

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
НАУКИ ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛОГИИ им. В.С. Соболева  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

Семенова Дина Валерьевна

**ПЕТРОХРОНОЛОГИЯ КОЛЛИЗИОННЫХ ГРАНИТОИДОВ  
ЭРЗИНСКОЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ  
ЗАПАДНОГО САНГИЛЕНА (ЮВ ТУВА)**

1.6.3 – петрология, вулканология

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:  
кандидат геолого-минералогических наук  
Владимиров Владимир Геннадьевич

НОВОСИБИРСК - 2025

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>4</b>
<b>ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕРМОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>11</b>
<b>ГЛАВА 2. МЕТОДЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ.....</b>	<b>16</b>
2.1. Методические подходы .....	16
2.1.1. Обоснование выбора объекта исследований .....	16
2.1.2. Петрохронологические подходы при изотопном датировании.....	17
2.2. Аналитические методы.....	19
2.2.1. Сканирующая электронная микроскопия и микрорентгеноспектральный микроанализ.....	19
2.2.2. Рамановская спектроскопия .....	19
2.2.3. Метод дифракции отраженных электронов (EBSD).....	21
2.2.4. Методика U/Pb датирования .....	22
2.2.4. Методика определения содержания редких и редкоземельных элементов в цирконе.....	26
2.2.5. Методика $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования.....	27
<b>ГЛАВА 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ .....</b>	<b>28</b>
3.1. Матутский гранитоидный массив.....	31
3.2. Минглинг дайки участка Тавыт-Даг .....	39
3.3. Гранитоиды ухадагского комплекса участка Восточный .....	42
<b>ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕТРОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ (U/Pb ДАТИРОВАНИЕ ЦИРКОНА, AR-AR ДАТИРОВАНИЕ БИОТИТА) ГРАНИТОИДОВ МАТУТСКОГО МАССИВА .....</b>	<b>43</b>
4.1 Выбор места отбора проб из гранитов Матутского массива .....	43
4.2. U-Pb датирование циркона из гранитов Матутского массива (участок Северо-Западный, проба КТ-1324) .....	45
4.3. U-Pb датирование циркона из гранитов осевой части Матутского массива (участок Центральный, проба КТ-1070) .....	62
4.4. U-Pb датирование циркона из гранитов Матутского массива (участок Бумбаты, проба КТ-1256) .....	76
4.5. Возраст гранитоидов Матутского массива .....	85

<b>ГЛАВА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕТРОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ (U/Pb ДАТИРОВАНИЕ ЦИРКОНА, AR-AR ДАТИРОВАНИЕ БИОТИТА) МИНГЛИНГ ДАЕК И ГРАНИТОИДОВ ОБРАМЛЕНИЯ МАТУТСКОГО МАССИВА .....</b>	<b>88</b>
5.1. Обоснование выбора участков для детальных исследований .....	88
5.2. U-Pb датирование циркона из гранитов и базитов участка Тавыт-Даг .....	90
5.2.1 Проба ER-02-15 (граниты, участок Тавыт-Даг) .....	91
5.2.2 Проба КТ-1252-1 (базиты минглинг-дайки, участок Тавыт-Даг).....	98
5.2.3 Проба КТ-1252-4 (граниты минглинг-дайки, участок Тавыт-Даг).....	115
5.2.4 Проба КТ-1252-5 (граниты Матутского массива в 15 см от контакта с минглинг дайкой, участок Тавыт-Даг) .....	124
5.2.5 Проба КТ-1252-8 (граниты Матутского массива в 60 см от контакта с минглинг дайкой, участок Тавыт-Даг) .....	135
5.4. U-Pb датирование циркона из гранитов ухадагского комплекса (участок Восточный).....	142
5.5 Характеристика наложенных тектоно-термальных событий на гранитоиды Матутского массива .....	152
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>161</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>163</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

Хронология основных рубежей и длительность коллизионного орогенеза имеет фундаментальное значение при построении моделей эволюции литосферы.

Особую сложность представляет датирование ранних коллизионных событий, поскольку инициация и коллапс орогенов ознаменуют кардинальное изменение интенсивности и кинематики взаимодействия крупных фрагментов континентальной и океанической литосферы, термального режима, обстановок магматизма и метаморфизма. Ключевым препятствием при проведении изотопно-геохронологических исследований являются масштабные тектоно-термальные события при коллапсе орогенных структур и проявление масштабного позднеколлизионного магматизма. В совокупности они маскируют, либо уничтожают признаки ранних коллизионных событий.

В настоящей работе представлены результаты геохронологических и петрохронологических исследований раннеколлизионного магматизма Западного Сангилен (Юго-Восточная Тува).

