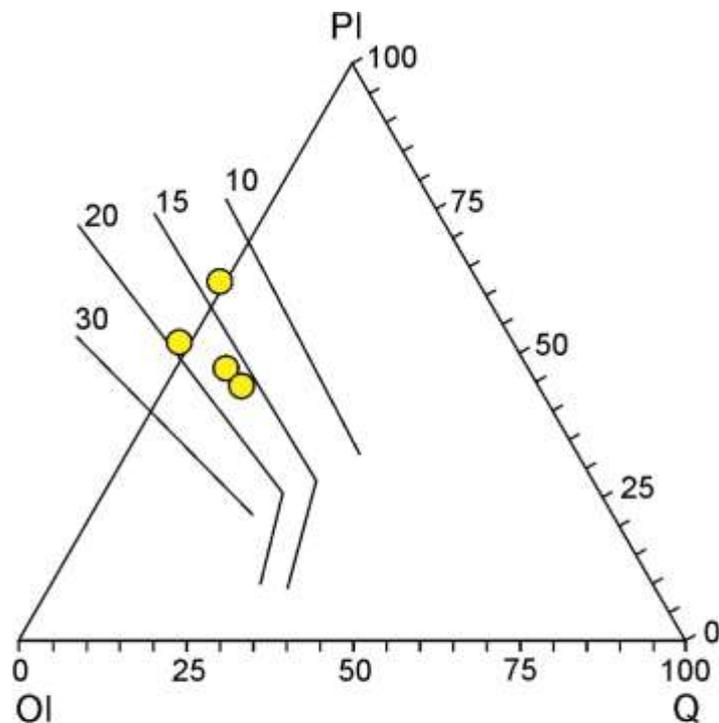


Условия образования первичных (исходных) умереннокалиевых расплавов были оценены на основании их пикритовых составов и предположения их равновесия с недеплетированным мантийным веществом **лерцолит-гарцбургитового** ряда. Такая оценка проведена на основе диаграммы OI-PI-Qz-Di с изобарами давлений определенных по экспериментальным данным в присутствии 2-3% H₂O [Sobolev, Danyuchevsky, 1992;

Danyuchevsky et al., 1994].

Расплав отделился от мантийного вещества при давлениях, соответствующих 15-20 кбар. (точность оценки соответствует 3 кбар).

Первичные расплавы магнезиальных базальтов Ключевского вулкана



Оценки давлений образования первичных расплавов ключевских базальтов на проекции системы оливин (Ol) - плагиоклаз (Pl) - кремнекислота (Q) - кальциевый пироксен (Di) из вершины Di. Изобары равновесия с лерцолитовым веществом показаны для водосодержащих систем с содержанием H₂O в расплаве 2-3 мас. %. Цифрами показаны давления, кбар; значками - составы первичных расплавов

Состав первичного (исходного) **среднекалиевого** расплава отвечает **пикритам**, с высоким содержанием H₂O = 2,2-2,9 мас. % (Хубуная, Соболева, 1998). Мантийный субстрат, предположительно, имеет лерцолит-гарцбургитовый состав. Давления отделения первичного расплава от мантийного вещества оцениваются в 15-20 кбар, Температура первичного расплава 1280-1320°C.

| Компонент | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Расчетные составы первичных расплавов, равновесных с Fo 91.2 | | | | |
| SiO ₂ | 49.80 | 49.20 | 47.65 | 49.68 |
| TiO ₂ | 0.85 | 0.82 | 0.89 | 0.67 |
| Al ₂ O ₃ | 14.52 | 13.69 | 14.06 | 14.11 |
| FeO | 8.59 | 8.94 | 9.12 | 8.62 |
| MnO | 0.13 | 0.10 | 0.13 | 0.10 |
| MgO | 13.15 | 13.47 | 13.36 | 13.25 |
| CaO | 9.79 | 10.55 | 11.63 | 10.78 |
| Na ₂ O | 2.51 | 2.42 | 2.37 | 2.11 |
| K ₂ O | 0.52 | 0.69 | 0.66 | 0.29 |

Примечание. 1, 2, 3, 4 – побочные прорывы магнезиальных базальтов, соответственно Булочка, Цирк, Билокай, Слюнина. (Хубуная, Соболев, 1998)

| Компоненты, мас % | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Составы частично гомогенизированных расплавных включений | | | | |
| SiO ₂ | 49,13 | 49,67 | 47,53 | 49,10 |
| TiO ₂ | 0,90 | 0,94 | 1,00 | 0,70 |
| Al ₂ O ₃ | 15,29 | 15,69 | 15,79 | 14,70 |
| FeO* | 8,27 | 8,45 | 8,67 | 8,37 |
| MnO | 0,14 | 0,12 | 0,15 | 0,12 |
| MgO | 9,85 | 7,42 | 7,82 | 10,60 |
| CaO | 10,31 | 12,10 | 13,06 | 11,60 |
| Na ₂ O | 2,64 | 2,77 | 2,66 | 2,25 |
| K ₂ O | 0,55 | 0,79 | 0,74 | 0,31 |
| Ол.-хозяин | 89,5 | 88,5 | 90,4 | 88,1 |
| T закалки °C | 1220 | 1205 | 1205 | 1220 |
| Расчетные составы первичных расплавов, равновесных с Fo 91.2 | | | | |
| SiO ₂ | 49,8 | 49,2 | 47,65 | 49,68 |
| TiO ₂ | 0,85 | 0,82 | 0,89 | 0,67 |
| Al ₂ O ₃ | 14,52 | 13,69 | 14,06 | 14,11 |
| FeO | 8,59 | 8,94 | 9,12 | 8,62 |
| MnO | 0,13 | 0,10 | 0,13 | 0,10 |
| MgO | 13,15 | 13,47 | 13,36 | 13,25 |
| CaO | 9,79 | 10,55 | 11,63 | 10,78 |
| Na ₂ O | 2,51 | 2,42 | 2,37 | 2,11 |
| K ₂ O | 0,52 | 0,69 | 0,66 | 0,29 |

Источник исходного расплава умереннокалиевых базальтов получен на основании термобарогеохимического изучения расплавных включений магнезиальных базальтов лавовых потоков Булочка, Цирк, Билюкай, Слюнина вулкана Ключевской. Он отвечает **пикриту с предельным насыщением SiO₂ [Хубуная, Соболев, 1998, Хубуная и др., 2007, 2018].**

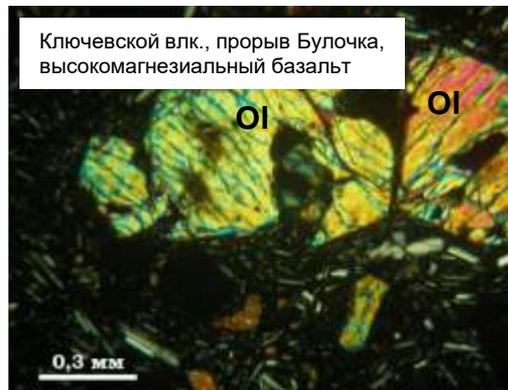
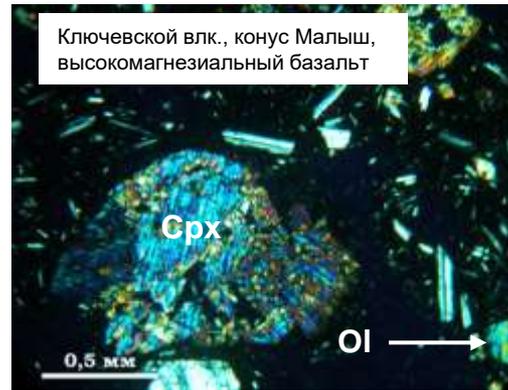
Он получен частичной гомогенизацией расплавных включений наиболее магнезиальных **оливинов 21 потока** и конуса магнезиальных базальтов вулкана Ключевской.

Состав первичного расплава рассчитан численным моделированием обратного хода фракционной кристаллизации в поле оливина по программе «Петролог».

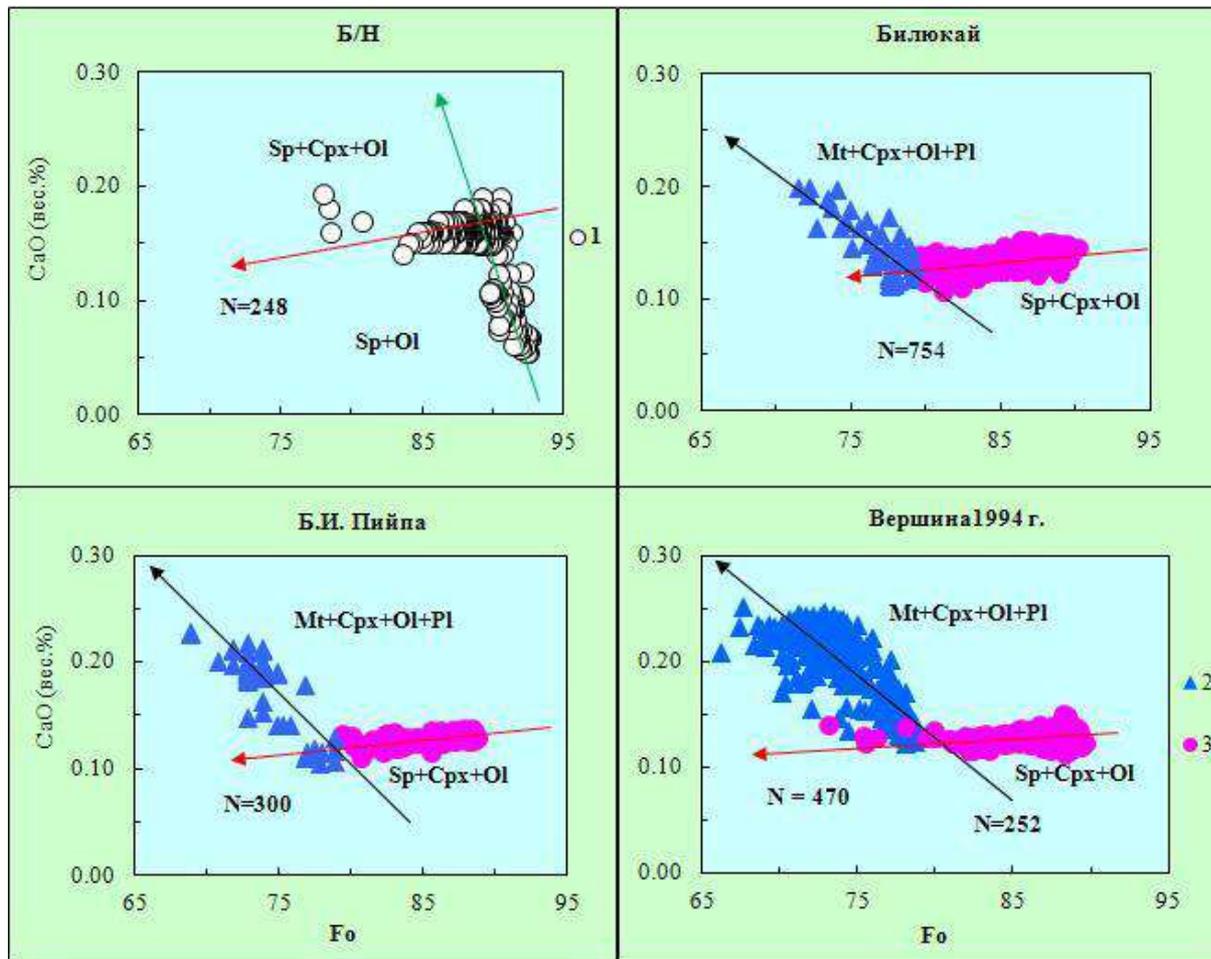
Магнезиальные базальты вулканов Харчинский, Ключевской, БТТИ

