

Динамика формирования гранитоидных батолитов

**А.Г. Владимиров, А.В. Травин, О.П. Полянский
(ИГМ СО РАН, г. Новосибирск),**

Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований СО РАН (проекты №№ 77, 123), а также ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России 2012-2013 гг." (проект № 2012-1.2.1-12-000-2008-8340).

Цель доклада

1. *Оценить длительность формирования гранитоидных батолитов на основе геологических, петрологических и термохронологических исследований (U-Pb, Ar-Ar).*
2. *Провести корректное сопоставление геологических данных с результатами математического моделирования процессов масштабного гранитообразования в земной коре.*

Актуальность исследования гранитоидных батолитов определяется тем, что до сих пор остаются дискуссионными вопросы, связанные: 1) с оценкой длительности их внедрения и становления; 2) с механизмами дифференциации; 3) с геодинамическими обстановками и, наконец, - 4) пространственно-временной связью с промышленным оруденением.

История вопроса, терминология и граничные условия задачи

- Гранитоидные батолиты представляют собой крупные плитообразные (30x40x10 км) интрузивные тела мезоабиссальной фации глубинности, с которыми связаны промышленные месторождения золота, железа и редких металлов (Mo-W-Sn, Li-Rb-Cs, Ta-Nb).
- В геотектоническом плане гранитоидные батолиты входят в состав надсубдукционных и коллизионных орогенных горно-складчатых сооружений [Литвиновский, 1987; Хаин, Лобковский, 1992; Добрецов, Кирдяшкин, 1994; циклы статей в рецензируемых журналах – В.И. Коваленко, М.И. Кузьмин, В.В. Ярмолук, В.С. Антипин, А.Г. Владимиров, В.И. Гребенщикова, В.А. Макрыгина, С.Н. Руднев, А.А. Цыганков, Н.Н. Крук, 1990-2012 гг.].
- Для коллизионных геодинамических обстановок гранитоидные батолиты являются петрологическим индикатором орогенеза, отражающим скучивание, утолщение земной коры и её частичное плавление. Вместе с тем, сейчас накапливается все больше данных, что батолитообразование во внутриконтинентальных обстановках связано с постколлизионным этапом, а именно – синорогеническим коллапсом [Chesley et al., 1993; Searle et al., 2003; Владимиров и др., 2003].
- Для активных континентальных окраин (Тихоокеанское горячее кольцо) становится все более очевидно, что масштабное гранитообразование связано с эпизодами трансформного тектогенеза [Heyden, 1989; Herve et al., 2007].

ГИПОТЕЗА

Механизмы гранитообразования и подъем расплавов

«Активный»

Гранитоидный диапиризм в условиях сжатия и утолщения земной коры при коллизионном орогенезе и орогеническом коллапсе

Коллизия «континент-континент» и внутриконтинентальная субдукция

Памиро-Гималаи (альпиды), Корнубийский батолит (герциниды)

«Пассивный»

Гранитообразование в локальных участках декомпрессии при сдвигово-раздвиговых деформациях в земной коре

Трансформные континентальные окраины и внутриконтинентальные «горячие» сдвиговые системы

Британская Колумбия, Южная Патагония (Тихоокеанское горячее кольцо), Алтай (герциниды)

Движение гранитного расплава

Инtruзия

<< 1 млн лет

Диапиризм

Формирование купола – 2-3 млн лет;
Всплывание – неск. сотен тыс лет.

Остывание гранитоидного плутона

Диаметр интрузива, км	Время охлаждения, млн лет	Источник
6-14	0.5-1	Harrison, Clarke, 1979
30	1.5-2	Dublyansky, Polyansky, 2007

Таким образом, закрытие изотопных систем термохронометров гранитных пород должно происходить последовательно в течении 2-4 млн лет после кристаллизации.

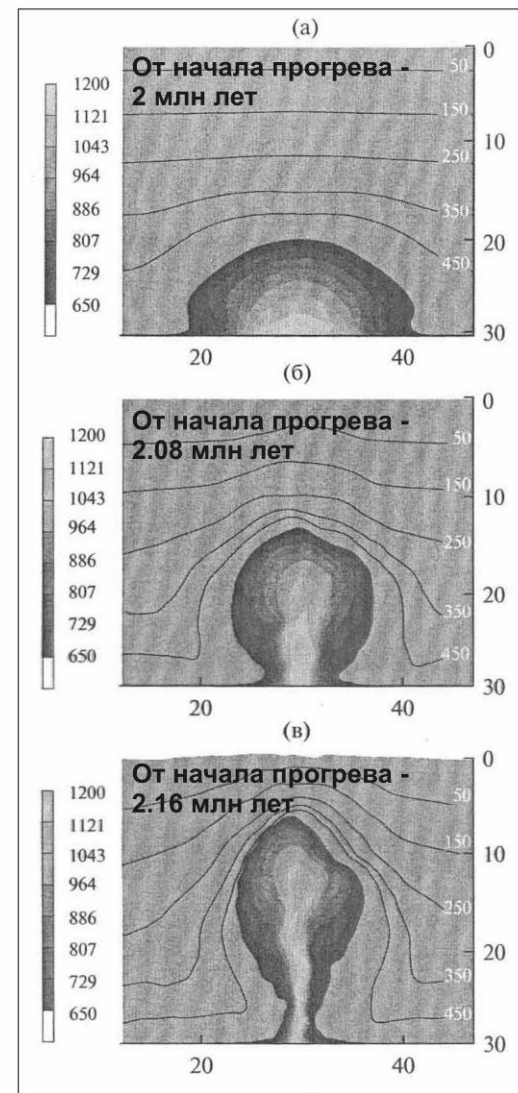
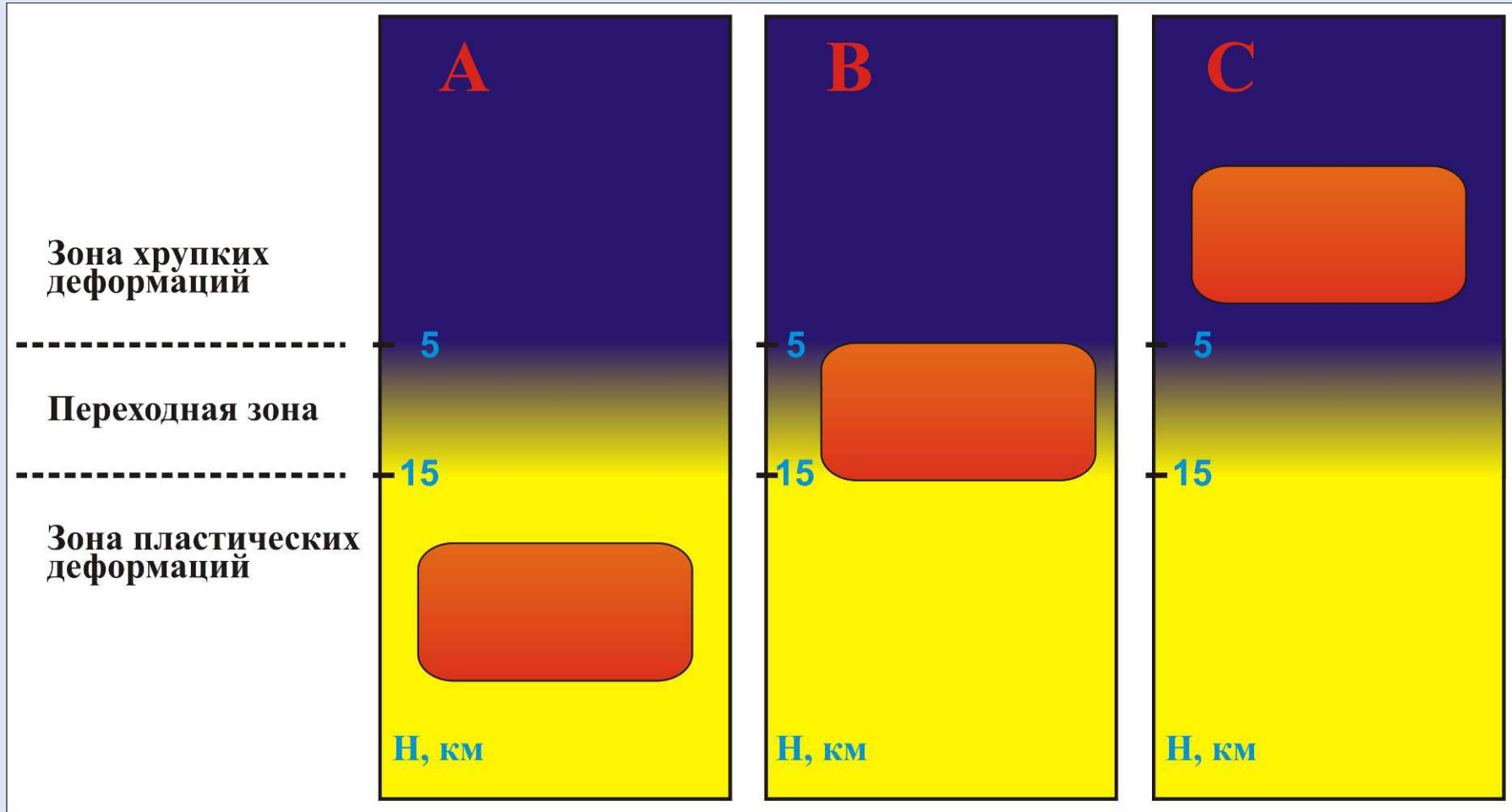


Рис. Результаты моделирования всплывания диапира в предположении постоянного предела текучести материала коры.

а) 2 млн лет; б) 2.08 млн лет; в) 2.16 млн лет. Взято из Полянский и др., 2010.