### **Актуальность исследования**

Влияние полистадийных тектоно-термальных процессов как на сохранность геологического объекта в целом, так и на U-Th-Pb систему циркона в частности, может существенно сказаться на результатах изотопно-геохронологических исследований. В рамках диссертационной работы рассмотрены закономерности данных процессов на примере петрохронологического изучения коллизионных гранитоидов Западного Сангилен (Юго-Восточная Тува). Проведенные исследования значимы не только для геологии региона, они представляют собой пример и основу петрохронологических методических подходов к изучению объектов со сложной тектоно-термальной историей.

### **Объекты исследования**

В качестве основного объекта исследований коллизионных гранитоидов на Западном Сангилене в диссертационной работе выбран Матутский гранитный массив, расположенный в пределах Эрзинской тектонической зоны. Для

расшифровки воздействия на гранитоиды Матутского массива поздних тектоно-термальных событий проведено изучение комбинированных габбро-гранитных даек, секущих массив, а также гранитов его обрамления (участки Тавыт-Даг, Восточный).

### **Цель и задачи исследования**

Главной целью диссертационной работы является петрохронологическая характеристика наиболее ранних этапов коллизионного орогенеза на Западном Сангилене, оценка возрастных рубежей магматизма и длительности орогенеза на северо-западной окраине Тувино-Монгольского массива (ТММ). Разработка петрохронологических подходов к анализу магматических объектов, претерпевших сложную тектоно-термальную историю.

#### **Основные задачи:**

1. Оценка возраста и происхождения наиболее ранних проявлений магматизма на Западном Сангилене на примере Матутского гранитоидного массива (северо-западная окраина Тувино-Монгольского массива).

2. Петрохронология гранитоидов Матутского массива. Комплексное изучение, включая U-Pb изотопное датирование циркона в образцах магматических пород, претерпевших высокотемпературные деформации и частичное плавление.

3. U-Pb датирование габбро-гранитных комбинированных даек и гранитоидов в обрамлении Матутского массива.

4. Петрохронология габбро-гранитных комбинированных даек и гранитоидов в обрамлении Матутского массива.

### **Научная новизна**

Диссертационная работа содержит новые геохронологические данные проявления гранитоидного магматизма на ранних этапах коллизионного орогенеза на Западном Сангилене (северо-западная окраина Тувино-Монгольского массива).

С использованием современных методов изотопного датирования ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , U-Pb) прослежены основные возрастные рубежи от становления Матутского гранитоидного массива до поздних наложенных на массив тектоно-термальных событий.

При подготовке диссертационной работы исследования опирались на современные подходы петрохронологии, в том числе на комплекс независимых структурно-геологических, петрологических и аналитических методов, дополняющих друг друга и позволяющих полноценно изучать как петрогеохимические, так и деформационные характеристики отдельных зерен циркона.

В работе представлены новые данные по геохимическому составу и строению цирконов из гранитоидов Матутского массива и его обрамления.

С использованием комплексного методического подхода в изучении цирконов показано влияние тектоно-термальных процессов на сохранность U-Pb системы в цирконе, выявлены условия поздних преобразований гранитов Матутского массива.

### **Практическая значимость**

Диссертационная работа является примером реализации методических подходов при датировании геологических объектов со сложной тектоно-термальной историей.

### **Основные защищаемые положения:**

1. Матутский гранитный массив сформировался на рубеже 520 млн лет и является одним из наиболее древних проявлений гранитоидного магматизма Эрзинской тектонической зоны Западного Сангилена. Граниты образовались в результате плавления корового/сиалического источника при температурах до 800°C.

2. Тектоно-термальное преобразование гранитов Матутского массива было синхронно с внедрением базитовых минглинг-даек и гранитов ухадагского комплекса на рубеже 485 млн лет. Это событие привело к омоложению U-Pb изотопного возраста вследствие частичной твердофазной перекристаллизации циркона с очисткой от микропримесей и развитию под воздействием высокотемпературных флюидов (не менее 800°C) кайм, обогащенных U, легкими РЗЭ и неструктурными элементами-примесями.

3. Поздние термальные события на Западном Сангилене зафиксированы в биотитах и цирконах из гранитов ухадагского комплекса, а также в биотитах из гранитов Матутского массива, с возрастом 465 млн лет. Длительность коллизионного магматизма в пределах Эрзинской тектонической зоны составляет не менее 70 млн лет.

### **Фактический материал и личный вклад автора**

Основной фактический материал для термохронологических и петрохронологических исследований был собран автором в процессе полевых работ в 2018 году в составе экспедиционного отряда лаборатории структурной петрологии Института геологии и минералогии СО РАН.