Несмотря на разный возраст и разные места извержений по минералогии петрографии

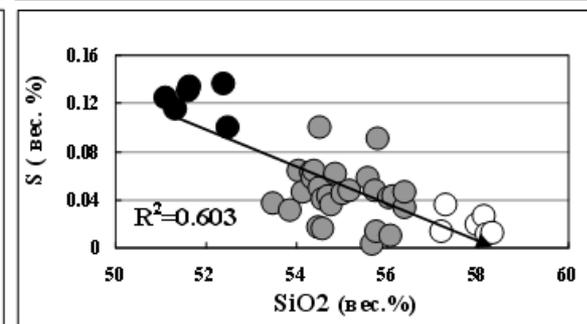
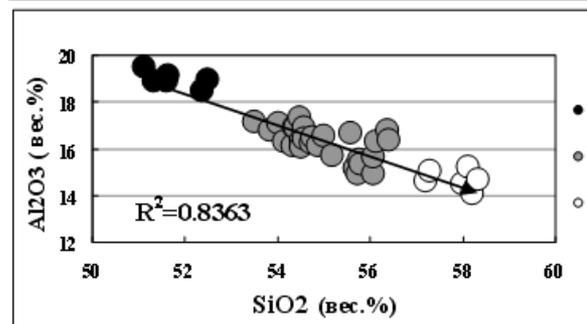
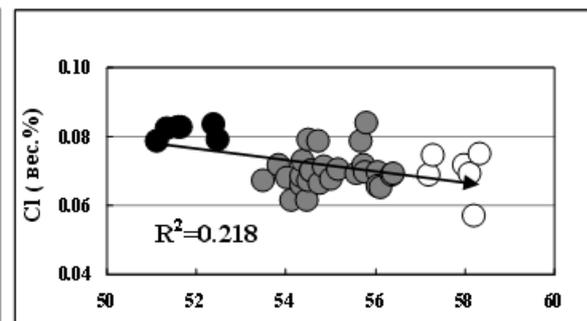
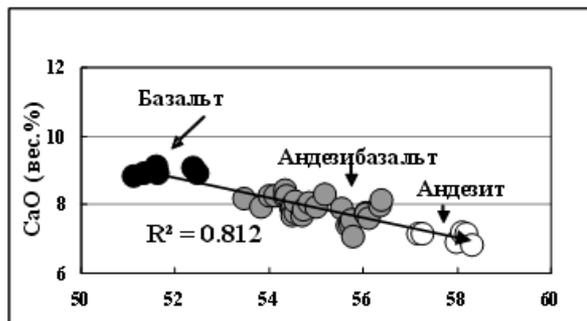
Они похожи.



Составы оливинов магнезиальных базальтов и высокоглиноземистых андезибазальтов
вулкана Ключевской



Составы природнозакаленных расплавных включений в оливинах
шлаковых лапилли вершинного извержения 1994 г. вулкана Ключевской

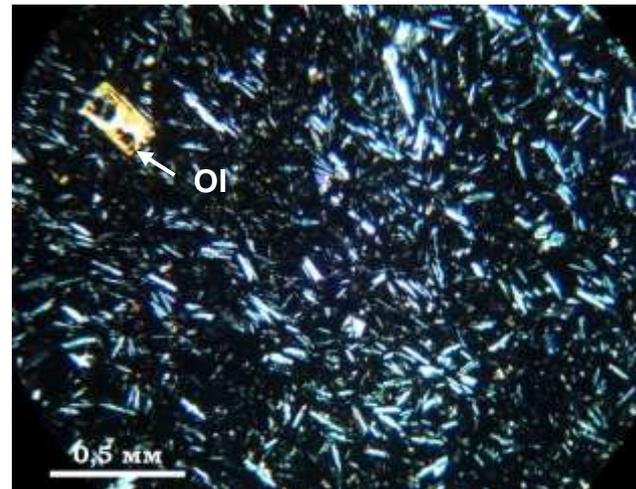
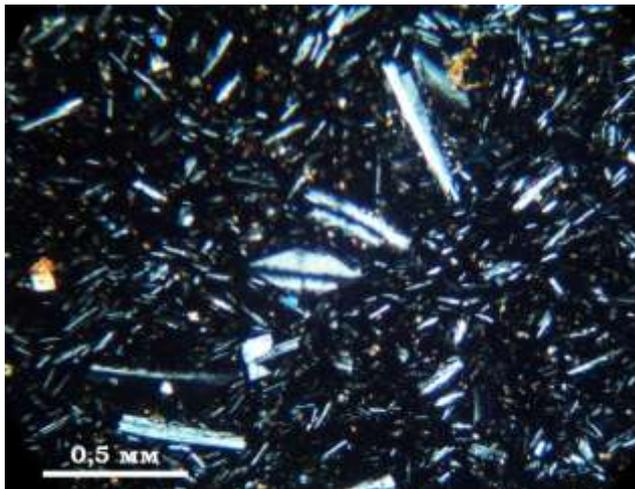
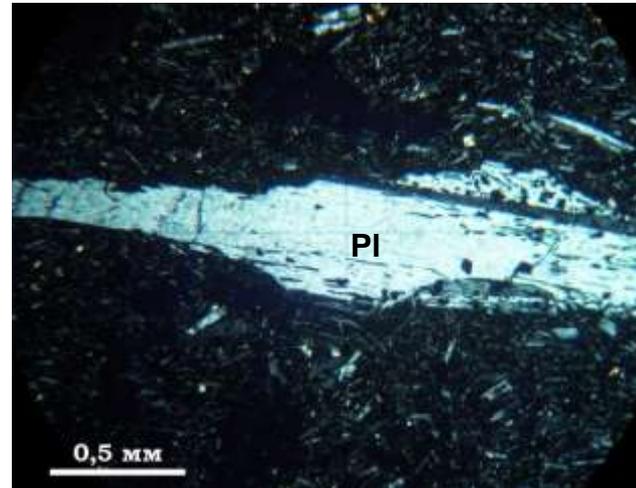
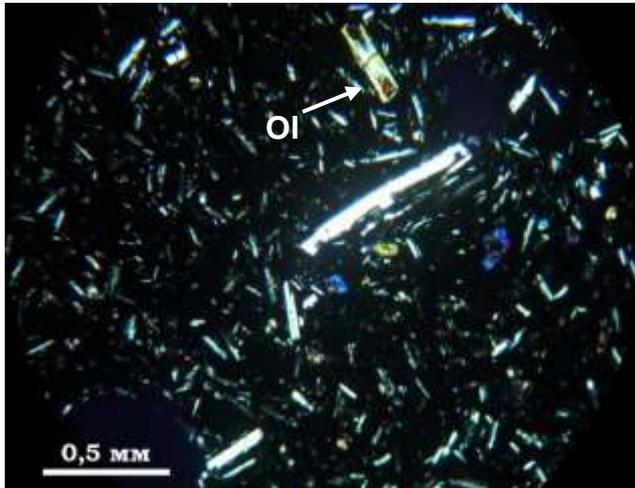


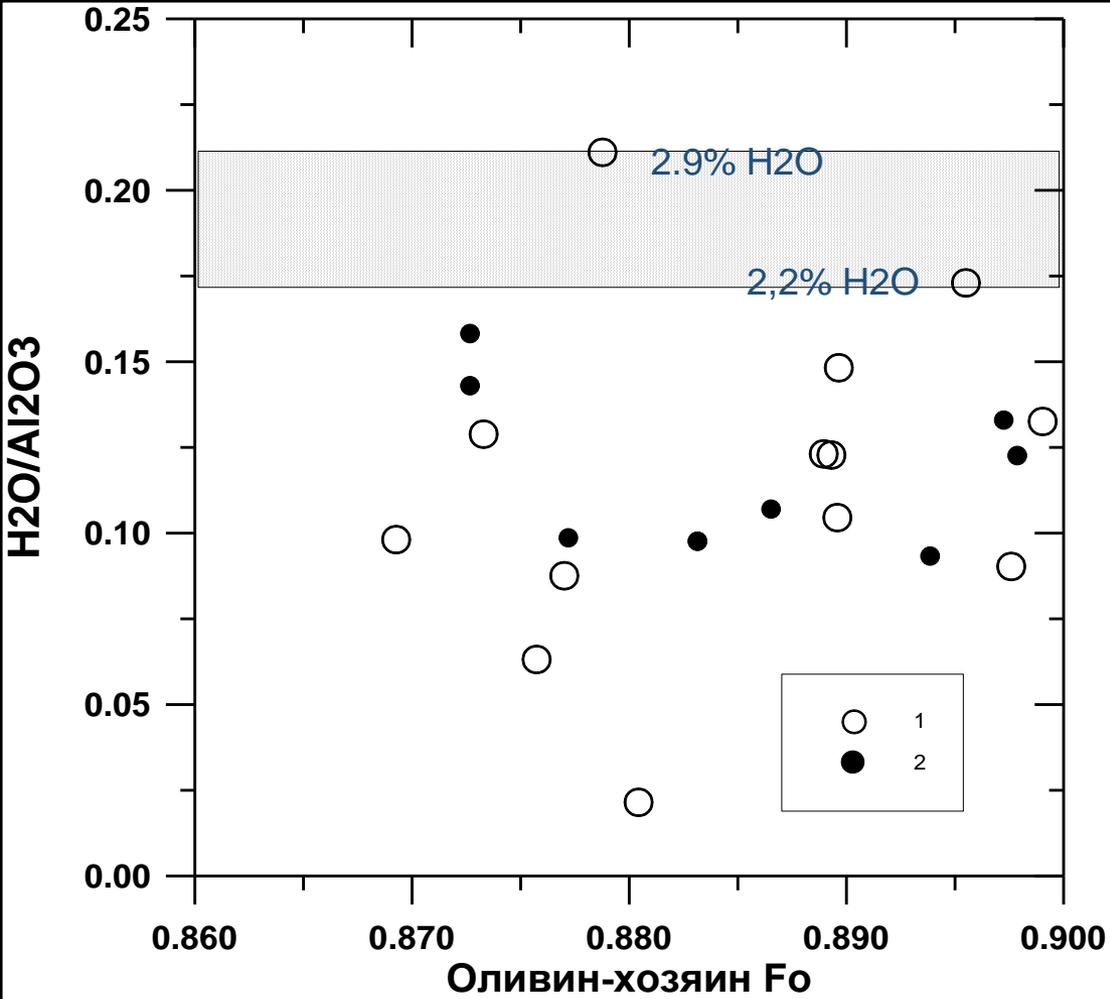
Методом сейсмической томографии построена объемная скоростная модель земной коры под Ключевской группой вулканов. Выделены аномалии скоростных параметров связанных с зонами магматического питания активных вулканов. Результаты петрологических исследований находятся в хорошем соответствии с сейсмотомографической моделью.

Следует, подчеркнуть, что выделение и разработку субщелочных (не типичных) для островных дуг вулканогенных образований на Камчатке, первым, начал Олег Назарович Волынец.

К- трахиандезибазалыты ТТИ-50

К- трахиандезибазалыты ТТИ-50 резко отличаются от магнезиальных базальтов Ключевского, Харчинского вулканов и северного прорыва БТТИ по своему минеральному составу. Они преимущественно субафировые и афировые. Оливин и клинопироксен в субфенокристаллах – редкость, преобладает основной плагиоклаз (An 83-55). Иногда вкрапленники плагиоклаза достигают значительных размеров – до 15 мм. Они, как правило, зональные, нередко резорбированы стеклом. Петрографический анализ свидетельствует о кристаллизации плагиоклаза на ликвидусе субщелочного расплава.

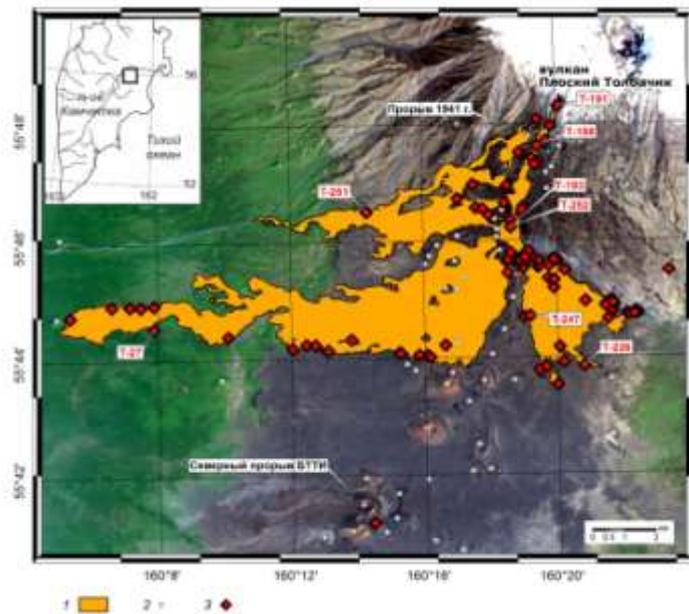




Максимальные содержания H₂O
измеренные в закаленных расплавных
включениях составляют от 2,2 до 2,9 %.