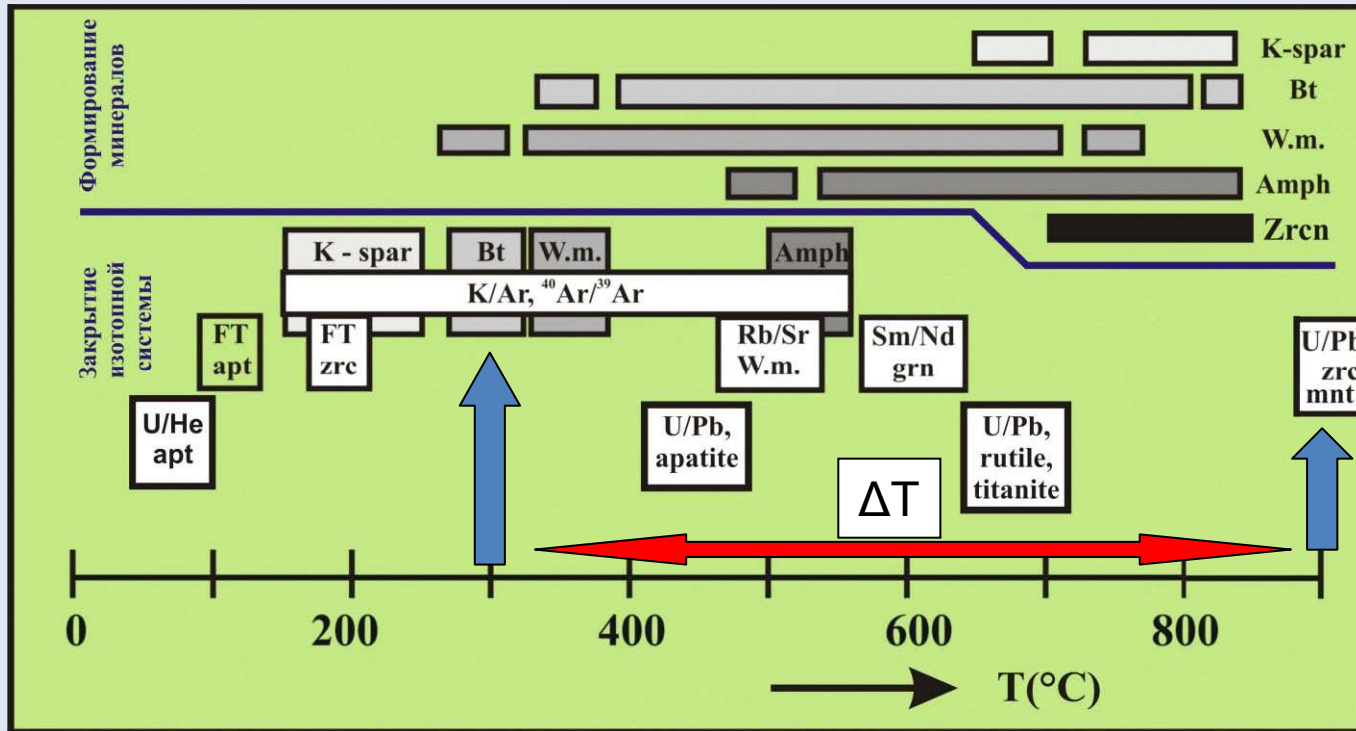
Консолидация магматических тел в реологических зонах земной коры



А – зона пластических деформаций; В – граница зон пластических и хрупких деформаций; С – зона хрупких деформаций

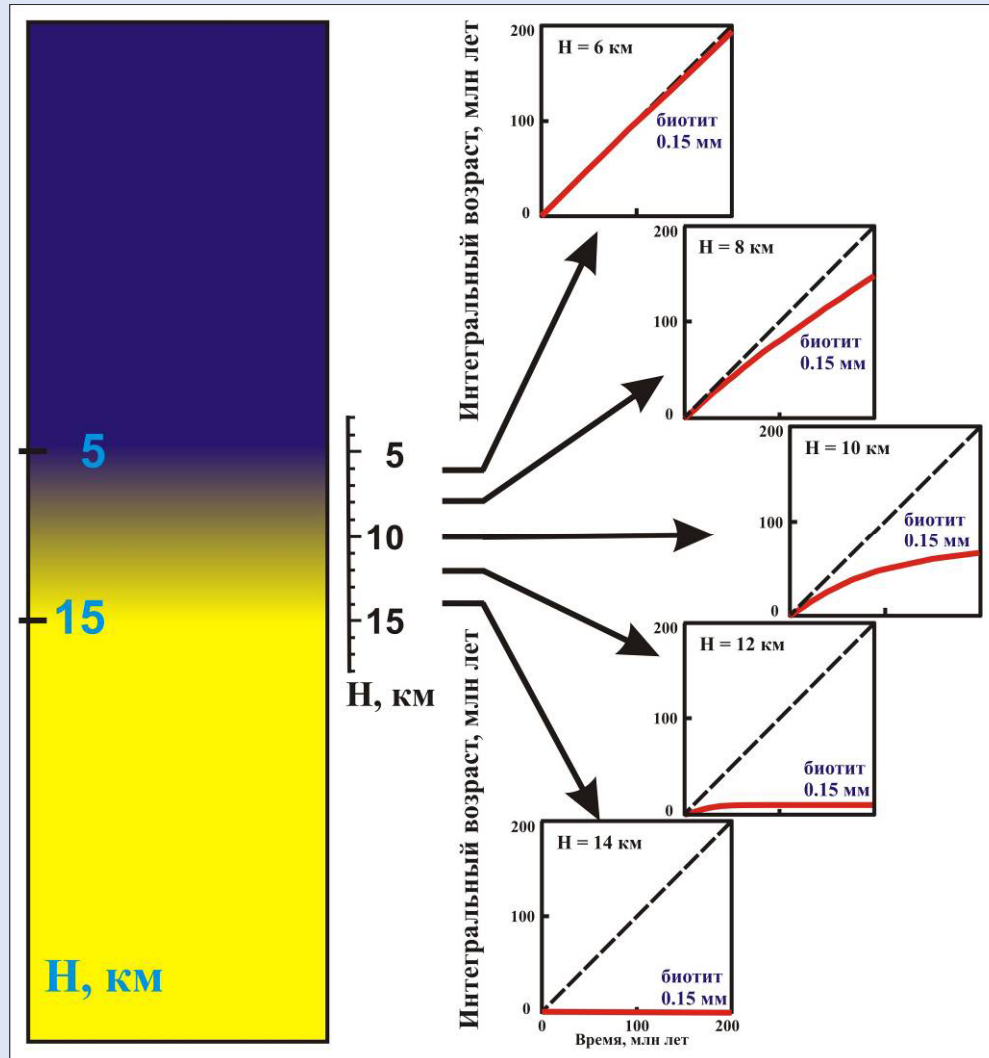
В пределах зоны, переходной между пластическими и хрупкими деформациями, должно происходить существенное замедление и смена механизма подъема батолита к поверхности.

Изотопные методы датирования горных пород



Сводка температур закрытия изотопных систем в различных минералах в сопоставлении с температурами гидротермального, метаморфогенного и магматогенного минералообразования.

Зависимость K/Ar ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ интегрального) возраста биотита от времени для различных глубин земной коры



K-Ar или Ar-Ar датирование по биотиту позволяет расшифровать термохронологическую историю, а именно соответствует завершению подъема батолита до глубины 5 км

Результаты численного моделирования с использованием программного алгоритма Diffard [Wheeler, 1996]. Геометрия зерен цилиндрическая.
 $E = 47$ ккал/моль, $D_0 = 5 \cdot 10^{-2}$ см²/с – Harrison et al., 1985.

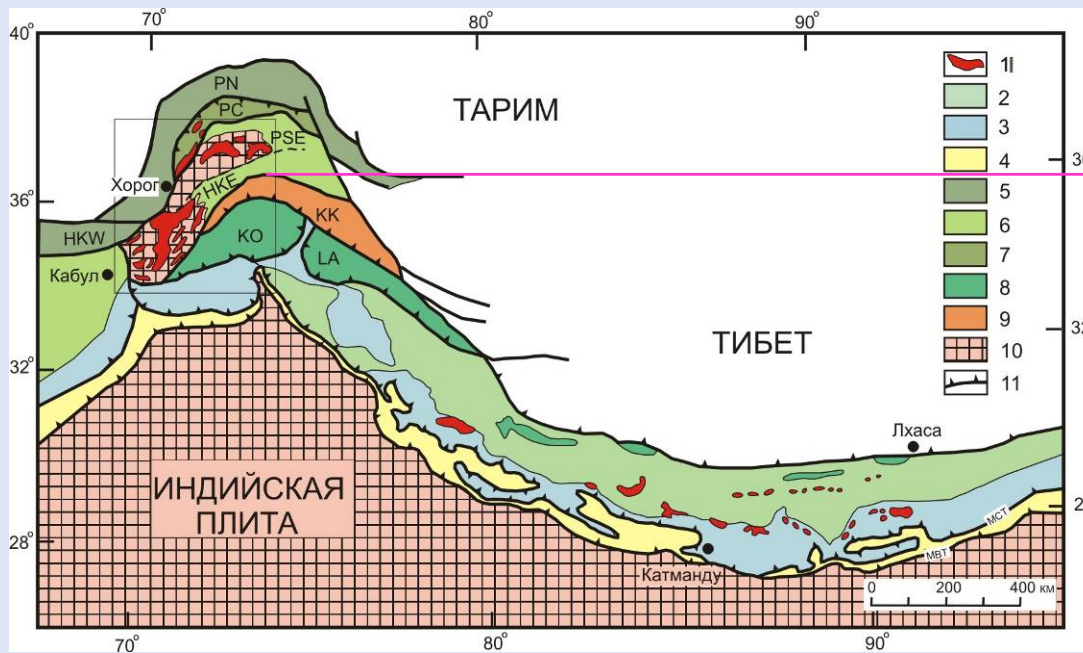
Возраст петротипических гранитоидных плутонов, формирующихся в различных геодинамических обстановках



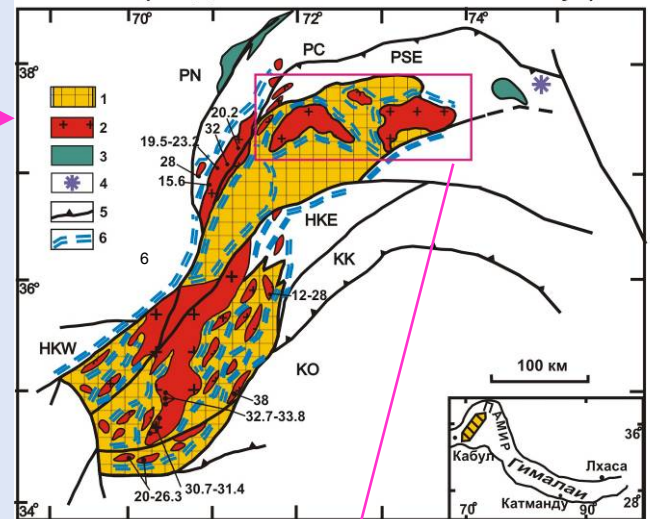
- - обстановка растяжения;
- - транспрессионная обстановка;
- - ?
- - ЦАСП

93-95 - возраст формирования гранитных плутонов (U/Pb, циркон, монацит)

Памиро-Гималайская коллизионная система

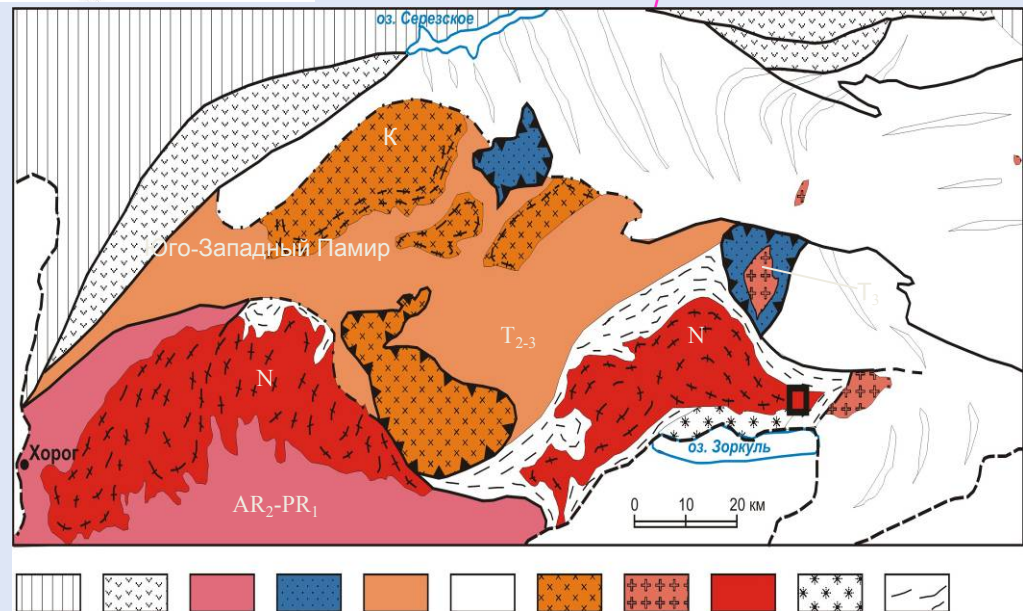


Тектоническая схема Нуристан-Бадахшанского массива (Пенджабский коллизионный выступ)