В основе описания геологической ситуации, петрогеохимической и структурной характеристики магматических и метаморфических пород лежат предоставленные материалы сотрудников лаборатории структурной петрологии ИГМ СО РАН.

Исследования опирались на описание 460 точек наблюдения Матутского гранитного массива и его обрамления (1998-2022). Это позволило выделить и сконцентрировать внимание на пяти опорных участках – Матутский гранитный массив (3 участка), обрамление гранитного массива (2 участка: Тавыт-Даг, Восточный).

Диссертационная работа опирается на представительный аналитический материал с предварительным изучением изменений пород на микроуровне в петрографических шлифах (24 шт). Для выполнения поставленных задач были использованы различные аналитические методы, в т.ч. рентгенофлуоресцентный анализ (13 проб), ИСП масс-спектрометрический анализ (12 проб), рентгеноспектральный микроанализ цирконов (9 проб), рамановская спектроскопия и картирование циркона (4 пробы), метод дифракции обратно рассеянных электронов (EBSD) (1 проба), катодолюминесценция цирконов (11 проб), масс-спектрометрический анализ (LA-ICP-MS) состава цирконов (3 пробы). Изотопно-геохронологические исследования включали U-Pb датирование циркона методом LA-ICP-MS (11 проб),  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датирование биотита (2 пробы).

Большая часть работ проводилась при непосредственном участии автора, либо самостоятельно. Геохронологические (U-Pb датирование цирконов) и геохимические исследования выполнены автором лично.

### **Апробация работы и публикации**

По теме диссертации опубликовано 4 статьи в рецензируемых журналах из перечня ВАК. Результаты работы были представлены на конференциях: VII Российская конференция по изотопной геохронологии (Москва, 2018), Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) (Иркутск, 2018, 2019), X Всероссийская петрографическая конференция с международным участием (Томск, 2018).

Karmysheva I.V., Vladimirov V.G., Rudnev S.N., Yakovlev V.A., Semenova D.V. Syntectonic metamorphism of a collisional zone in the Tuva-Mongolian massif, Central Asian Orogenic Belt: P-T conditions, U-Pb ages and tectonic settings // Journal of Asian Earth Sciences. 2021. V. 220. P. 104919.

Кармышева И.В., Владимиров В.Г., Куйбида М.Л., Семенова Д.В., Яковлев В.А. Петрогенезис и тектонические обстановки образования высококалиевых гранитов (Западный Сангилен, Тувино-Монгольский массив) // Геосферные исследования. 2022. № 1. С. 6-32.

Яковлев В.А., Кармышева И.В., Владимиров В.Г., Семенова Д.В. Геологическое положение, источники и возраст комбинированных даек СЗ окраины Тувино-Монгольского массива (Западный Сангилен, ЮВ Тува) // Геология и геофизика. 2024. Т. 65, № 2, С. 222–243.

Семенова Д.В., Владимиров В.Г., Кармышева И.В., Яковлев В.А. Возраст раннеколлизии гранитоидов Западного Сангилена (Юго-Восточная Тува): значение для оценки длительности орогенеза на окраине Тувино-Монгольского массива // Геодинамика и тектонофизика. 2024, Т.15, № 4, С. 767.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из Введения, 5 глав, заключения, списка литературы и 14 приложений. Глава 1 содержит краткую информацию о современном состоянии термохронологического и петрохронологического подходов. В главе 2 изложены

методические подходы и аналитические методы исследований. В главе 3 приведена геологическая характеристика Западного Сангилена, систематизированы литературные изотопно-геохронологические данные. В третьей главе приведена геологическая характеристика Матутского гранитоидного массива и вещественного состава пород. В главе 4 представлены результаты изучения гранитоидов Матутского массива: петрографическое изучение пород, структурные характеристики, состав цирконов из гранитов массива, изотопно-геохронологические данные. В главе 5 приводятся результаты петрохронологических и геохронологических исследований минглинг-даек и гранитоидов обрамления Матутского массива.

Диссертация изложена на 230 страницах, включая 69 рисунков, 8 таблиц и 14 приложений. Список литературы включает 130 наименований.