КАРТА

опробования
лавовых
потоков ТТИ-50



На южном склоне вулкана Плоский Толбачик 7 мая 1941 г., на высоте 2000 м. началось побочное извержение (надсубдукционных) умереннокалиевых магнезиальных базальтов.

27 ноября 2012 на южном склоне вулкана Плоский Толбачик на высоте 2386 м.

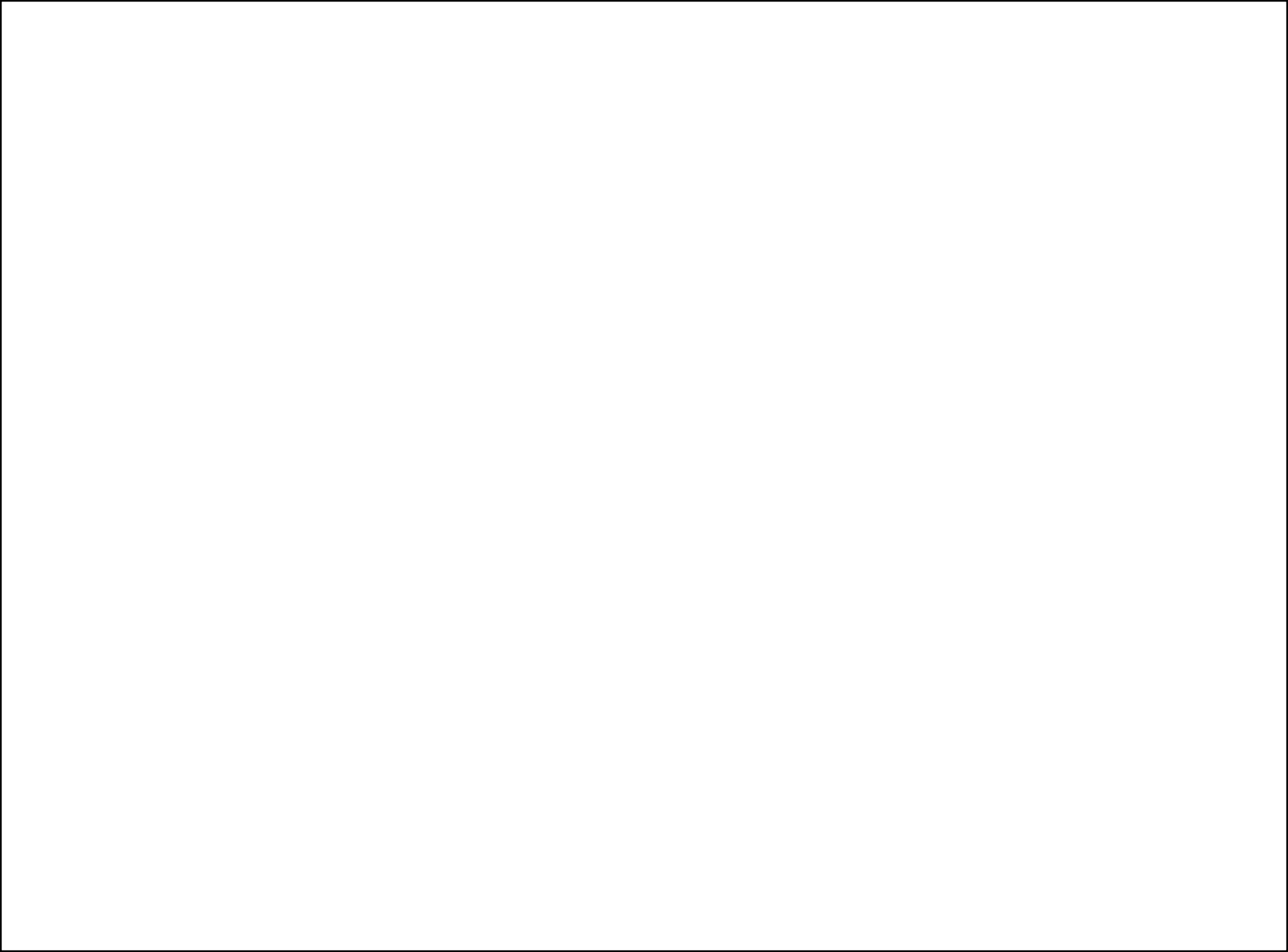
Проведенный сравнительный анализ нормированного распределения содержаний несовместимых элементов К-трахиандезибазальтов и внутриплитных пород по отношению их концентраций к таковым в примитивной мантии показал, что они имеют различные источники. К-трахиандезибазальты не относятся ни к одной из выделенных разновозрастных внутриплитных высококалиевых или К-Na серий Камчатского полуострова.

В тоже время, они извергались в непосредственной близости от островодужных умереннокалиевых базальтов и андезибазальтов вулканов Ключевской, Плоский Толбачик (извержения 1941 г), Толбачинского дола (Северный прорыв БТТИ 1975 г), в одно и то же историческое время. Сравнение геохимических особенностей К-трахиандезибазальтов с таковыми надсубдукционных умереннокалиевых базальтов и андезибазальтов Ключевской группы вулканов может помочь выяснению их ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ТИПИЗАЦИИ

Актуальность геохимического изучения К-трахиандезибазальтов (ТТИ-50) обусловлена как минимум двумя обстоятельствами: их извержением в непосредственной близости от островодужных (надсубдукционных) умереннокалиевых магнезиальных базальтов побочного прорыва 1941г вулкана Плоский Толбачик и нахождением алмазов в лавовых потоках ТТИ-50.

Одной из проблем магматической геохимии островных дуг и континентальных окраин является выяснение причин пространственной геохимической зональности. В последнее время, в пределах этих планетарных структур выявлены нехарактерные для них (неостроводужные) вулканические комплексы пород разного возраста, которые характеризуются индивидуальными геохимическими признаками. Одни из них имеют К-Na субщелочную или щелочную специфику, характерную для рифтогенного и внутриплитного геохимического типа пород. Другие - характеризуются значительным обогащением легких литофильных элементов и относятся к внутриплитным К-щелочным базальтам

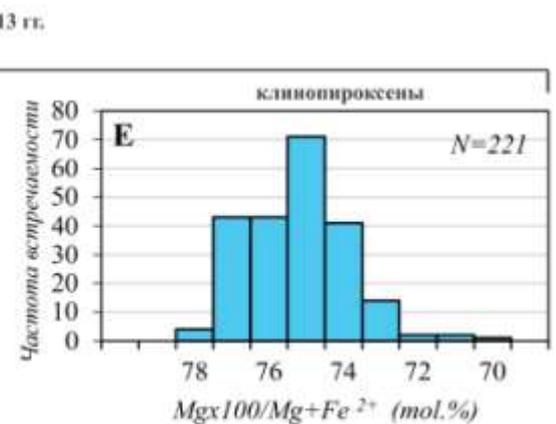
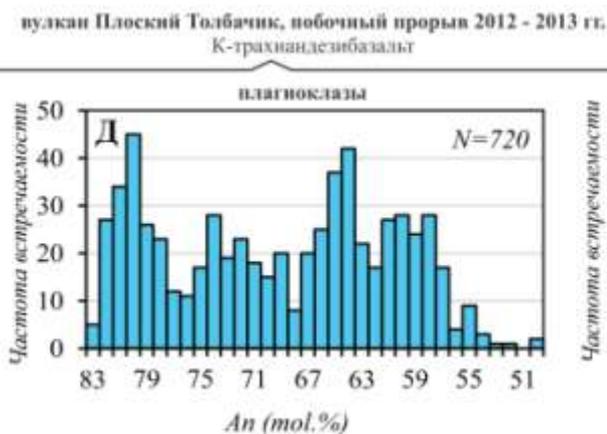
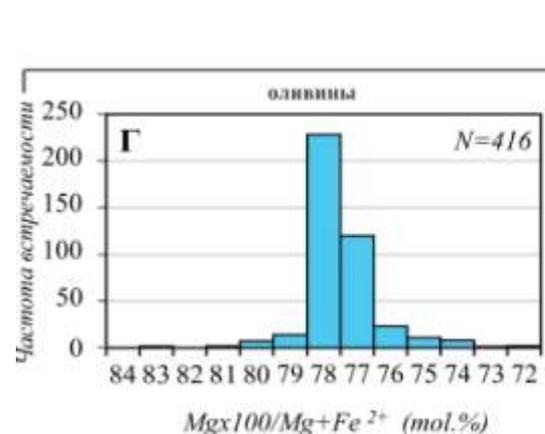
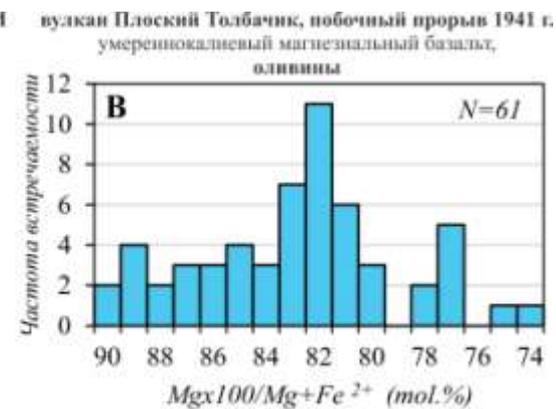
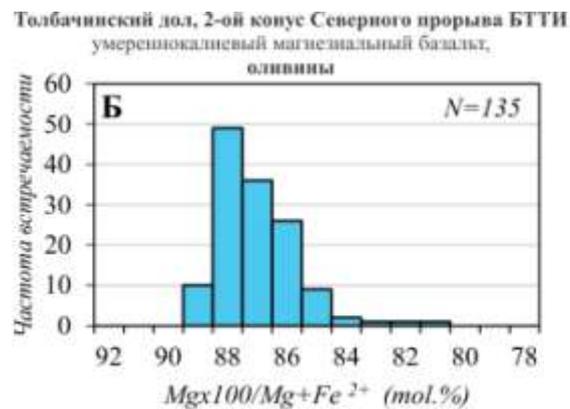
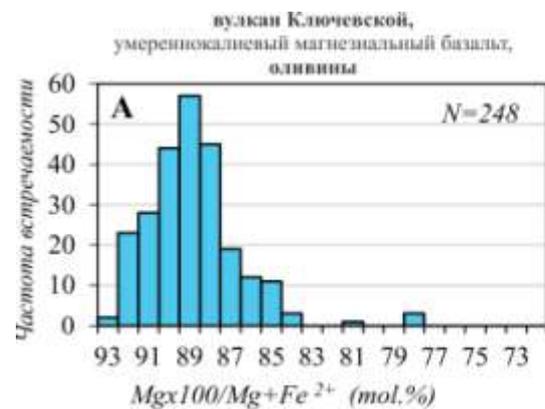
При этом, в долгоживущих вулканических центрах может фиксироваться смена островодужных (надсубдукционных) известково-щелочных умереннокалиевых вулканических образований, на внутриплитные, базальтоиды,



Для оценки геохимической типизации сравниваемых вулканитов наиболее надежным методом является построение графиков (спайдердиаграмм), характеризующих отношение концентраций некогерентных (несовместимых) элементов в породе к концентрациям этих элементов в примитивной (недеплетированной) мантии, впервые предложенной в 1979 г. американским исследователем Джеймсом Вудом при изучении базальтов Тихого океана .

Это особенно актуально, так как используется весь спектр **26 несовместимых элементов**, которые при **плавлении источника первыми уходят в расплав**.