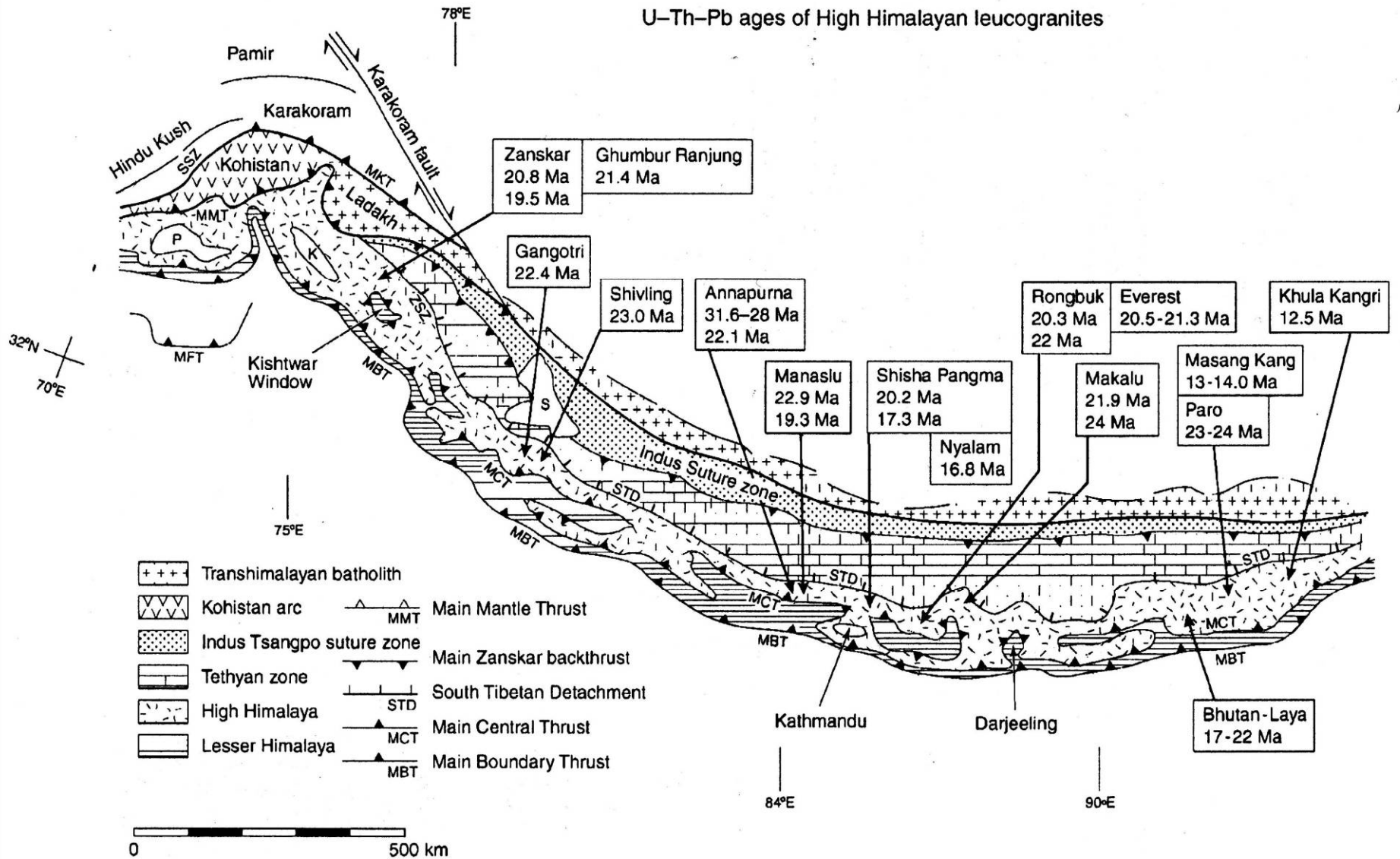


А.Г.Владимиров и др.(1996)

Тектоническая позиция памирско-шугнанских гранитов (красный цвет) на Южном Памире

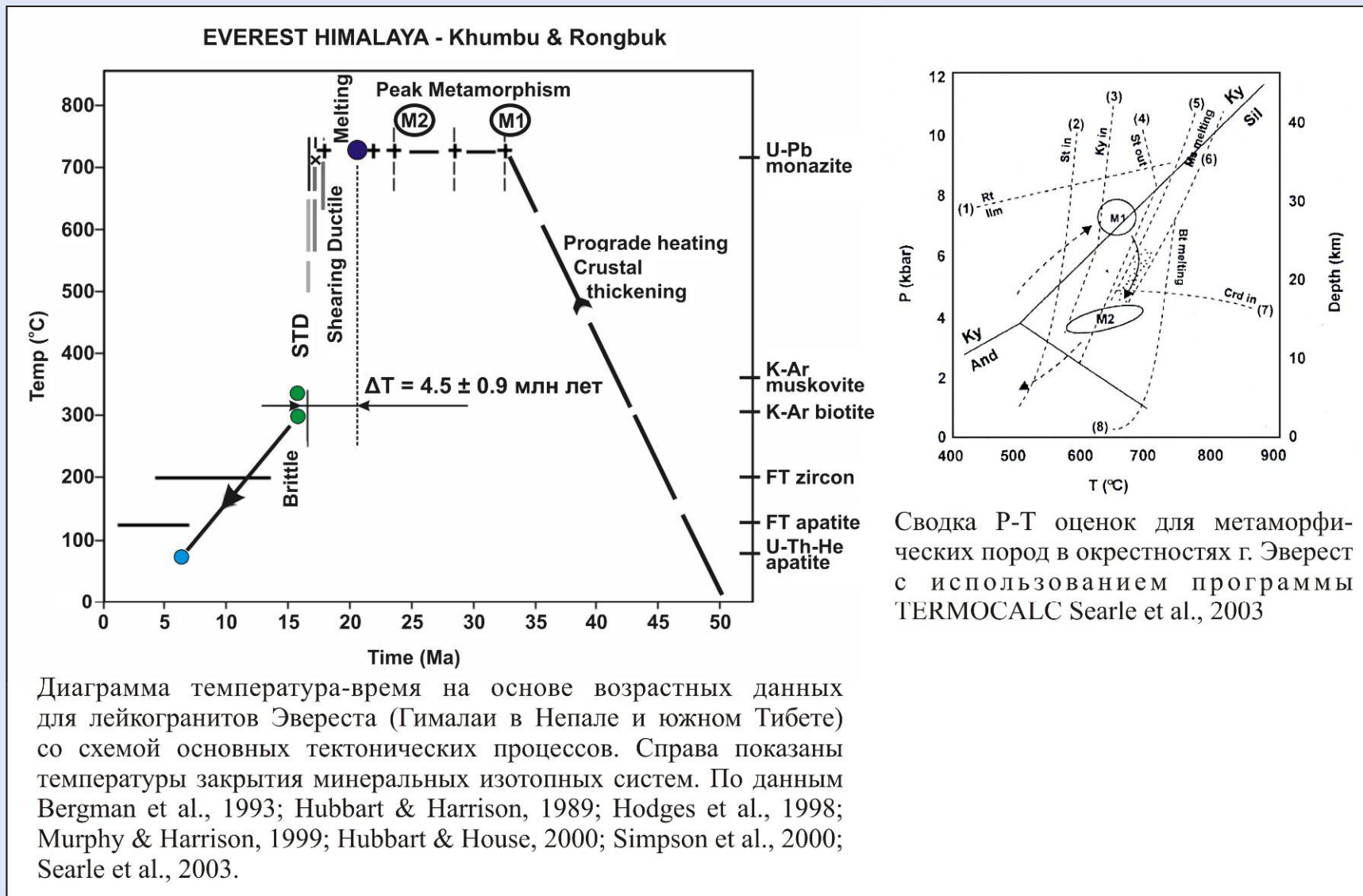


U-Th-Pb ages of High Himalayan leucogranites



Геологическая карта Гималаев со сводкой U-Th-Pb датировок лейкогранитов Высоких Гималаев [Searle et al., 2003]

Динамика формирования гранитного батолита Эверест (Гималаи)



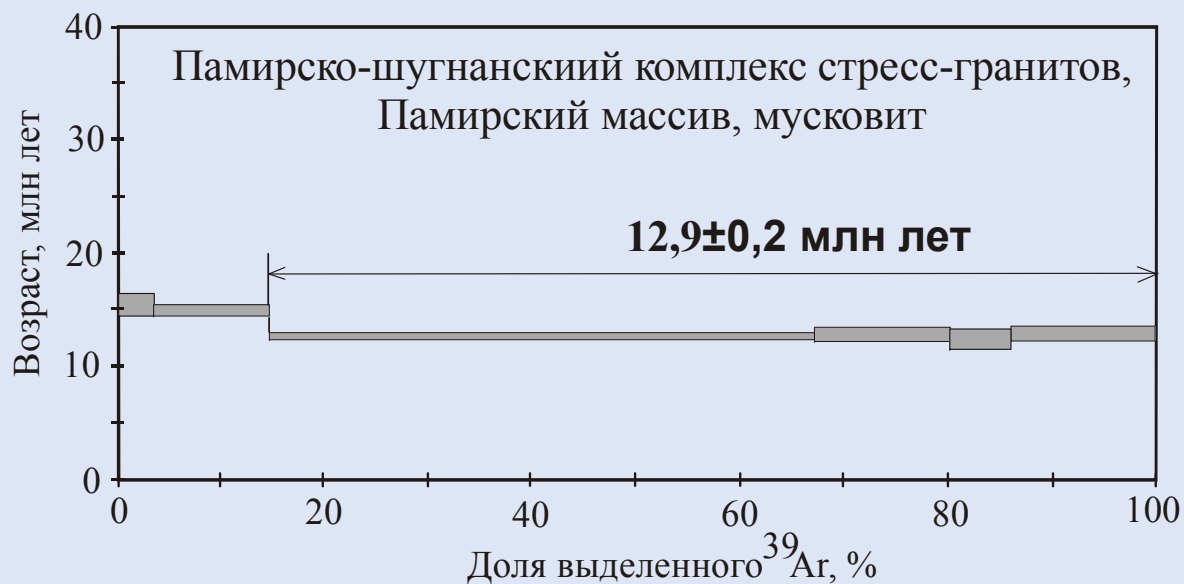
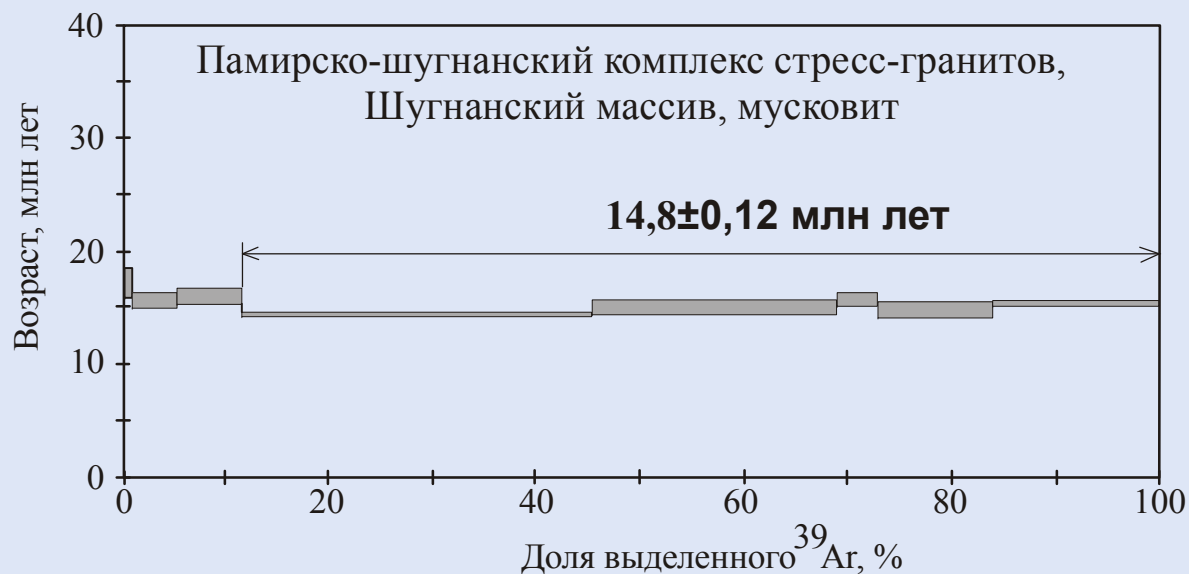