### **Благодарности**

Диссертационная работа выполнена под руководством к.г.-м.н. Владимирова Владимира Геннадьевича, которому автор выражает искреннюю благодарность за неоценимую помощь и поддержку на всех этапах выполнения работы. Автор глубоко признателен сотрудникам лаборатории структурной петрологии ИГМ СО РАН (Кармышевой И.В., Яковлеву В.А., Шемелиной О.В.) за консультации и помощь при подготовке диссертации. За конструктивную критику и ценные рекомендации автор благодарит чл.-корр. РАН Крука Н.Н., д.г.-м.н. Изоха А.Э., д.г.-м.н. Руднева С.Н., д.г.-м.н. Хромыха С.В., д.г.-м.н. Травина А.В., д.г.-м.н. Пономарчука В.А., д.г.-м.н. Реутского В.Н. Особую благодарность и признательность автор выражает д.г.-м.н. Туркиной О.М. за значительную помощь и содействие в подготовке диссертации. Автор признателен сотруднику Института геологии и геохимии им. Акад. А.Н. Заварицкого к.г.-м.н. Замятину Д.А. за содействие в проведении исследований структуры, строения и состава циркона на базе ЦКП Геоаналитик (ИГиГ УрО РАН, Екатеринбург). Автор благодарит за дружескую поддержку и участие к.г.-м.н. Куликову А.В., к.г.-м.н. Котлера П.Д., к.г.-м.н. Изох О.П., к.г.-м.н. Саеву О.П., а также дружный коллектив лаборатории изотопно-аналитической геохимии ИГМ СО РАН: к.х.н. Николаеву И.В., к.х.н.

Палесского С.В., Карпова А.В., к.г.-м.н. Киселеву В.Ю., Докукину Г.А., Спичак О.А, к.г.-м.н. Юдина Д.С.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГМ СО РАН (№122041400171-5 и №122041400176-0).

## ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕРМОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Важнейшим направлением применения геохронологических исследований является термохронология, которая основана на датировании минералов с разными температурами закрытия изотопных систем (Reiners et al., 2005). Температура закрытия изотопной системы ( $T_c$ ) в минерале - это температура, при которой скорость потерь радиогенного изотопа посредством диффузии становится незначительной по сравнению со скоростью его накопления, т.е. продукты радиоактивного распада полностью сохраняются в кристаллической решетке минерала (Dodson, 1973, 1986). Температура закрытия изотопной системы зависит, в первую очередь, от свойств элемента (и его изотопов – материнский, дочерний) и структуры минерала, а также от размеров зерен и их геометрии.

В настоящее время наиболее часто используемыми термохронометрами являются  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  (слюды, амфибол, калиевый полевой шпат), треки деления в апатите и цирконе, и (U-Th)/He в апатите и цирконе. Типичные температуры закрытия для этих методов варьируются от 60–70°C до 400–600°C (рис. 1.1).

U/Pb изотопная система в цирконе (и других акцессорных минералах) также нашла широкое применение в качестве термохронометра относительно высоких температур благодаря быстрому развитию локальных методов радиоизотопного датирования (ионный зонд, лазерная абляция) и прогрессу в понимании диффузии Pb (например, Cherniak et al., 2001; Cherniak et al., 2003).

Учитывая данные, представленные на рисунке 1.1, можно заключить, что для реконструкции термической истории метаморфических, магматических пород, начиная с момента их формирования, в диапазоне температур от ~200°C до ~900°C, вполне эффективным представляется использование двух изотопных методов датирования:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  по набору минералов и U/Pb по циркону.