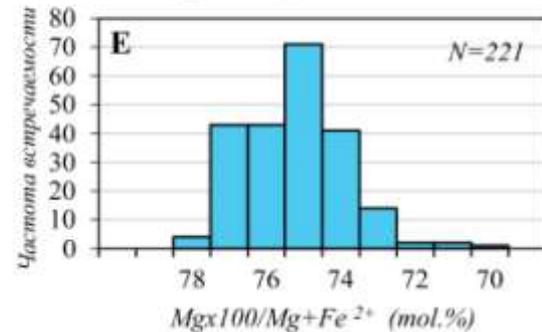
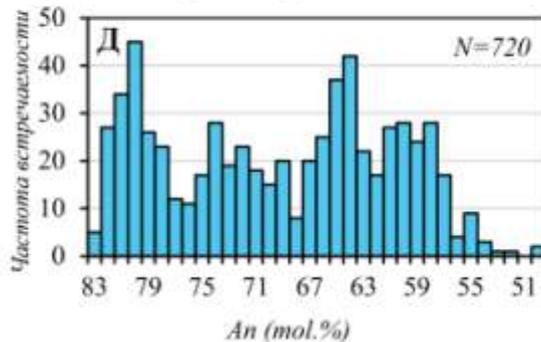
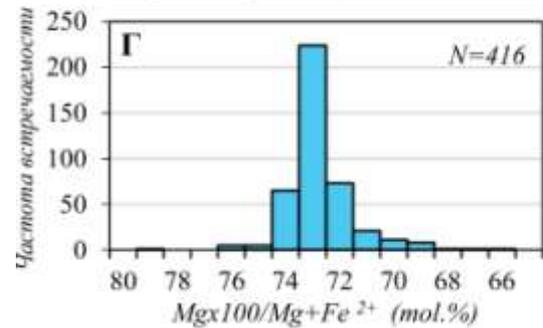
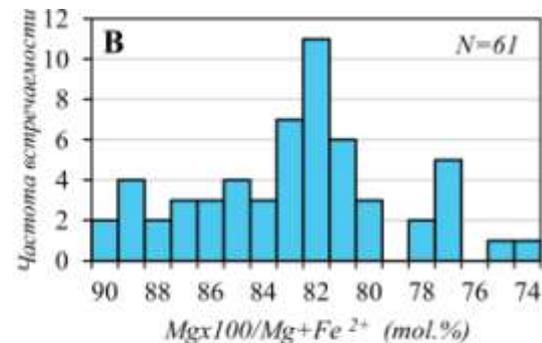
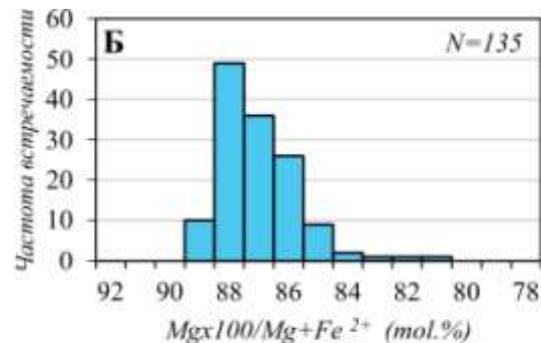
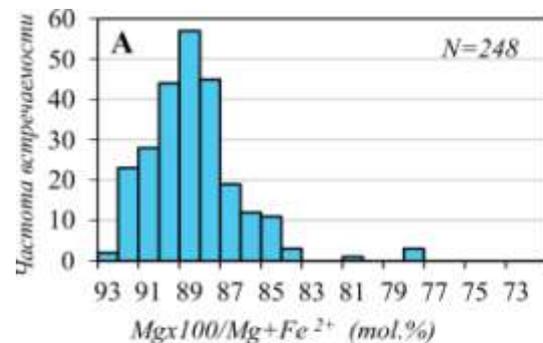
По этой методике проведено сравнение геохимических особенностей К трахиандезибазальтов извержения 2012-2013 гг. с геохимическими особенностями **основных геохимических типов пород различных районов Камчатского полуострова**. Сопоставление геохимического и изотопного составов всех рассматриваемых вулканических пород должно помочь выяснению генезиса К-трахиандезибазальтов и интерпретации их источника.



○ **ВЫВОДЫ**

- Петрографические, минералогические и геохимические особенности К-трахиандезибазальтов свидетельствуют об их надсубдукционном происхождении. Это глубоко дифференцированные породы, характеризующиеся значительным фракционированием Rf, за счет дегазации H₂O в малоглубинной камере.
- В то же время, изучение радиогенных изотопных характеристик К-трахиандезибазальтов свидетельствует об их мантийном источнике и отсутствии влияния земной коры на их составы.
- Сравнительный анализ нормированного распределения несовместимых элементов К-трахиандезибазальтов с таковыми внутриплитных, рифтогенных и надсубдукционных умереннокалиевых базальтов и андезибазальтов показал, что источник К-трахиандезибазальтов наиболее близок источнику умереннокалиевых пород.
- Основными отличиями в распределении несовместимых элементов умереннокалиевых базальтоидов и К-трахиандезибазальтов являются более высокие отношения Nb/Yb и Rb/Ba, Rb-максимумы, Sr –минимумы и повышенные содержания всех несовместимых элементов на спайдердиаграммах в последних.
- Sr –минимумы на спайдердиаграммах К-трахиандезибазальтов,, обусловлены фракционной кристаллизацией плагиоклаза.
- Rb-максимумы К-трахиандезибазальтов в рассматриваемых многокомпонентных системах, наиболее вероятно, связаны с генезисом их исходных расплавов, в результате плавления более глубинного мантийного источника чем источник умереннокалиевых пород, к тому же претерпевшего меньшую степень плавления и метасоматизированного глубинным субдукционным компонентом, образованным при значительном разложении флогопита.

7 Рассмотренные геохимические особенности К-трахиандезибазальтов свидетельствуют о гетерогенности мантии в этом районе Камчатки и позволяют отнести их к надсубдукционной субщелочной формации калиевого ряда



ТИПИЗАЦИЯ КАЛИЕВЫХ ТРАХИАНДЕЗИБАЗАЛЬТОВ ПОБОЧНОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ 2012-2013 ГГ. ВУЛКАНА ПЛОСКИЙ ТОЛБАЧИК ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ ПРИНАКАМ (КАМЧАТКА)

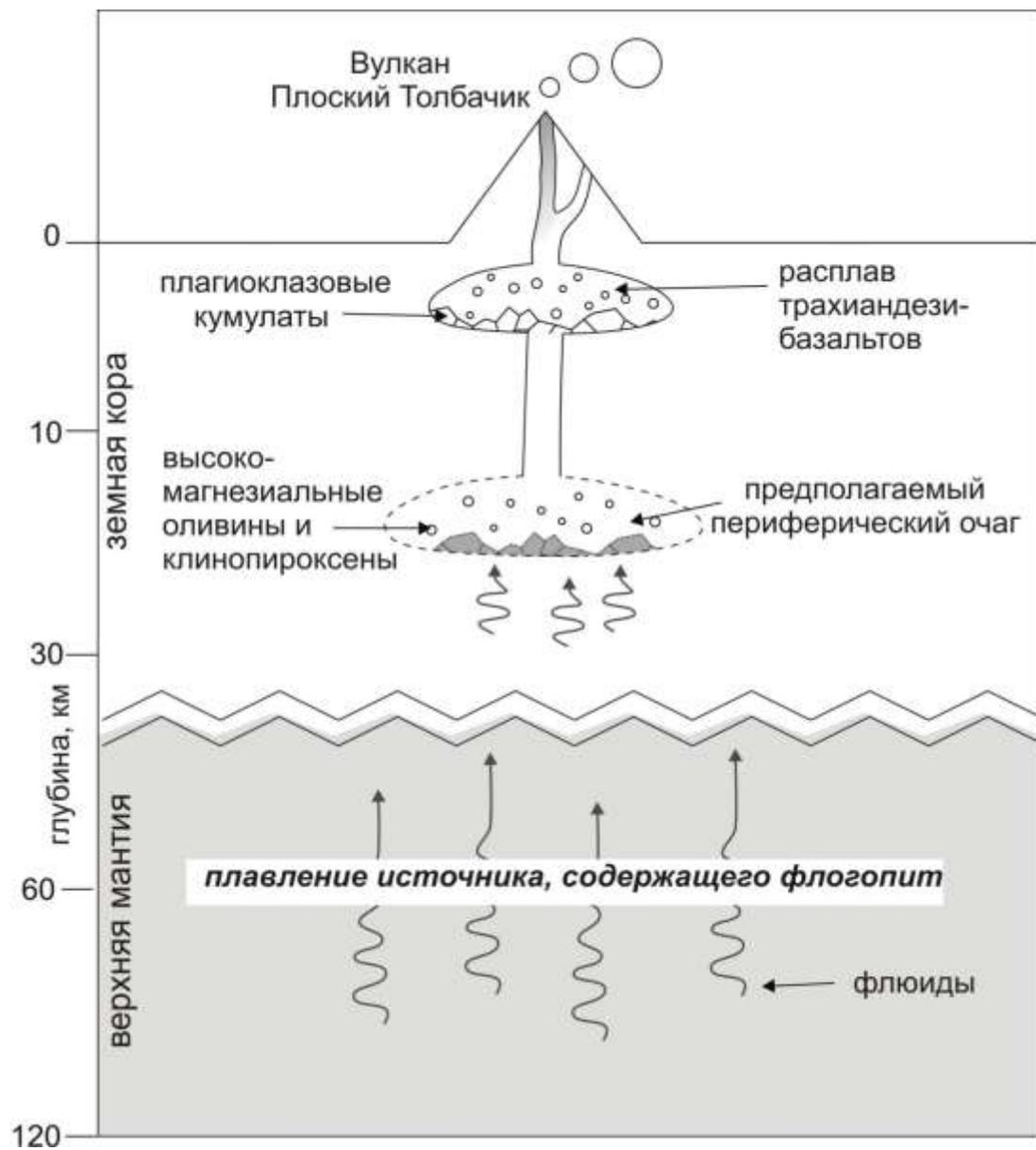
С. А. Хубуня Т. С. Еремина,, А. В. Колосков, А.В. Соболев

Одной из проблем магматической петрологии и геохимии является выяснение причин геохимической зональности в островных дугах. Известно, что поперечная геохимическая зональность вкост островной дуги выражается в смене толеитовых (низкокалевых) базальтов на известково-щелочные (среднекалиевые) и трахибазальтовые (высококалиевые, с востока на запад). В районе Ключевской группы вулканов эта закономерность нарушается, так как здесь на ограниченной площади встречены продукты известково-щелочных и калиевых трахиандезибазальтовых магм.

В настоящем сообщении дается сравнительный изотопно-геохимический анализ продуктов вулканической деятельности, которые извергались в одном месте и в одно время. Но эти вулканические образования относятся к разным геохимическим типам.

Сравниваемые образования обнаруживают ряд контрастных петрографических и геохимических различий, свидетельствующих о том, что субщелочные и известково-щелочные вулканиды не могут быть получены в результате процессов фракционирования из единого исходного мантийного расплава. Вероятно, в их образовании участвовали разноглубинные мантийные источники





Магнезиальные и глиноземистые андезибазальты

Геохимическая близость глиноземистых и магнезиальных андезибазальтов, отражена в их минеральном составе. Так же, как и высокомагнезиальные базальты, магнезиальные и глиноземистые андезибазальты характеризуются присутствием вкрапленников высокомагнезиального оливина и клинопироксена. Но они более редки и – соседствуют с крупными лейстами и таблицами основного плагиоклаза. Соотношения между темноцветными минералами и плагиоклазом во вкрапленниках – разные, но чаще сопоставимые, без резкого доминирования одних над другими.