Памирская экспедиция. Перевал Харгуш. 4100 м. Июль 2004 г.

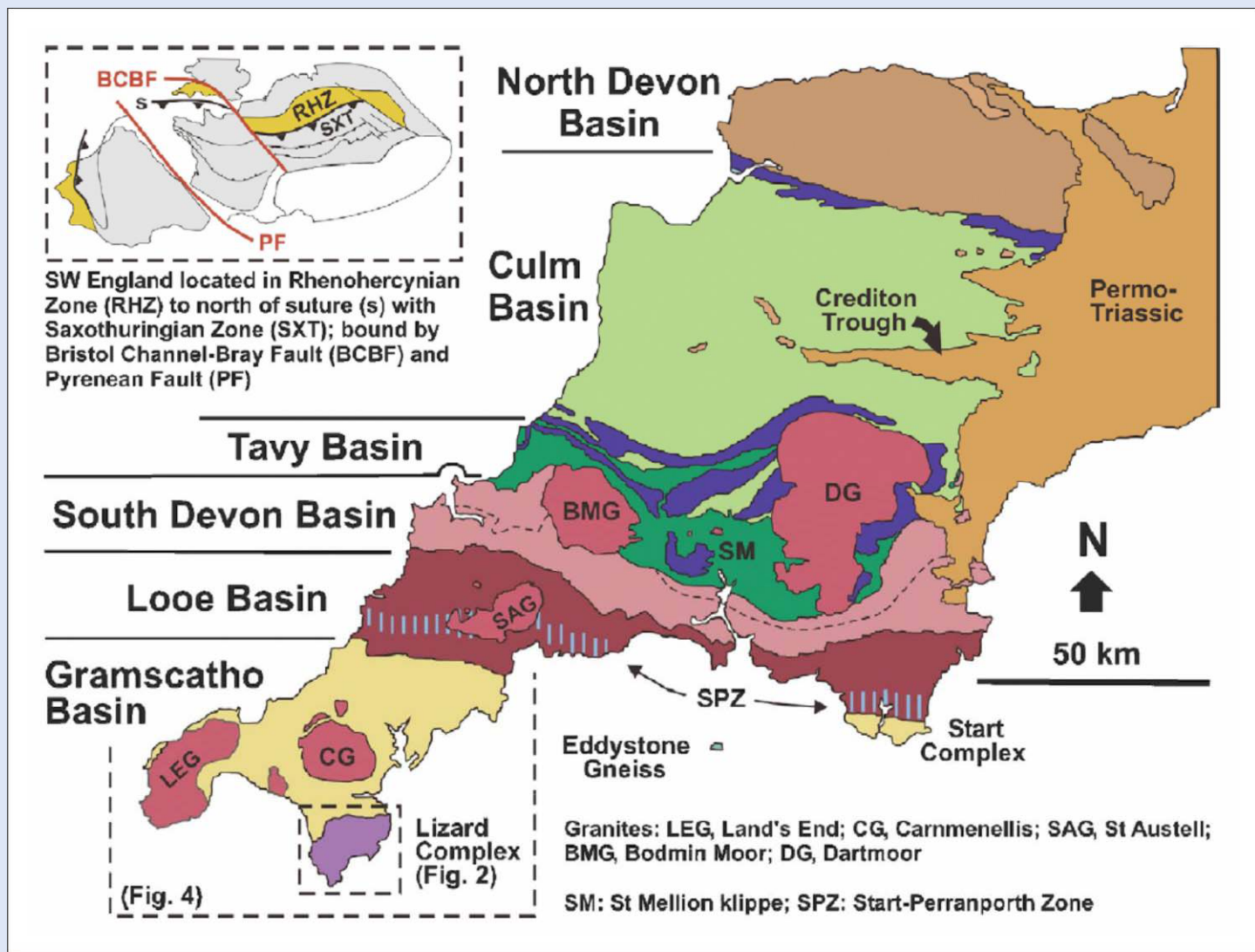


Южный Памир. Намангудский массив гранитов и связанных с ними сподуменовых пегматитов (Афганистан)

Rb-Sr возраст памирско-шугнанских гранитов равен **17 млн лет** (ИГЕМ РАН),
Ar-Ar возраст – **15-13 млн лет** (ИГМ СО РАН). $\Delta T = 2-4$ млн лет



Геологическая карта Юго-Запада Англии, показывающая положение гранитных plutонов Корнубийского батолита



Коллизионная геодинамическая обстановка
[Sheil&Leveridg, 2009]

Сводка геохронологических данных для гранитных plutонов Корнубийского батолита [Chesley et al., 1993].