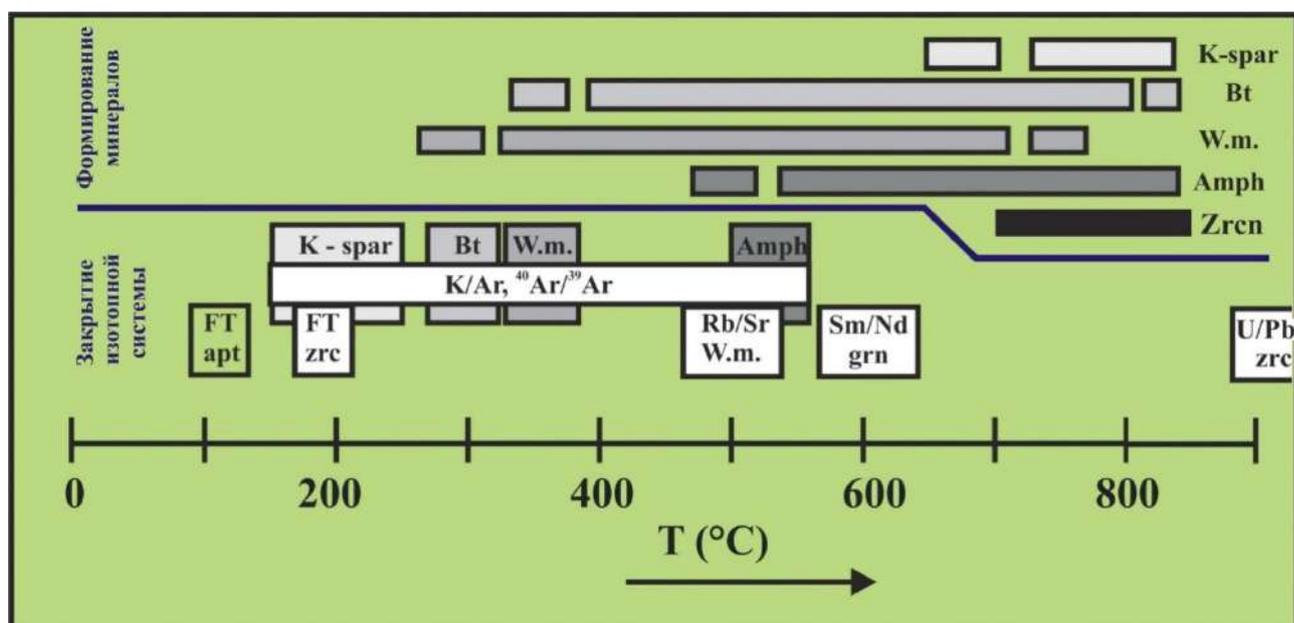


Рис. 1.1. Температуры закрытия изотопных систем с температурами гидротермального, метаморфогенного и магматогенного формирования этих минералов ((Травин, 2016) по данным (Hodges, 2003; Reiners et al., 2005)).

Циркон является одним из наиболее распространенных минералов, используемых в изотопной геохронологии. Несмотря на высокую воспроизводимость результатов при анализе отдельных образцов пород, сохраняется область неопределенности касательно истинного возраста геологических объектов. В первую очередь, это связано с возможным вовлечением геологических тел в более поздние высокотемпературные деформации и полистадийные термальные события, что может привести к падению устойчивости U-Th-Pb изотопной системы циркона и, следовательно, искажению возраста (Kohn et al., 2017).

Влияние наложенных термальных и деформационных процессов на устойчивость циркона обусловлено тем, что они могут приводить к его рекристаллизации и метаморфическому росту, значительным изменениям в морфологии, внутренней структуре и химическом составе отдельных зерен циркона, делая неоднозначным интерпретацию геохимических и изотопно-геохронологических данных (Костицын и др., 2015; Аранович и др., 2017;

Schaltegger et al., 1999; Hoskin, 2000; Nasdala, 2001; Hanchar et al., 2003; Geisler, 2007).

Наиболее уязвимыми в этом плане являются раннеколлизионные гранитоиды, поскольку их вовлечение в более поздние тектоно-термальные события весьма вероятно.

Современное состояние исследований в области петрохронологии позволяет уверенно говорить, что циркон является «чутким индикатором происходящих в нижней коре тектонических и физико-химических процессов» (Аранович и др., 2017). Способность циркона захватывать в процессе роста до 4 мас. % примесных элементов Hf, Y, P, U, Th, Sc, Nb, Ti и РЗЭ (Harley, Kelley, 2007; Аранович и др., 2017) отражает его рост в различных обстановках и условиях. Так, репрезентативное изучение состава цирконов габброидов и плагиогранитов Срединно-Атлантического хребта методами ЛА-ИСП-МС и рентгеноспектрального анализа позволило Л.Я. Арановичу с соавторами (2017) установить, что рост цирконов из габброидов происходил на фоне дифференциации первичных расплавов, сопровождавшейся увеличением содержания Hf, и общим увеличением U+Th и Y+P от центра к краю зерен. Однако эти же авторы подчеркивают, что высокотемпературные гидротермальные процессы в условиях пластических и хрупких деформаций могут приводить к частичной или полной перекристаллизации циркона. Вовлечение в динамометаморфические преобразования зерен циркона и всей породы в целом может привести к значительным изменениям морфологии, внутренней структуры и состава отдельных зерен циркона (Костицын и др., 2015; Аранович и др., 2017; Hanchar et al., 2003), что делает неоднозначным интерпретацию геохимических и изотопно-геохронологических данных.

Решением проблемы может служить комплексный методический подход при исследовании минерального агрегата, состояние которого отражает геологическую историю, условия и механизмы преобразования породы, включая зерна циркона (Kohn et al., 2017). Современное состояние исследований в данной области на достаточном уровне отражено в работе (Rubatto, 2017) и в серии публикаций

российских (Левченков и др., 1998; Ризванова, 1998; Зингер и др., 2010; Каулина, 2010; Аранович и др., 2013, 2017; Алфимова и др., 2013; Костицын и др., 2015; Мачевариани, 2015 и другие), а также зарубежных (Belousova et al., 2002, 2010; Geisler et al., 2007; Hanchar et al., 2007; Harley et al., 2007; Moser et al., 2011; Taylor et al., 2016; Kylander-Clark et al., 2013; Reddy et al., 2016; Hancha et al., 2003; Hanchar, Westrenen, 2007 и другие) исследователей.