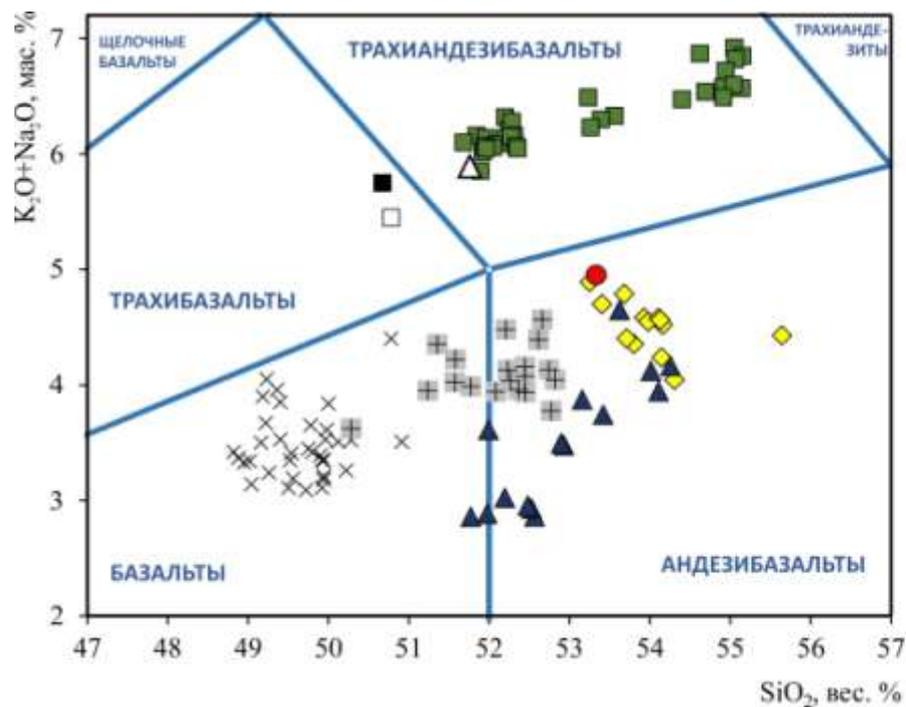
Балансовые расчеты проведенные над высокомагнезиальными базальтами прорыва Булочки и андезибазальтами эксплозивного конуса Цирк показали 100% петрохимическую сходимость

расчетного и реального составов андезибазальтов прорыва Цирк, за счет удаления части ОI и Срх из высокомагнезиальных базальтов Булочки (Хубуная и др., 1993).

Для выяснения генезиса порфировых пород необходимо привлекать составы минералов вкрапленников. Наиболее информативными для прослеживания эволюции породообразующих расплавов базальтов, андезибазальтов Ключевского вулкана являются фенокристаллы оливина – минерала, который здесь кристаллизуется от ликвидуса до солидуса.

Близость условий кристаллизации Mg-базальтов и андезибазальтов Ключевского вулкана хорошо видна на вариационных диаграммах составов ОI





Вулкан Ключевской

- ◆ умереннокальциевые глиноземистые андезитобазальты
- ▲ умереннокальциевые магниевые базальты и андезитобазальты

Толбачинский дол

- × умереннокальциевые магниевые базальты, Северный прорыв БТТИ
- } наиболее распространенные средние составы субщелочных
- } глиноземистых базальтов (трахибазальтов), Южный прорыв БТТИ

Вулкан Плоский Толбачик

- К-трахиандезитобазальты побочного прорыва 2012-2013 гг. вулкана Плоский Толбачик
- умереннокальциевый глиноземистый андезитобазальт из геологического разреза вулкана Плоский Толбачик
- △ К-трахиандезитобазальт побочного прорыва 2012-2013 гг. вулкана Плоский Толбачик [Zelenski et.al., 2014]

Вулкан Харчинский

- ▣ магниевые базальты и андезитобазальты из геологического разреза вулкана

**Возможные аналоги плагиоклазовых кумулатов в нижней части магматического очага
побочного извержения 2012-2013 гг вулкана Плоский Толбачик (ТТИ-50)**



Ксенолит плагиоклазового кумулата
Сев. прорыва БТТИ (1конус) -1975 г



Кристаллолапилли кальдерного извержения
вулкана Плоский Толбачик -9-10 тыс.лет



Ксенолит плагиоклазового кумулата
Сев. прорыва БТТИ (1конус) -1975 г



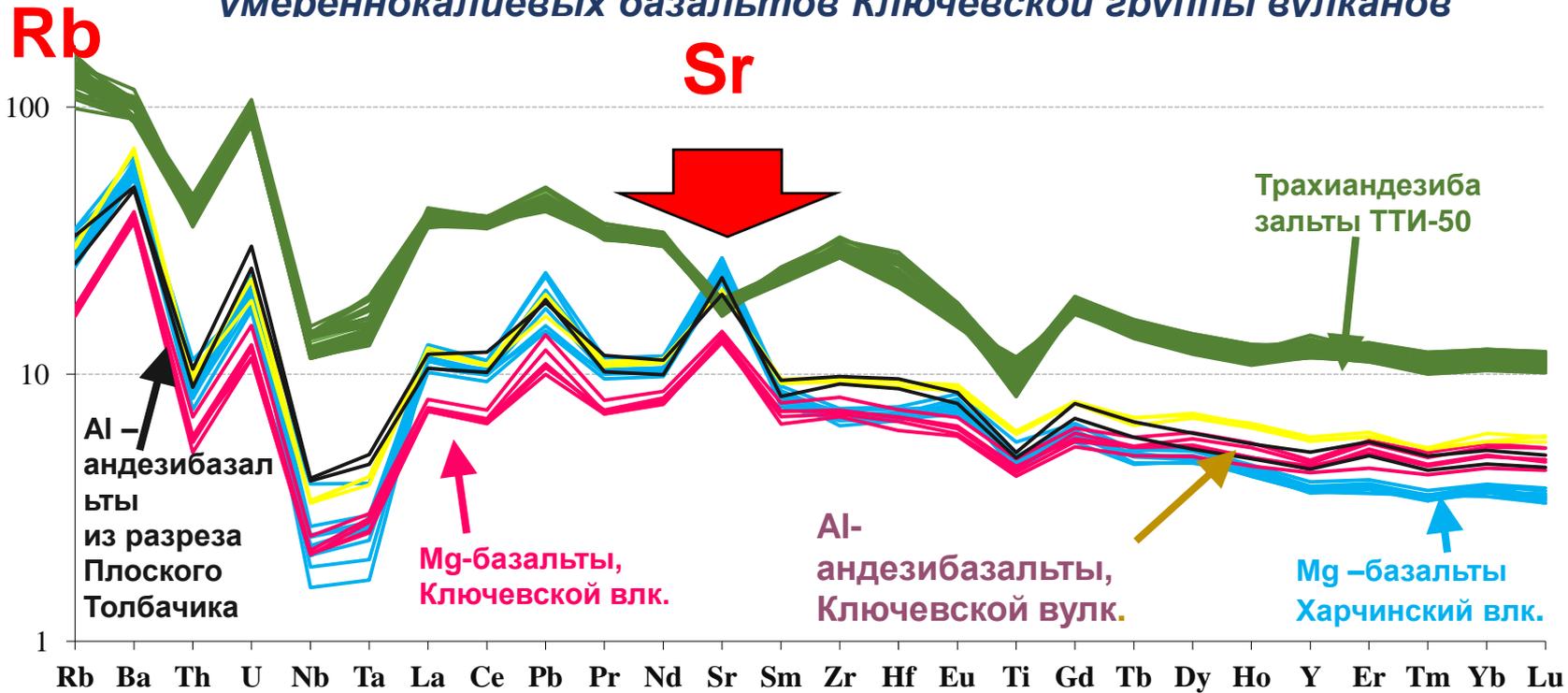
Ксенолит плагиоклазового кумулата
извержения 1941 г магнезиальных
базальтов вулкана Плоский Толбачик



Мегаплагиофировые лавы (плагиоклазовые кумулаты) вулкана Ушковский,
конус Лавовый Шиш – 10-11 тыс.лет назад (из коллекции Б. И. Пийпа)



Спайдердиаграммы К-трахиандезибазальтов и надсубдукционных умереннокалиевых базальтов Ключевской группы вулканов



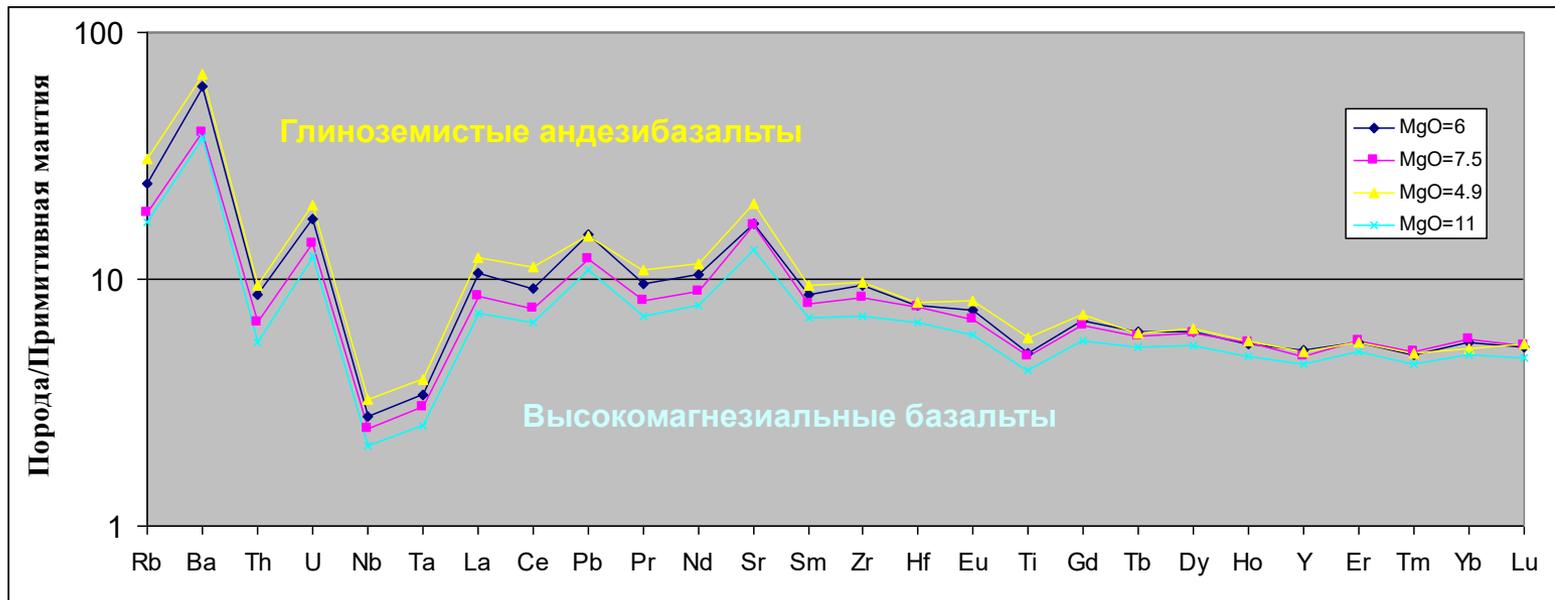
На спайдердиаграммах базальтов и андезибазальтов отмечается сходство в распределении элементов-примесей, обусловленное их генерацией из одного мантийного источника.

Несмотря на общность характера распределения большинства несовместимых элементов во всех изучаемых породах, объясняемую их формированием в островодужных условиях, есть и **существенные различия** между К-трахиандезибазальтами и умереннокалиевыми вулканитами. Для К-трахиандезибазальтов характерно стабильно **повышенное** содержание **всех элементов-примесей**, **Sr-минимумы** и **Rb-максимумы**, по сравнению с умереннокалиевыми вулканитами.

Это свидетельствует о разных источниках исходных расплавов для известково-щелочных и субщелочных магм.