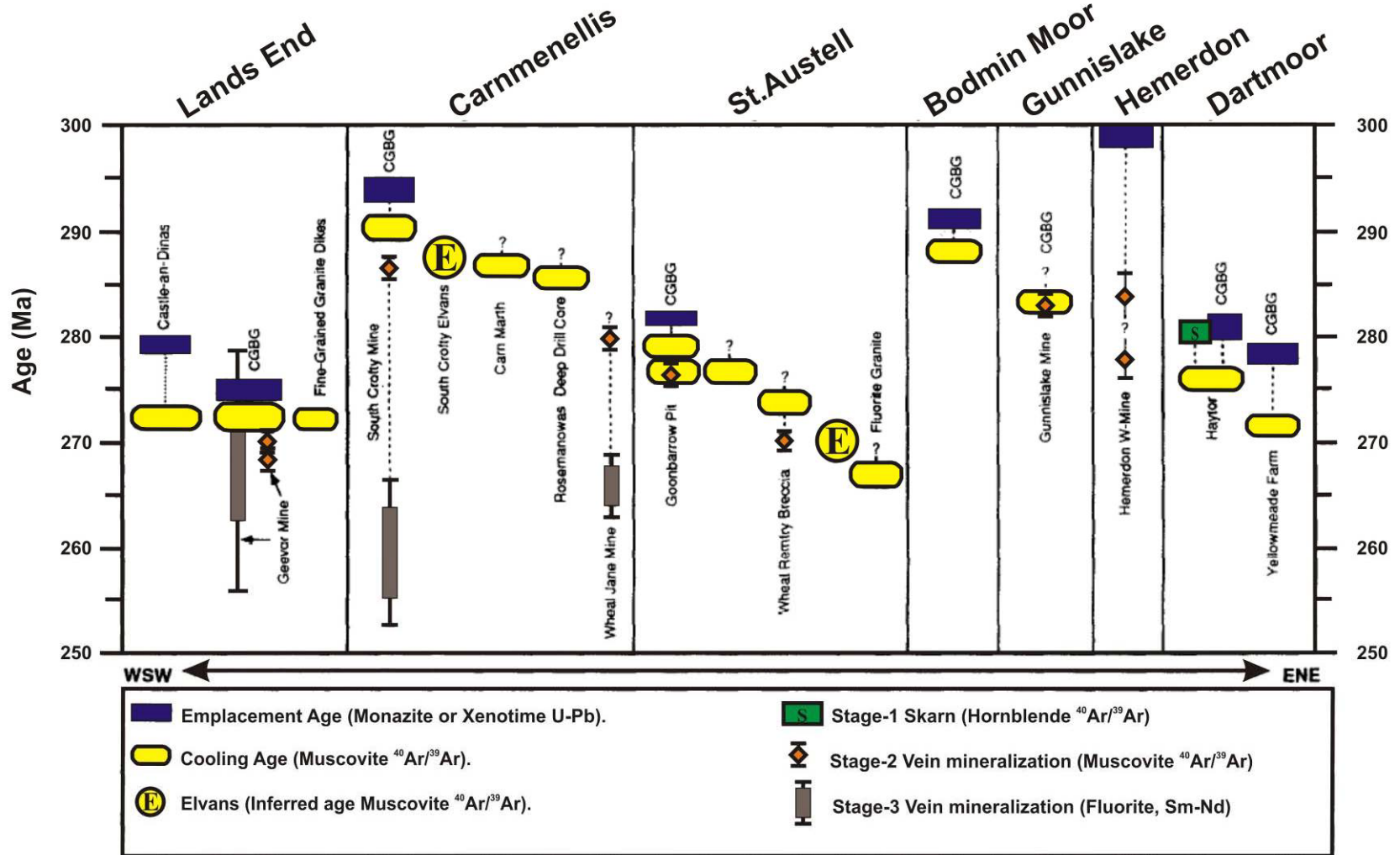
ΔT (млн лет) - 2.8 ± 1.4

3.3 ± 1.4

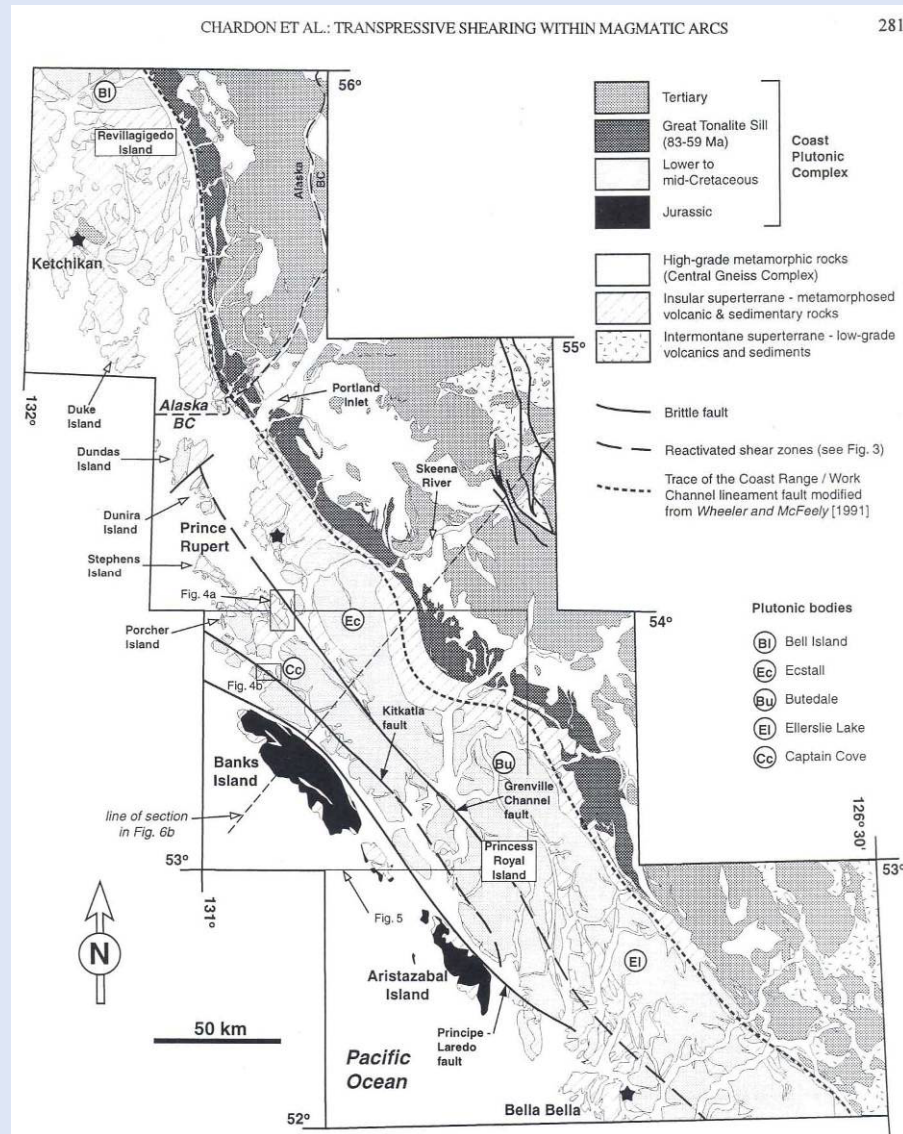
3.5 ± 1.2

4.3 ± 1.7

4.3 ± 1.7

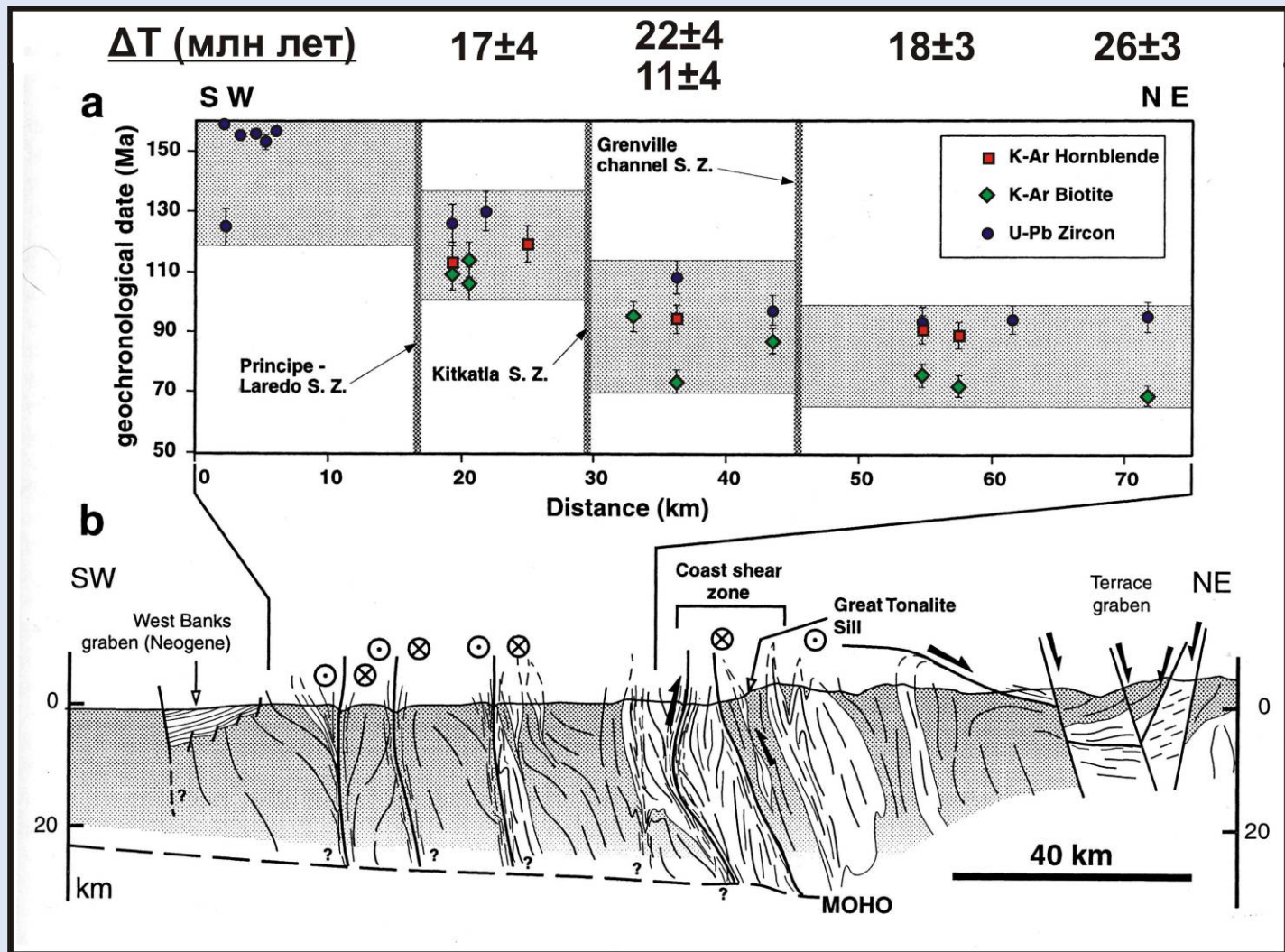


Геологическая карта Берегового хребта (Британская Колумбия, Канада)



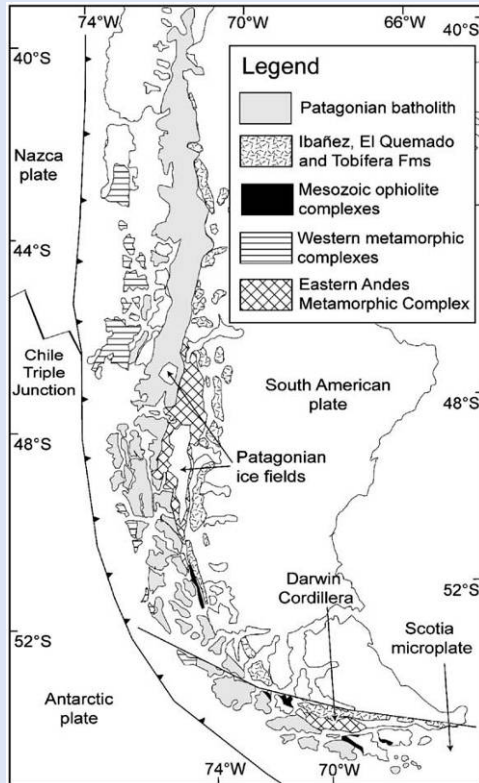
Широта - 52-56° N. [Chardon et al., 1993]

Обобщенный разрез Берегового Плутонического комплекса (Британская Колумбия, Канада)



Основные сдвиговые зоны и их кинематика. Магматические породы показаны серым. Сверху – распределение U/Pb и K/Ar датировок БПК между 53° и 54° , спроецированное на ЮЗ-СВ разрез по данным [Heyden, 1989].

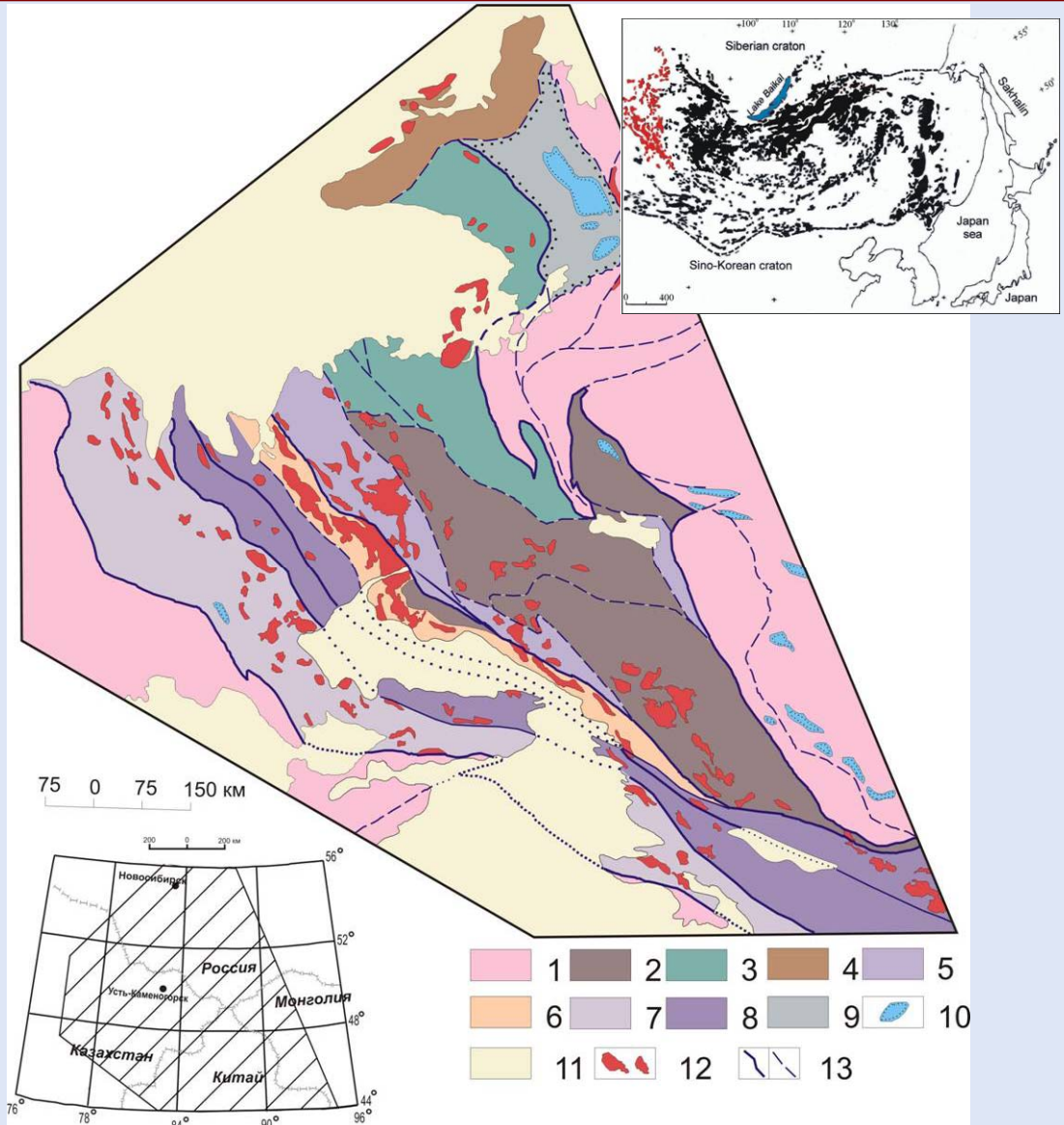
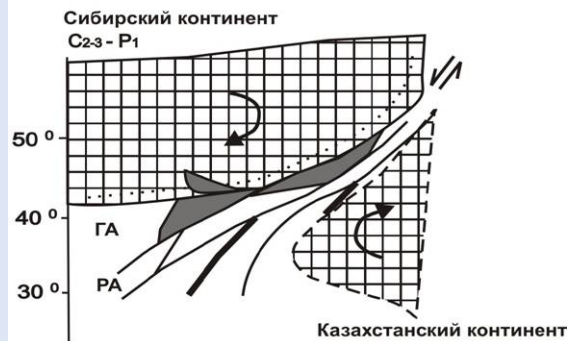
Южно-Патагонский гранитоидный батолит (Анды)



[Herve et al, 2007].