В рамках диссертации хотелось бы подчеркнуть следующие моменты.

1. В 2002 коллективом автором (Belousova et al., 2002) была издана фундаментальная работа, посвященная закономерностям содержания примесных элементов в магматических цирконах. Результаты данной работы являются основой многочисленных исследований по идентификации происхождения детритовых ядер цирконов магматических и метаморфических пород, выявлению субстрата литифицированных осадков. Позднее в работе (Костицын и др., 2015) было подчеркнуто, что на фоне высоких концентраций Hf, Y, U, Th и тяжелых РЗЭ в цирконе аномальное содержание отдельных примесных элементов может быть обусловлено не структурными или химическими особенностями минерала, а микровключениями инородных минералов или дефектами, способными концентрировать примесные элементы.

2. В работе (Костицын и др., 2015), опираясь на сравнение экспериментальных данных по растворимости циркония в расплавах различного состава, приведенных в работе (Hanchar & Hoskin, 2003), было показано, что собственный циркон в габброидах может кристаллизоваться на самых поздних стадиях кристаллизации. Захваченный же циркон в расплавах основного состава растворяется из-за недосыщенности расплава цирконием. Циркон может сохраняться при температурах до 800°C в гранитном расплаве с умеренным содержанием циркония (100-150 г/т), однако в расплавах основного состава (1100-1200°C и выше) условием сохранения циркона должна быть высокая концентрация циркония (тысячи мкг/г), что нереально для базальтовых и ультраосновных расплавов. Кроме того, следует упомянуть про устойчивость U-Pb системы в цирконе при повышении температуры, которая определяется в первую очередь

скоростью диффузии свинца. Опираясь на экспериментальные работы по измерению скорости диффузии (Cherniak et al., 2001; 2003) Костицыным с соавторами было показано, что U-Pb система в цирконе размером от 50 мкм устойчива в коровых метаморфических и магматических процессах при температурах 800°C, однако при попадании его в условия температур выше 1200-1300°C U-Pb система в цирконе будет омоложена менее, чем за несколько сотен тысяч лет, что мгновенно в геологическом понимании (Костицын и др., 2015). Данные выводы крайне важны при выборе объектов исследования при анализе корово-мантийного взаимодействия и возможном тепловом воздействии со стороны крупных базитовых тел.

3. Физико-химические изменения циркона в широком диапазоне обстановок метаморфизма систематизированы в (Каулина, 2010; Rubatto, 2017). В частности, отмечено, что метаморфические цирконы (или стадии метаморфического роста) невозможно рассматривать без учета деформирования породы. Пластичное поведение зерен циркона в метаморфических породах сдвиговых зон (HT-type, shear zones) известно и приведено в работах (Reddy et al., 2006; Timms et al., 2006; Austrheim et al., 2009; Piazzolo et al., 2012 и др.). Для крупных зерен циркона в породах, метаморфизованных в амфиболитовой и гранулитовой фациях, зафиксированные методом EBSD внутрикристаллические деформации с нарушением кристаллической решетки от 2 до 20 градусов коррелируются с зональностью при панхроматичной катодолюминесцентной (КЛ) съемке, а также с изменением концентрации РЗЭ элементов и возрастанием Th/U отношения (Reddy et al., 2006, 2016; Timms et al., 2006; Piazzolo et al., 2012).

## ГЛАВА 2. МЕТОДЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ

В рамках целей и задач диссертационной работы, имеющей методическую направленность относительно датирования раннеколлизионных магматических образований, существенное значение имеет корректный выбор объекта исследований, необходимый и достаточный комплекс аналитических методов.

### 2.1. Методические подходы

#### 2.1.1. Обоснование выбора объекта исследований

При постановке данных исследований на первый план вышли задачи, связанные с выбором геологического объекта. Это связано с тем, что в качестве основных целей диссертации предполагалась термохронологическая характеристика наиболее ранних этапов коллизионного орогенеза, оценка влияния наложенных тектоно-термальных событий на результаты изотопно-геохронологического датирования. Как следствие, минимальные требования к подобному объекту и геологической ситуации в целом были следующие.

1. Регион исследований должен иметь достаточную степень геологической изученности, в том числе информацию о возрастной последовательности термальных событий региона. Это позволило бы сконцентрировать внимание на наиболее ранних этапах проявления магматизма.

2. Для привязки к коллизионным событиям желательно было иметь представление о положении тектонических зон и полистадийности деформаций на различных этапах эволюции региона. Совокупность знаний о тектонических и геодинамических обстановках региона позволила бы в дальнейшем верифицировать полученные выводы на предмет их достоверности в геологическом плане.