Близость расположения объектов исследования и почти одновременное образование изучаемых пород, свидетельствует о вертикальной гетерогенности мантийных источников,

Спайдердиаграммы высокомагнезиальных, магнезиальных и глиноземистых базальтов и андезибазальтов Ключевского вулкана

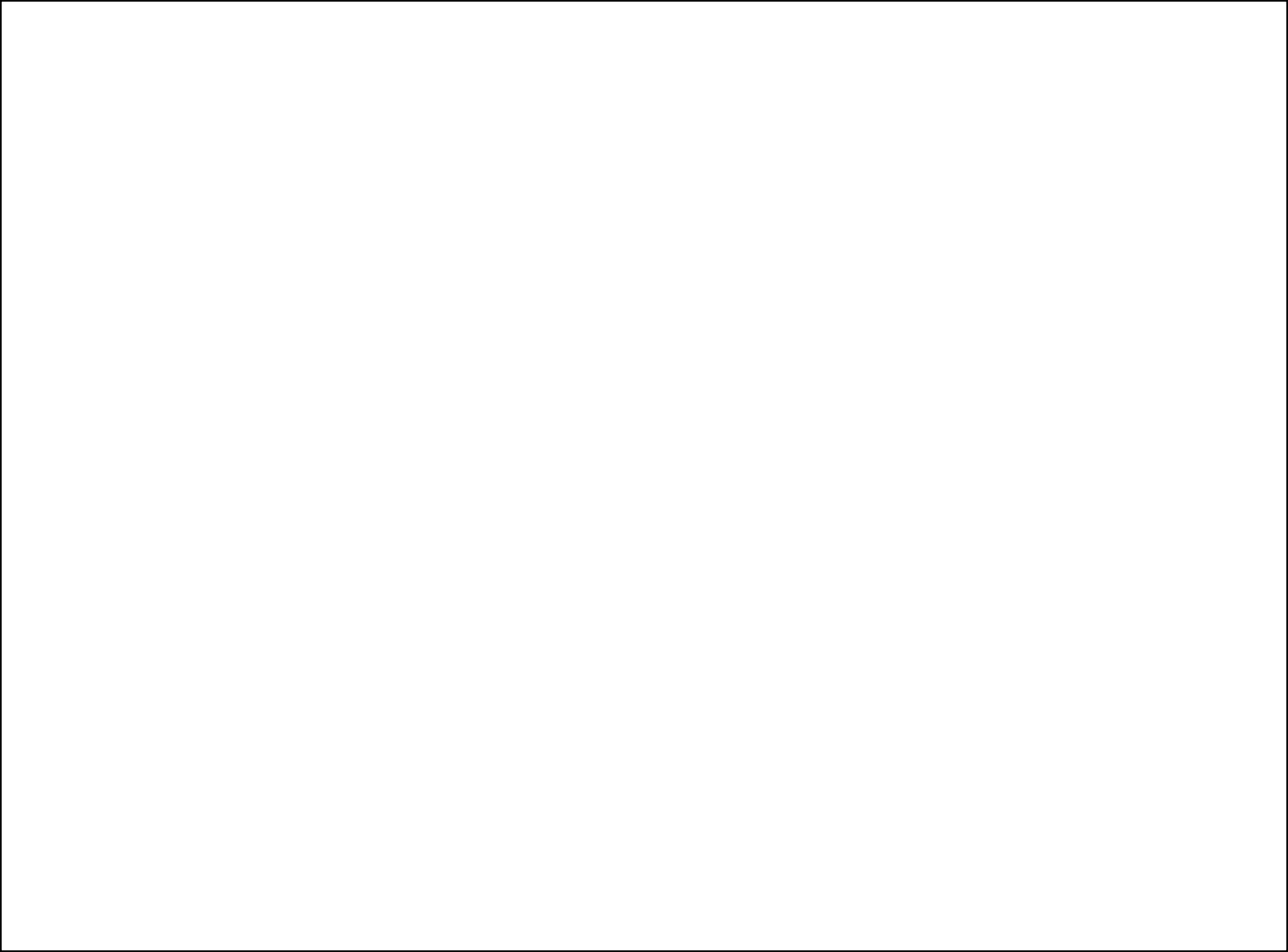


Особенно хорошо связь между магнезиальными и глиноземистыми вулканитами видна на этом рисунке. Общий вид спайдердиаграмм исследуемых пород Ключевского вулкана соответствует островодужным вулканитам с характерно высокими (избыточными) концентрациями крупноионных литофильных элементов (Ba, Sr) и аномально низкими концентрациями высокозарядных катионов (Ti, Zr, Nb).

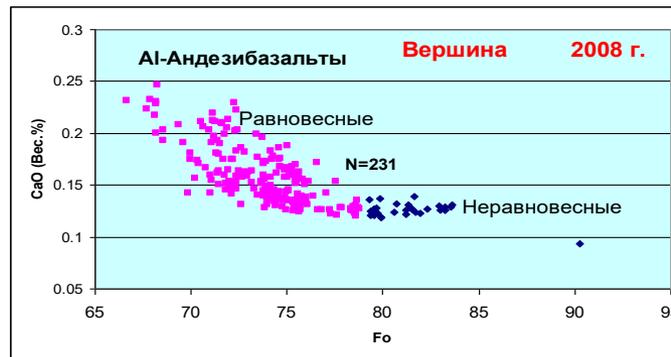
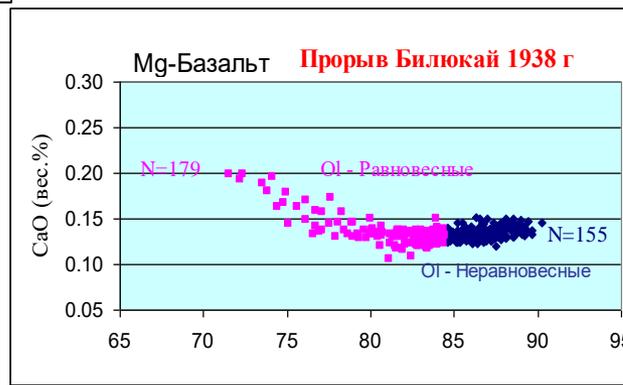
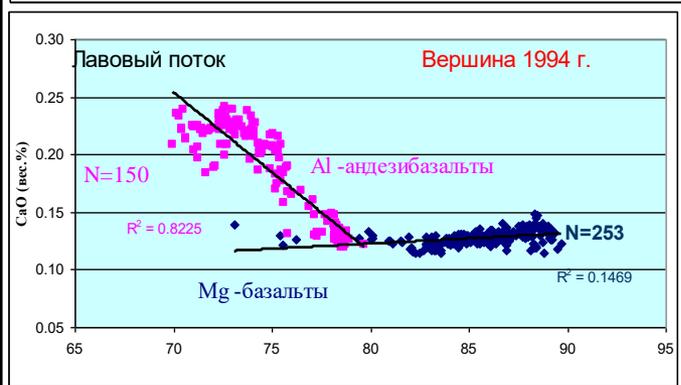
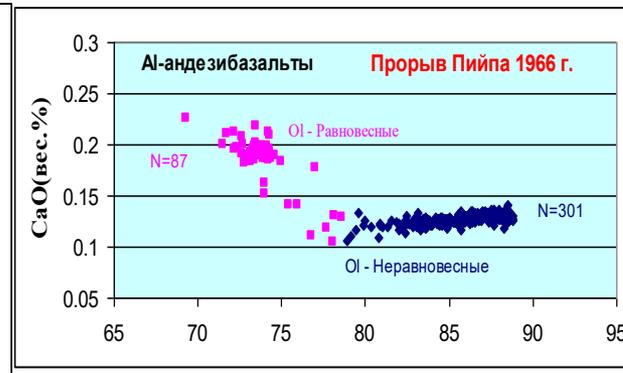
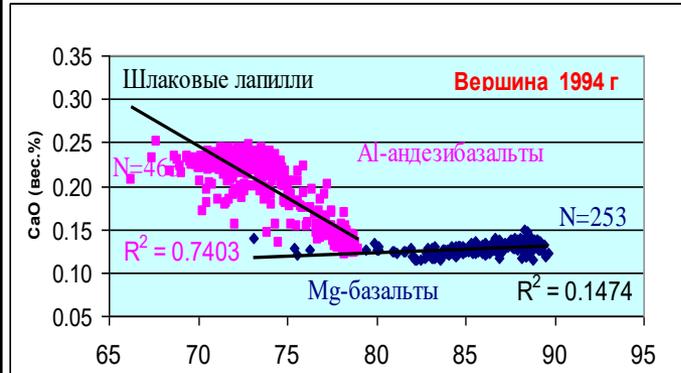
Характер распределения Элементов-примесей во всех породах Ключевского вулкана одинаковый, из чего следует вывод, что они сформировались в ходе плавления **единого мантийного источника**, а все разнообразие их химического состава (от магнезиальных базальтов до глиноземистых андезибазальтов) объясняется процессами фракционной кристаллизации в промежуточных магматических очагах.

Важной особенностью является наличие **Sr – максимума**, который присутствует на спайдердиаграммах всех пород, вне зависимости от их химического состава.

Аналогичное распределение Элементов-примесей характерно для магнезиальных пород Харчинского вулкана, магнезиальных базальтов северного прорыва БТТИ.



Зависимость содержания CaO в оливине от его магнезиальности в базальтах и андезибазальтах вулкана Ключевской



Особенно хорошо **геохимическая связь** пород Ключевского вулкана отражается на вариационных диаграммах содержания CaO/магнезиальности ОI. Здесь все вулканы, вне зависимости от возраста и места извержения, характеризуются **одинаковыми** особенностями, ярко свидетельствующими об их **совместном генезисе**

1. Среди оливинов всех пород присутствуют кристаллы, которые **не могли кристаллизоваться** из расплава соответствующего составу породы, в которой эти оливины находятся – **неравновесные оливины**
2. Во всех оливинах **содержание CaO монотонно падает**, с падением магнезиальности, а после 80 номера – резко возрастает.

Оливины Плоского Толбачика: сравнение БТТИ, ТТИ-50

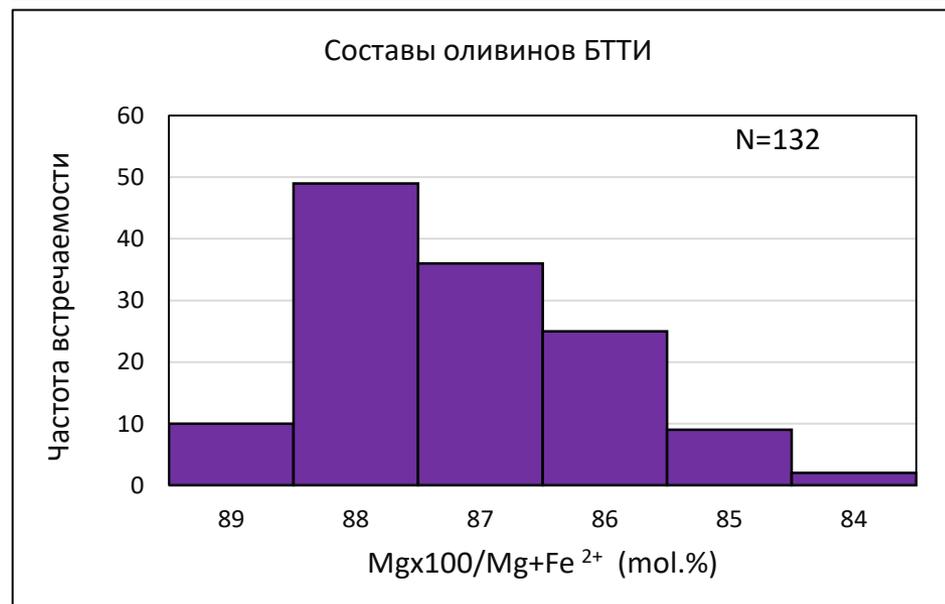
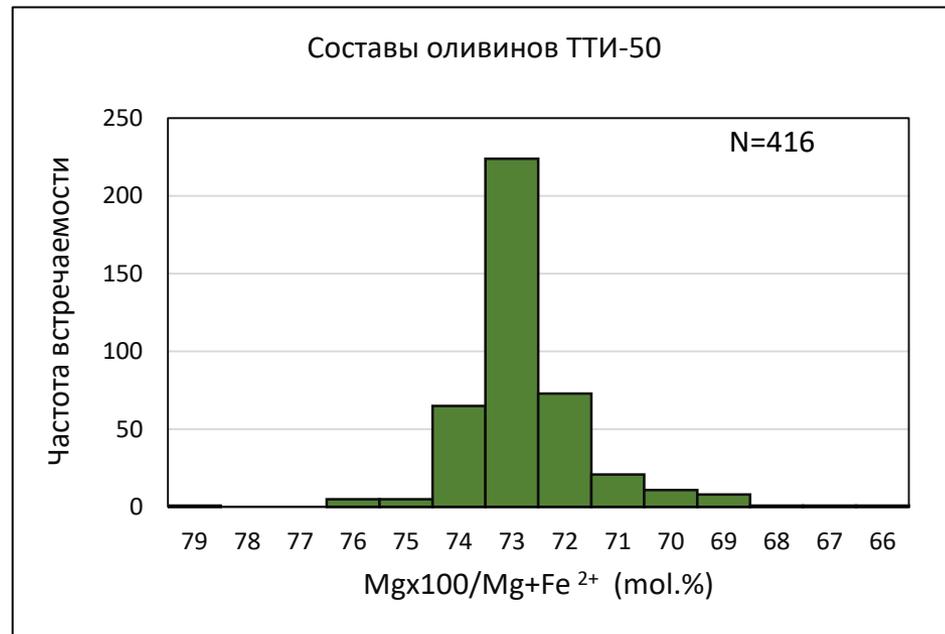
Магнезиальные базальты северного прорыва БТТИ и субщелочные андезибазальты ТТИ-50 являются преимущественно афировыми породами.