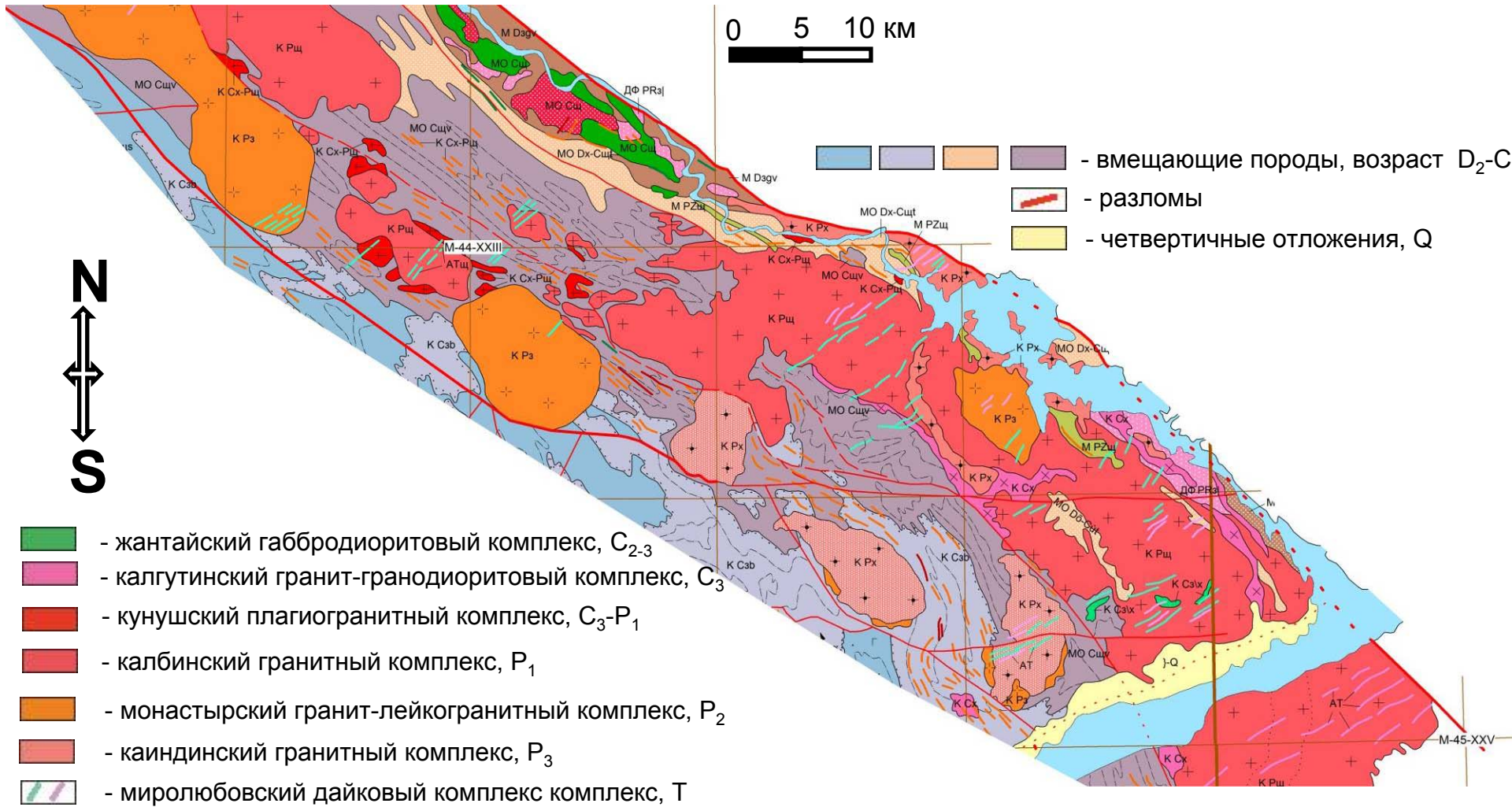
Регион, геодинамическая обстановка	Батолит	Результаты датирования, млн лет		Источники	ΔT, млн лет
		U-Th/Pb	K/Ar		
Южно-Патагонский батолит (Южная Америка, Анды), трансформная континентальная окраина	Гранитный плутон – остров Карсиоло,	132.7±1.0, Zrn	122±6, Bt	Herve et al., 2007; Halpern, 1973	10.7±6
	Гранитоидный плутон (гранит, гранодиорит, тоналит) – канал Елиас, остров Дароч	144.2±1.0, Zrn 139.9±1.0, Zrn 134.4±2.0, Zrn	122±6, Bt		19.0±6,7
	Гранитный плутон – остров Стайнес	152.0±2.0, Zrn	131,7±7, Bt		21±7
	Гранитный плутон, гранит, диорит – Бахия Стюарт	154.5±2.0, Zrn	142±7, Bt		12,5±7

Алтайская аккреционно-коллизионная горно-складчатая система («горячая» сдвиговая система)

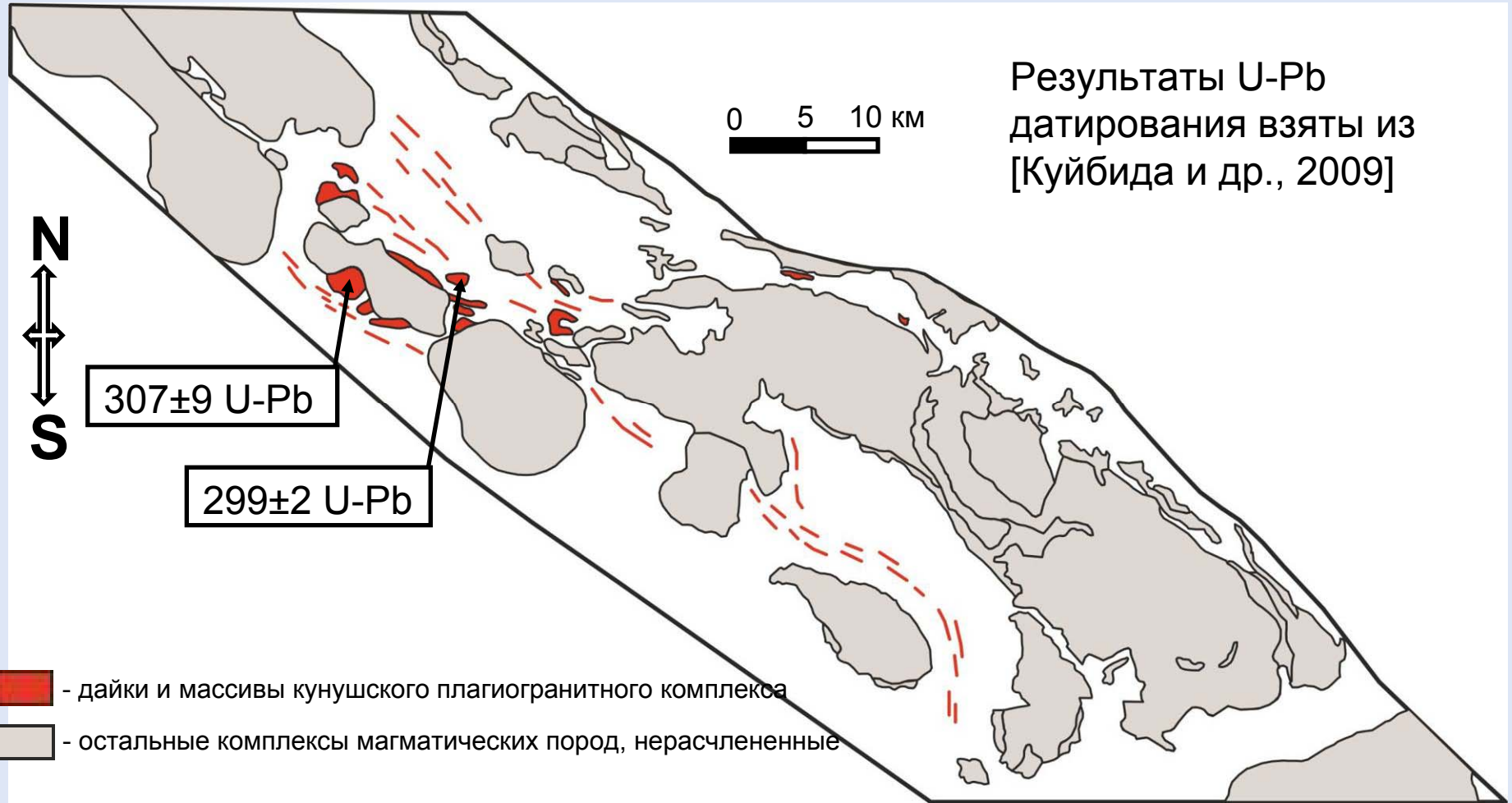


Генерализованная тектоническая схема Алтая (Россия-Казахстан-Монголия-Китай), построенная с учетом мощности литосферы
(А.Б. Владыкин и др., 2003)