3. Для иллюстрирования изменений в гранитном массиве при повторном термическом отжиге желательно, чтобы тепловое воздействие на тело гранитов было локальным. Это позволило бы сравнить характеристики цирконов для проб

гранитов из разных областей массива и его обрамления. Тепловым источником в этом плане может служить небольшая интрузия, прорывающая граниты, либо базитовая дайка, секущая граниты.

4. Для того, чтобы тепловое воздействие со стороны базитовой интрузии было достаточным для минеральных изменений в гранитах, необходимо, чтобы внедрение и консолидация дайки происходили на нижних, либо средних уровнях земной коры. Только в этом случае можно будет ожидать, что при температурах среды от 600°C «тепловой удар» со стороны маломощной интрузии базитов мог обеспечить изменения в зернах циркона в эндоконтактовой зоне гранитов.

Перечисленным выше требованиям отвечает Матутский гранитный массив (Западный Сангилен, Юго-Восточная Тува). Как будет описано далее Западный Сангилен представляет собой фрагмент коллизионного орогена на северо-западной окраине Тувино-Монгольского массива. Регион достаточно изучен, в том числе в геохронологическом плане. Матутский гранитный массив расположен непосредственно в пределах Эрзинской тектонической зоны. В его западной эндоконтактовой зоне и в обрамлении отмечены многочисленные секущие дайки базитового состава, в том числе с признаками теплового воздействия на граниты.

### **2.1.2. Петрохронологические подходы при изотопном датировании**

В последние годы существенный прогресс в области аналитического оборудования вывел на передний план задачи и методические подходы, позволяющие инструментально изучать геологические процессы на уровне отдельных минералов и минеральных агрегатов. Сочетание геологических и инструментальных аналитических методов обеспечивает возможность исследования химической и изотопной стабильности равновесных и неравновесных минеральных ассоциаций, а также ключевых для изотопной геохронологии минералов (циркон, титанит, гранат, амфиболы, слюды и др.).

Необходимость оценки влияния разнообразных геологических факторов на подвижность химических элементов от структуры отдельного минерала до

минерального агрегата привело к объединению многочисленных исследований в рамках направления «Петрохронология» (Petrochronology, *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, v. 83, 2017). Со временем «Петрохронология» расширилась до самостоятельной дисциплины в науках о Земле, в основе которой изучение взаимосвязи геохронологии и процессов минералообразования и породообразования и их физических-химических условий. Его актуальность определяется ключевым положением в геологии методов изотопной геохронологии и термохронологии.

При подготовке диссертационной работы особое внимание было уделено изучению влияния деформаций и деформационных обстановок, полистадийных термальных событий, флюидного режима на подвижность U, Th, и других элементов, входящих, либо присутствующих в кристаллической структуре циркона, а также на сохранность зональности минерала, сохранность включений и детритовых ядер циркона.

Было проведено поэтапное исследование цирконов из образцов, которое включало: 1) регистрацию BSE- и CL-изображений для анализа морфологии и внутреннего строения циркона; 2) количественный элементный анализ (в том числе содержания U, Th, Pb и воды) по выделенным зонам циркона; 3) регистрацию рамановских (люминесцентных) спектров и картирование зерен по параметрам рамановской линии  $\nu_3(\text{SiO}_4)$ ; 4) получение ориентационных (фазовых) карт с использованием метода дифракции отраженных электронов; 5) U-Pb изотопное датирование и анализ элементного состава циркона. U-Pb изотопно-геохронологические исследования и элементный анализ были проведены на завершающем этапе после комплексного исследования циркона и анализа полученных данных, что позволило обоснованно выбрать участки циркона для ЛА-ИСП-МС датирования, а в последующем корректно сопоставить полученный возраст с геологическими процессами и физико-химическими условиями его образования.

## **2.2. Аналитические методы**

### **2.2.1. Сканирующая электронная микроскопия и микрорентгеноспектральный микроанализ**

Данные о морфологии и внутреннем строении цирконов изучены по катодолюминесцентным (КЛ) изображениям и снимкам в режиме отраженных электронов (BSE). КЛ и BSE изображения получены с использованием сканирующих электронных микроскопов LEO 1430 (образцы КТ-1070, КТ-1252-1, КТ-1256, КТ-1324) и MIRA 3LMU с блоком катодолюминесценции JSM 6510 LV (КТ-1252-8, ER-02-15, КТ-1201, КТ-1252-4, КТ-1252-5). Исследования проведены в ЦКП МИИ ИГМ СО РАН. Изучение элементного состава цирконов из образцов (КТ-1252-1, КТ-1324, КТ-1256) проведено с использованием сканирующего электронного микроскопа JXA-8230 на базе ЦКП МИИ ИГМ СО РАН. Изучение химического состава цирконов из образцов (КТ-1252-4, КТ-1252-5, КТ-1252-8, КТ-1070, КТ-1201, ER-02-15) проведено на микроанализаторе CAMECA SX100 на базе ЦКП ИГГ УрО РАН.