Оливин в них присутствует в мелких зернах в основной массе и субфенокристаллах (до 1 мм в поперечнике). На гистограммах частоты встречаемости оливина разной магнезиальности обнаруживается резкое различие в составе этого минерала в известково-щелочных и субщелочных образованиях вулкана Плоский Толбачик.

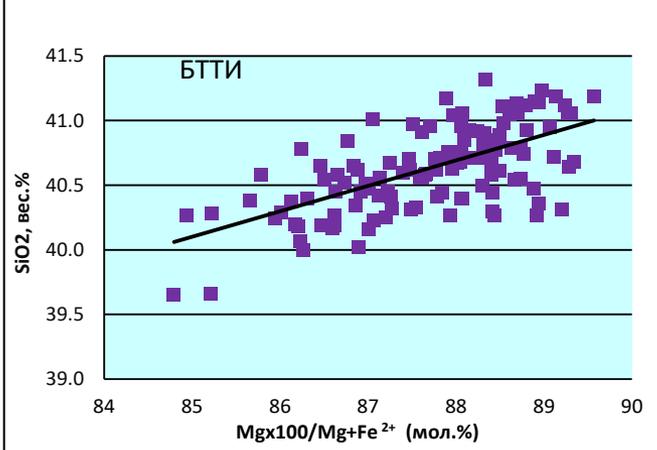
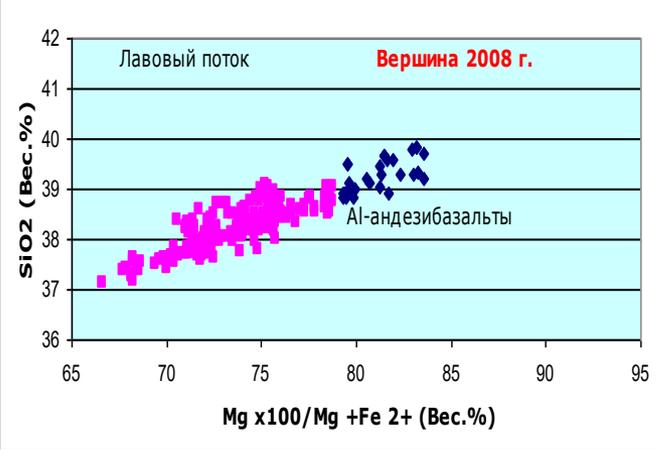
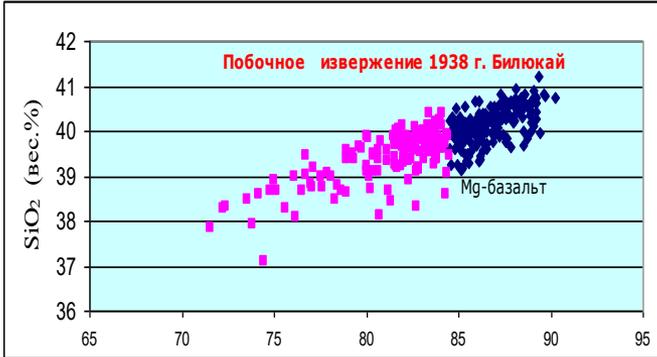
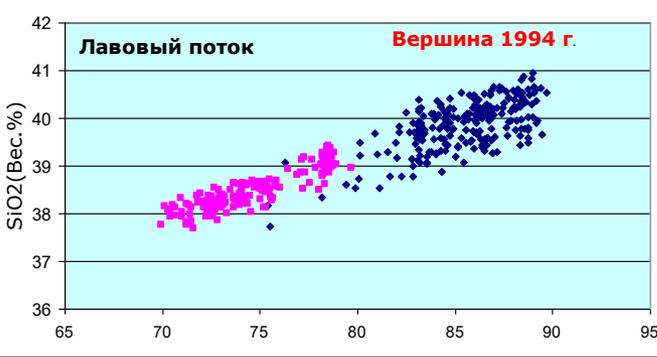
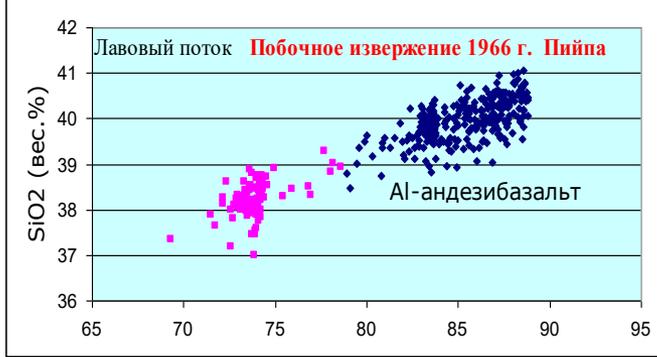
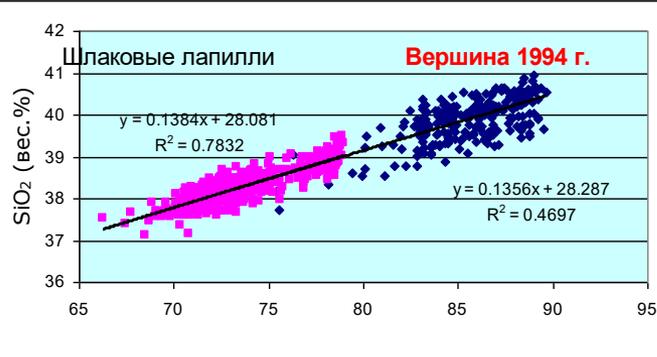
В продуктах ТТИ-50 преобладает ОI с магнезиальностью 73.

Для оливинов БТТИ наиболее характерны высокомагнезиальные оливины Fo 87-88.

Такое значительное расхождение магнезиальности оливинов, являющихся для изучаемых пород своеобразными индикаторами процессов эволюции исходных расплавов, позволяет утверждать их существенное петрохимическое различие.



Зависимость содержания SiO_2 в ОI от его магнезиальности в магнезиальных базальтах и андезибазальтах, глиноземистых андезибазальтах вулканов Ключевской, Плоский Толбачик

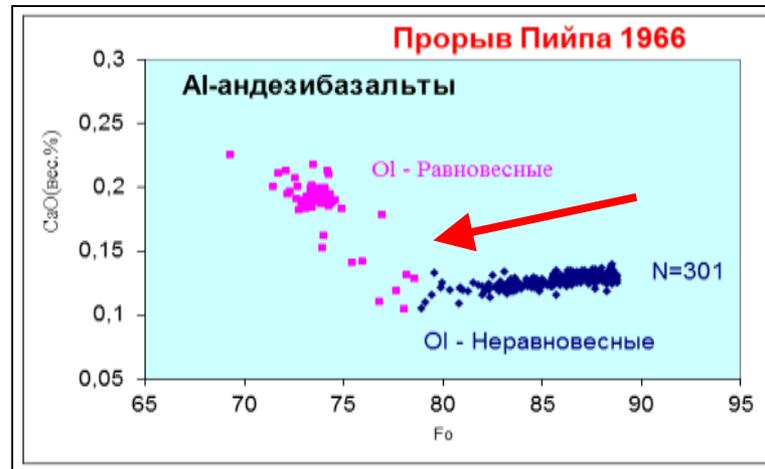
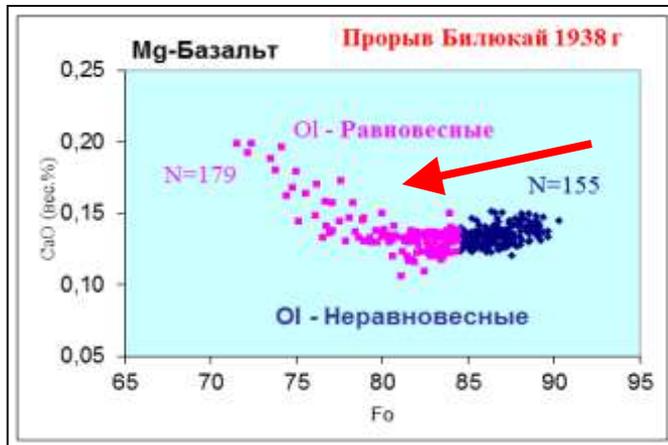


Содержание SiO_2 в ОI всех пород монотонно падает с уменьшением магнезиальности ОI. При этом составы оливинов также одинаково изменяются от Fo41 до Fo37-38 во всех рассматриваемых вулканитах Ключевского вулкана, и от Fo41 до Fo39 в базальтах Северного прорыва БТТИ.

Концентрации Cr и Ni в оливинах всех рассматриваемых вулканитов также одинаково падают с уменьшением его магнезиальности, а Co и Mn напротив – возрастают.

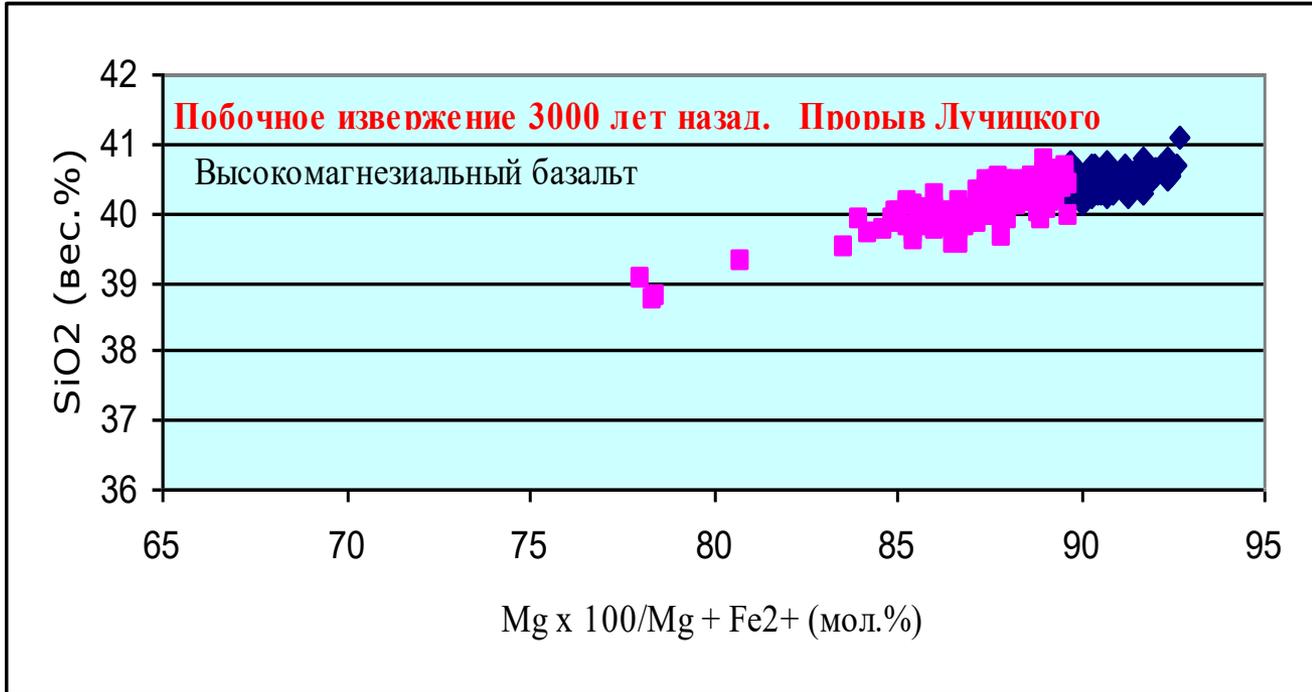
Сравнение оливинов Харчинского, Ключевского вулканов

Неравновесные составы оливинов (Fo90-85) и эффект резкого возрастания содержаний CaO в оливинах, который наблюдается во всех Ключевских базальтах и андезибазальтах присутствует и в магнезиальных базальтах вулкана Харчинский. Это является следствием одинаковых условий кристаллизации от ликвидуса до солидуса и одном источнике из, которого выплавлялись рассматриваемые вулканы, несмотря на значительные отличия их в возрасте.