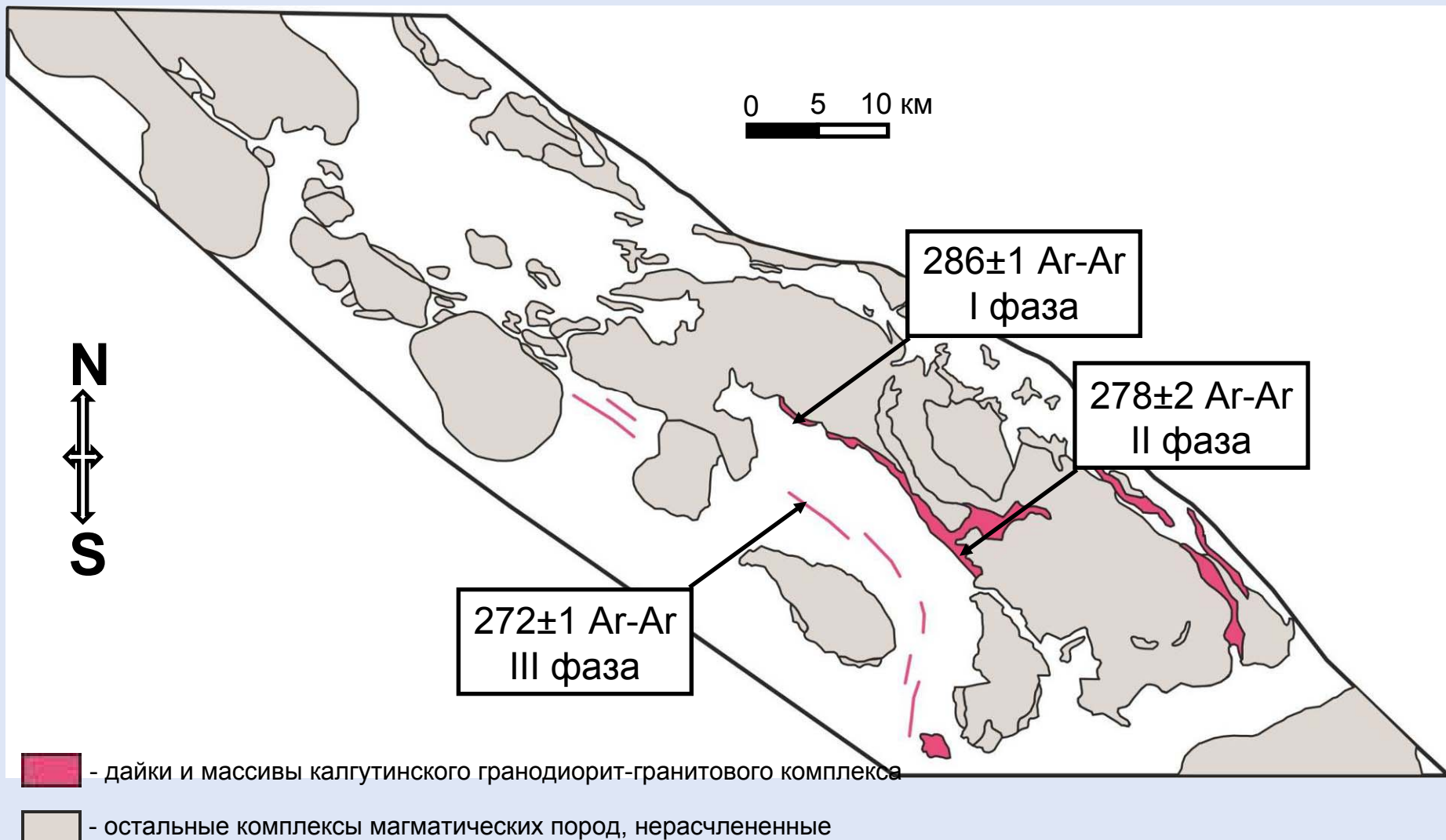
Центральная часть Калба-Нарымского батолита



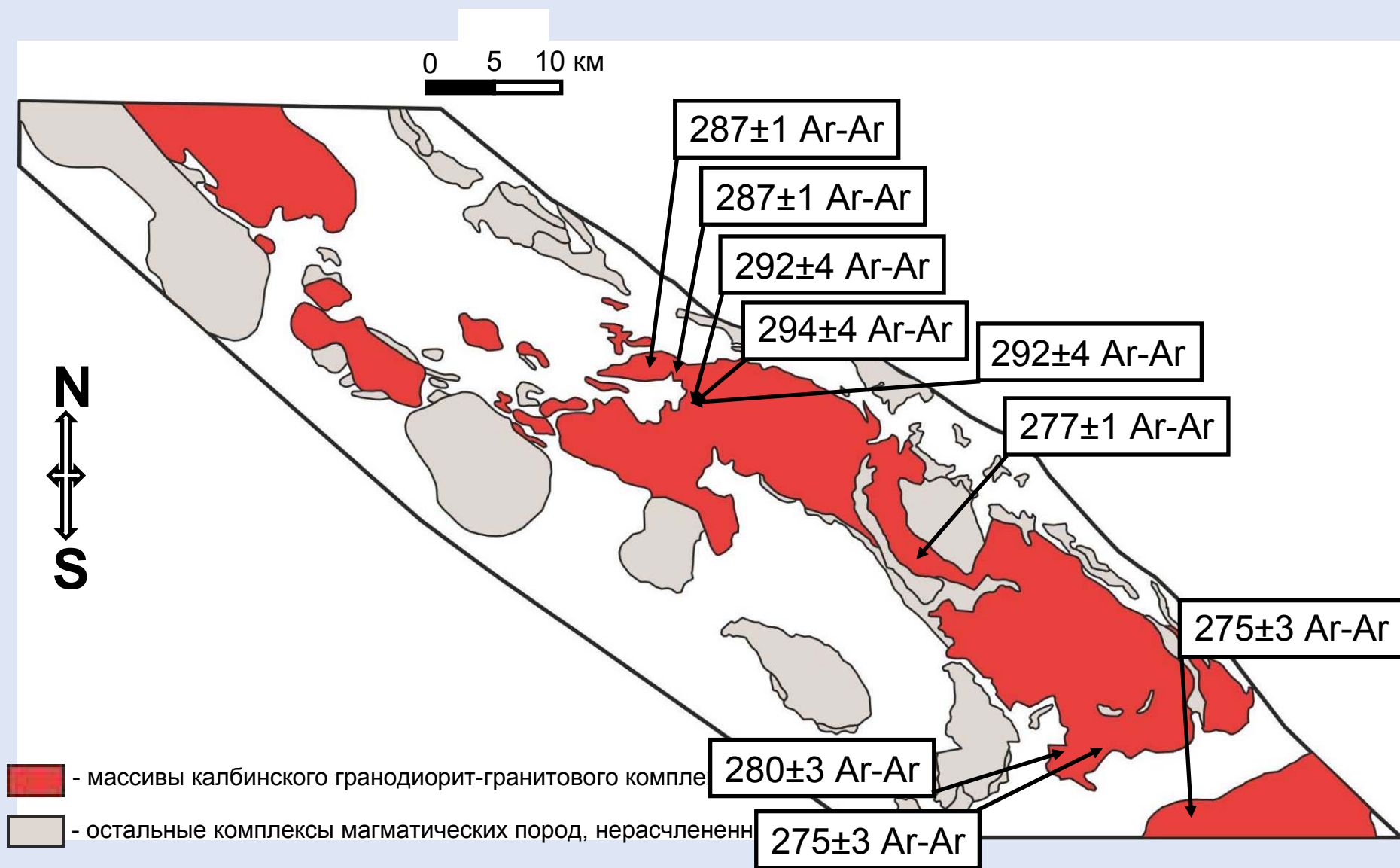
Кунушский плагиогранитный комплекс



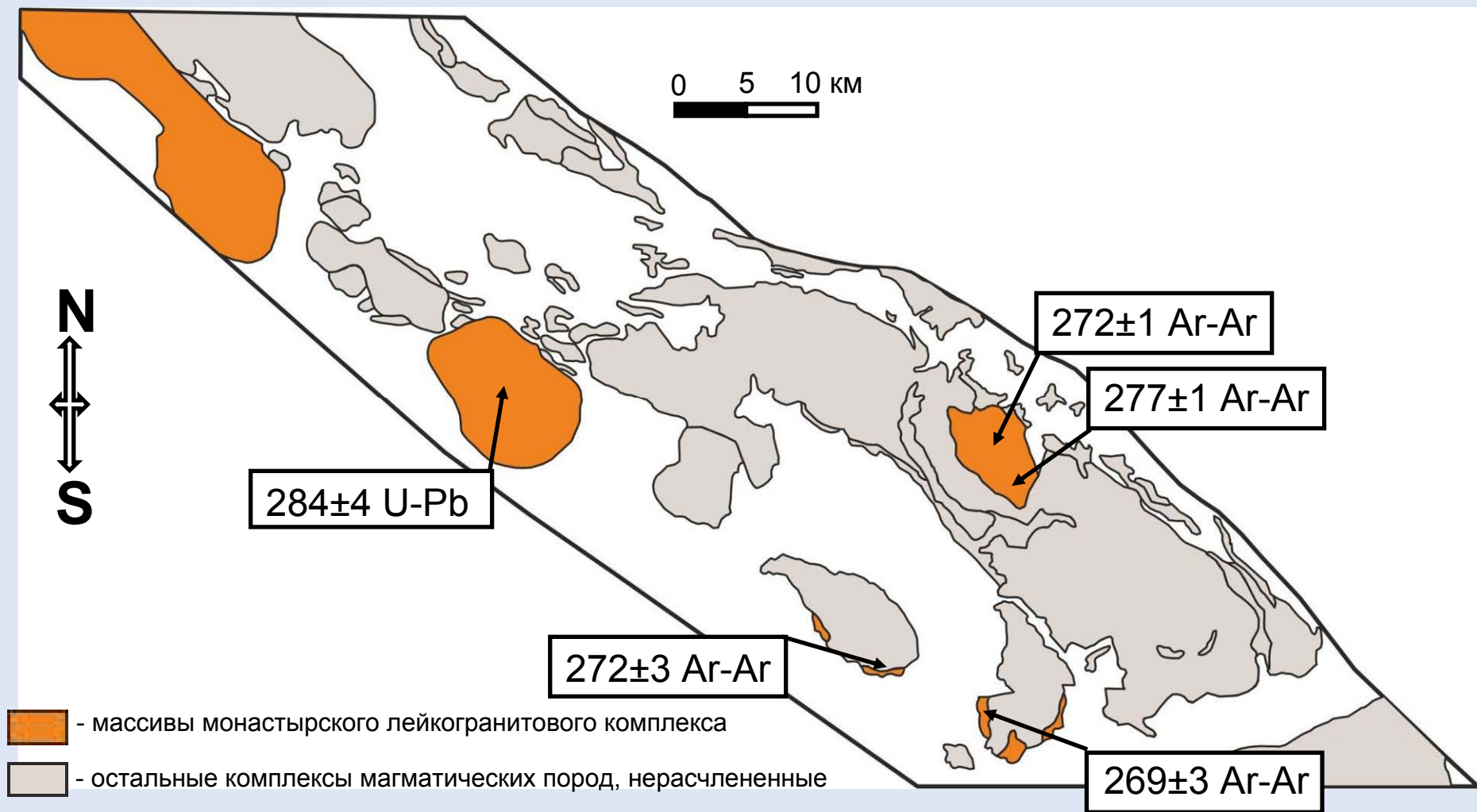
Калгутинский гранодиорит-гранитовый комплекс



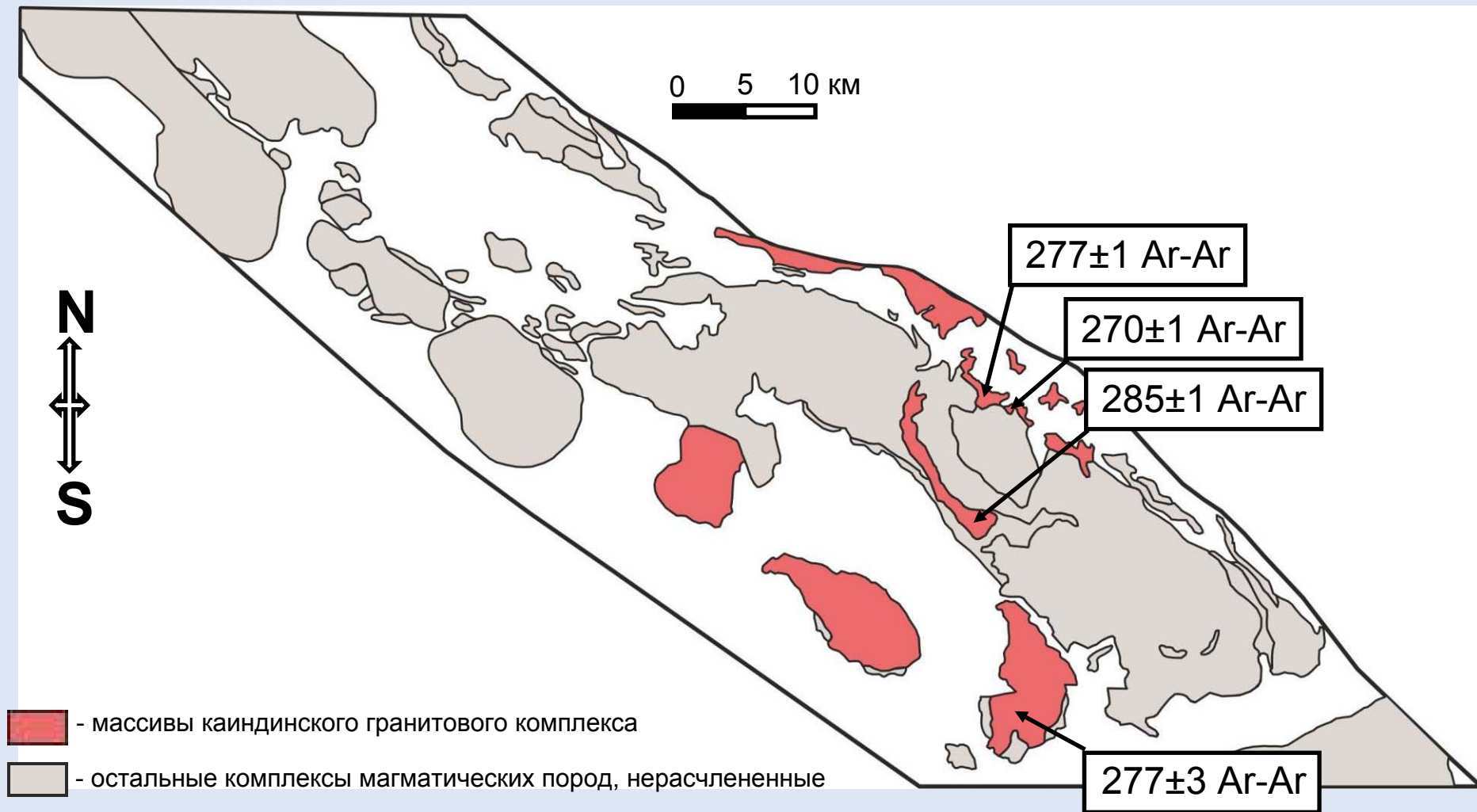
Калбинский гранодиорит-гранитовый комплекс



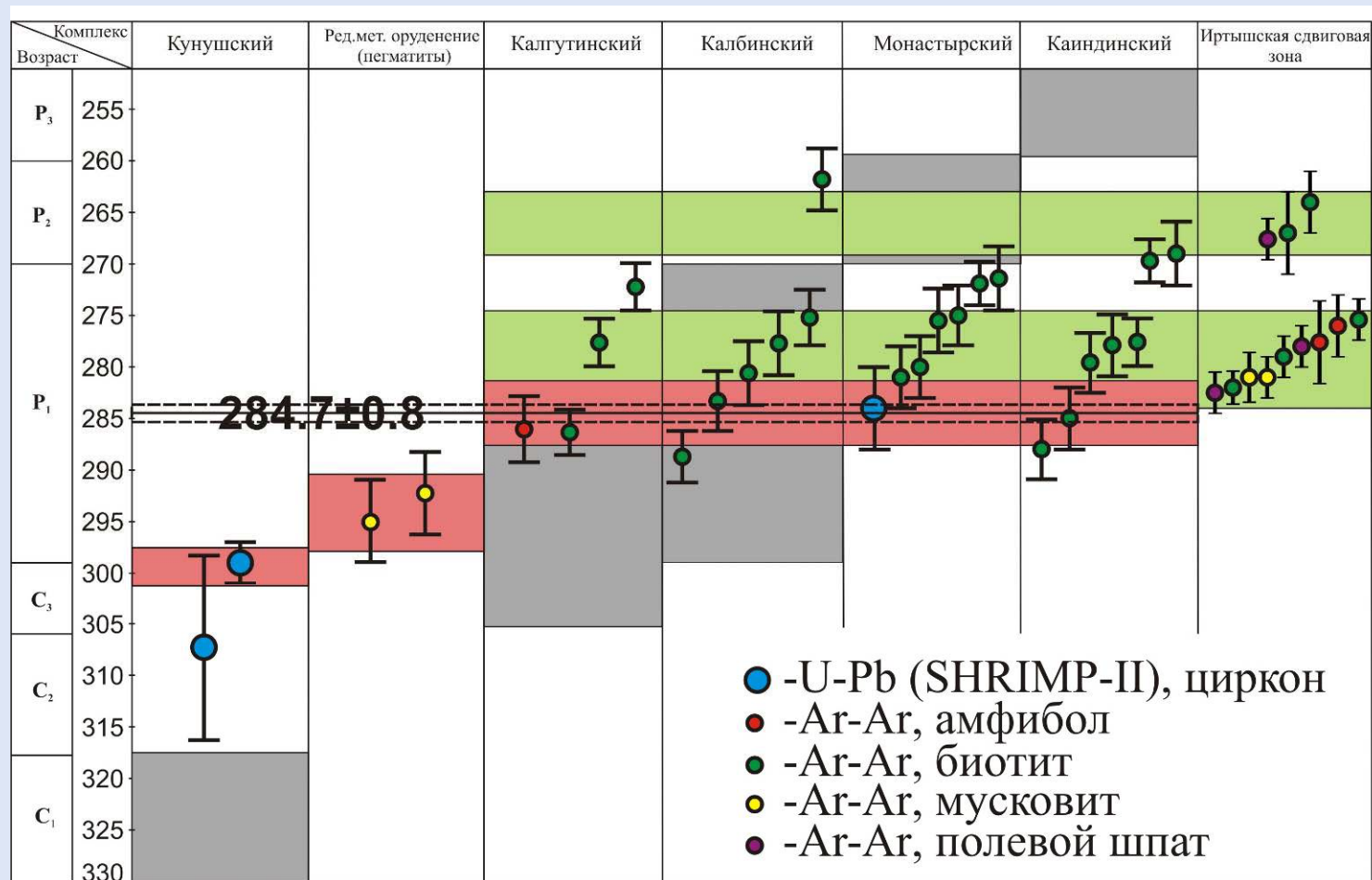
Монастырский лейкогранитовый комплекс



Каиндинский гранитовый комплекс



Обобщение результатов изотопного датирования Калба-Нарымского батолита



*- Распределение абсолютных возрастов пород центральной части Калба-Нарымского батолита и Иртышской сдвиговой зоны. Серым фоном показаны принятые ранее интервалы формирования магматических комплексов. Красным цветом показаны временные интервалы формирования комплексов в соответствии с полученными датировками. Зеленым цветом показаны импульсы активности Иртышской сдвиговой зоны (ИСЗ) в соответствии с [Травин и др., 2001].

Длительность формирования Калба-Нарымского батолита составляет 25 млн лет, что согласуется с активностью Иртышской сдвиговой зоны (герциниды)



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гранитоидные батолиты и коллизионный тектогенез

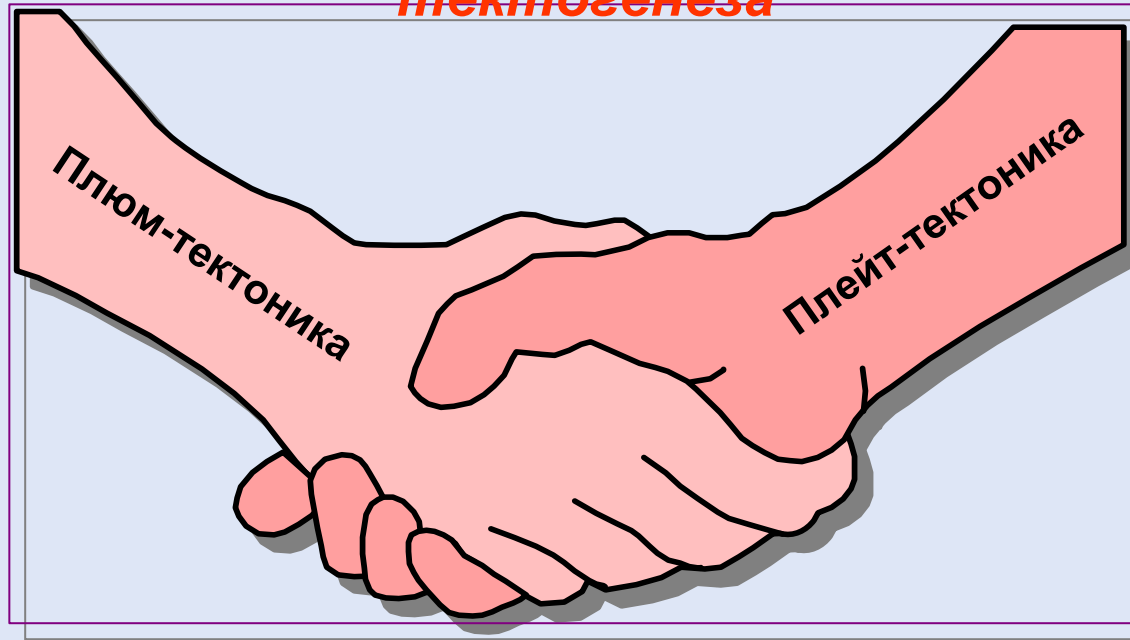
Для гранитоидных батолитов, формирующихся в обстановке постколлизионного растяжения (Памиро-Гималаи и Корнубийский батолит) фиксируемое время подъема до глубины 5-6 км не превышает 5 млн лет, что согласуется с результатами математического моделирования процессов гранитного диапиризма в земной коре (синорогенический коллапс).

Гранитоидные батолиты и внутриконтинентальные «горячие» сдвиговые системы

Для гранитоидных плутонов, формирующихся на активных континентальных окраинах в трансформных геодинамических обстановках (Британская Колумбия и Южно-Патагонский батолит) фиксируемое время подъема до глубины 5-6 км превышает 15-25 млн лет.

Аналогичные оценки получены для Калба-Нарымского батолита (Алтай), для которого предполагается модель гранитообразования в условиях декомпрессии при сдвигово-раздвиговых деформациях в земной коре на постколлизионном этапе тектогенеза.

Гранитоидные батолиты – индикаторы постколлизиионного тектогенеза



Модели следующего поколения

Рудно-магматические системы и их 3D-модели с учетом поведения флюидов

Горячие сдвиговые системы и их 3D-модели с учетом реологии и скорости геологических процессов