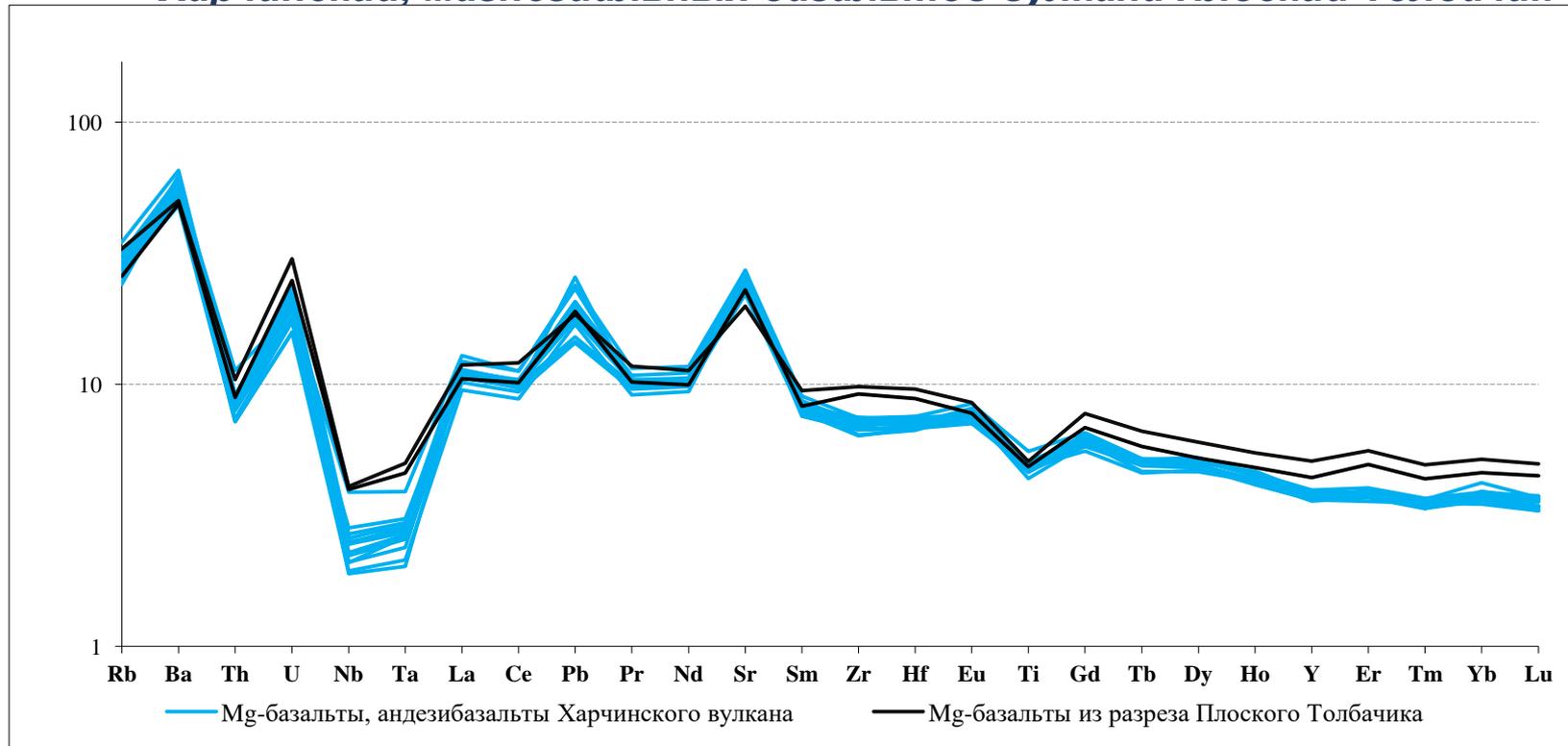


Вариационные диаграммы
магнезиальность/SiO₂ для
оливинов
высокомагнезиальных
базальтов Ключевского,
Харчинского вулканов

Та же тенденция
прослеживается на
высокомагнезиальных
базальтах вулкана
Колючевской и Харчинский



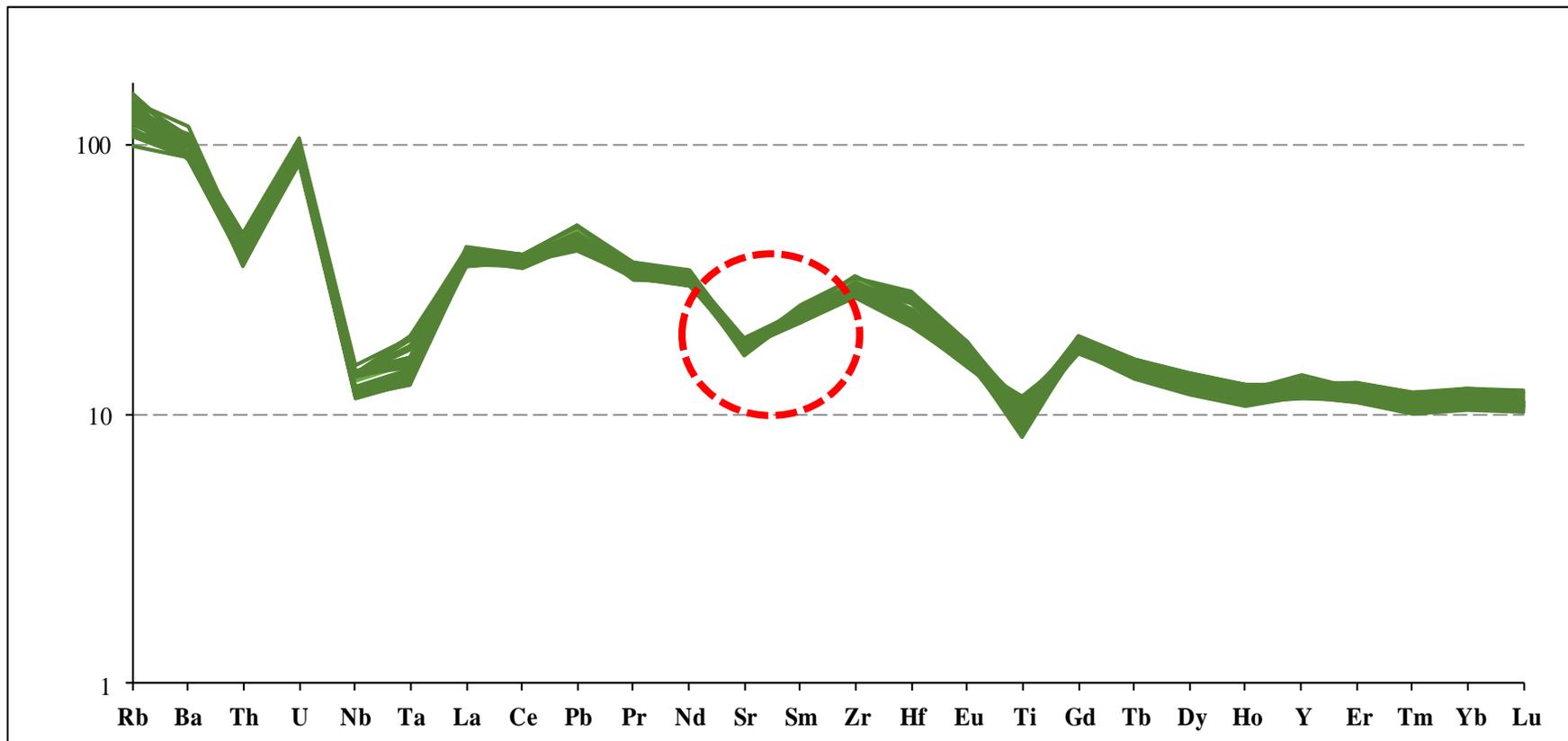
Спайдердиаграмма магнезиальных базальтов и андезибазальтов вулкана Харчинский, магнезиальных базальтов вулкана Плоский Толбачик



Здесь также фиксируются островодужные магматические характеристики: положительные пики крупноионных литофильных элементов (Ba, Sr) и anomalно низкие концентрации высокозарядных катионов (Ti, Zr, Nb), как и в породах Ключевского вулкана присутствует **Sr-максимум**, который можно считать **региональной меткой** всех магнезиальных базальтов и их дифференциатов (высокоглиноземистых и магнезиальных андезибазальтов).

Таким образом, несмотря на относительную удаленность вулкана Харчинского от Ключевской группы, и его более древний возраст, **мантийный субстрат**, поставлявший исходные расплавы, по-видимому, **был тем же**, что и для пород Ключевского вулкана, магнезиальных базальтов Толбачика.

Спайдердиаграмма трахиандезибазальтов ТТИ-50



Спайдердиаграмма субщелочных трахиандезибазальтов ТТИ-50 характеризует их как островодужные образования. В характере распределения **НЕКОГЕРЕНТНЫХ элементов** отражено широкое развитие в субщелочных расплавах процессов фракционной кристаллизации, о чем свидетельствует наличие глубокого **Sr-минимума**. **Sr-минимум** объясняется кристаллизацией и аккумуляцией плагиоклаза в промежуточных магматических очагах. Накапливаясь на дне магматической камеры, кристаллы плагиоклаза образовывали плагиоклазовые кумулаты. В апикальных частях камеры расплав обеднялся Sr. Подтверждением высказанного положения могут служить крупные фенокристаллы Pl в трахибазальтах, мегаплагиофировые базальты, многочисленные крупные плагиоклазовые кристаллолапилли и кумулятивные плагиоклазовые породы. Они встречаются при извержениях трахибазальтов..

Значительные объемы продуктов вулканических, извержений, их продолжительность, минералогические и геохимические особенности базальтовой магмы разной щелочности указывают на процессы фракционной кристаллизации протекающие в промежуточных магматических очагах.

Одинаковые петрографические особенности, сходное поведение в распределении главных, редких и редкоземельных элементов (РЗЭ) в минералах и породах известково-щелочной серии и разнородность таковых субщелочной серии в течении всего периода кристаллизации от ликвидуса к солидусу свидетельствует о разном генезисе сравниваемых продуктов вулканической деятельности. В рамках современных геохимических представлений продукты магнезиальных и субщелочных мантийных выплавов независимы. Их невозможно получить друг из друга в результате фракционной кристаллизации. Каждый из этих исходных магматических расплавов имеет свою короткую дифференцированную серию.

Изотопно-геохимический анализ магнезиальных и субщелочных пород свидетельствует об их принадлежности к мантийным выплавкам без какого-либо влияния земной коры.

Извержения этих мантийных магматических продуктов в непосредственной близости друга от друга на поверхности, в одной точке (вулкан Плоский Толбачик: ТТИ-50 и извержение 1941 г.) и в одно и то же время (Северный и Южный прорывы БТТИ) позволяют предполагать их генезис в результате плавления разных горизонтов мантии.

Эти извержения свидетельствуют о разноглубинных мантийных выплавках разной щелочности, и, как следствие, о вертикальной гетерогенности мантии в районе Ключевской группы вулканов.