По данным электронно-зондового микроанализа: а) определен состав, в том числе, содержание РЗЭ; б) по содержанию неформульных элементов-примесей, оценочным значениям концентрации воды проверены химические признаки нарушения U-Th-Pb-системы (по методикам Nasdala et al., 2009; Замятин, 2017); в) на основе анализа внутренних текстур цирконов по BSE- и CL-изображениям и анализа комплекса всех данных зерен предложены стадийные модели формирования зерен циркона.

### **2.2.2. Рамановская спектроскопия**

В целях изучения последствий вовлечения зерен циркона в высокотемпературные деформации и полистадийные термальные события исследовались рамановские спектры комбинационного рассеяния.

Исследование выполнено на КР-спектрометре высокого разрешения Horiba LabRAM HR800 Evolution (ИГГ УрО РАН), оснащённом двумя дифракционными решетками 1800 и 600 шт/мм, лазерами с длинами волн 488, 532 и 633 нм, CCD детектором, оптическим микроскопом Olympus BX-FM с объективами x50 и x100 и моторизованным столиком.

По ширине линии ассиметричных валентных колебаний  $\nu_3(\text{SiO}_4)$  спектра комбинационного рассеяния (КР-спектра) циркона оценивалась степень разупорядочения (метамиктизации) структуры циркона как в отдельных точках, так и по гипер-картам. Рамановские спектры возбуждались He-Ne лазером с длиной волны 632.8 нм (мощность 10 мВт на поверхности образца) и регистрировались с использованием решетки 1800 шт/мм. Система калибровалась по рэлеевской линии и полосе полного отражения. Для фокусировки на поверхности образца использовался объектив x100 (н.а. 0.9); спектрометры работали в конфокальном режиме, что обеспечило пространственное разрешение порядка 1 мкм. Спектральное разрешение составляло порядка  $0.8 \text{ см}^{-1}$ . Разложение на составляющие линии гауссовой (лоренцевой) формы выполнялось после вычитания фона. Измеренные ширины линий были скорректированы на аппаратную функцию с использованием эмпирической формулы согласно (Vácsi, 2014). Согласно работам (Palenik et al., 2003; Nasdala et al., 2003) с ростом степени радиационного повреждения матрицы циркона увеличиваются ширины линий и их сдвиг. Между шириной на половине высоты линии  $\Delta$  наиболее интенсивной линии  $\nu_3(\text{SiO}_4) 1008 \text{ см}^{-1}$  и её положением существует нелинейная связь. При условии, что образцы не испытывали термических отжигов, ширина на половине высоты линии  $\nu_3(\text{SiO}_4)$  определяется дозой облучения, полученной минералом, следуя (Nasdala et al., 2001; 2004), по соотношению  $\Delta \nu_3 \approx 1.2 + 14 \cdot D_\alpha [10^{18}/\text{г}]$ . Выражение справедливо при дозах  $D_\alpha$  менее  $1.4 \cdot 10^{18} \text{ } \alpha\text{-расп/г}$  и ширинах линии ниже  $21 \text{ см}^{-1}$ .

### 2.2.3. Метод дифракции отраженных электронов (EBSD)

Метод дифракции отраженных электронов (EBSD) использован для построения фазовых и ориентационных карт. Данное исследование выполнено в ЦКП ИГГ УрО РАН. Метод EBSD позволяет исследовать ориентацию отдельных доменов на поверхности кристалла, анализировать локальную текстуру, определять напряженное и деформированное состояние кристалла. Сочетание данных дифракции отраженных электронов и рентгеноспектрального микроанализа (EPMA) позволяет провести достаточно полную характеристику исследуемого образца (состав, структура, ориентация и текстура) с локальностью до 1 мкм (Замятин, 2017). При анализе циркона EBSD-метод используется для изучения деформаций, участков рекристаллизации минерала, образующихся в результате метаморфических преобразований, а также связанного с ними влияния деформированного состояния структуры на подвижность примесных элементов, в том числе U и Pb, что важно при решении геохронологических задач (например, работы (Reddy et al., 2006, 2007, 2009, 2016; Timms et al., 2006, 2011; Moser et al., 2011; Kovaleva et al., 2017) и др.). Образцы размещались в камере микроскопа на специальном держателе под углом  $70^\circ$  между нормалью к поверхности образца и падающим пучком электронов; расстояние до люминофорного экрана, на который проецируется картина дифракции, составляло порядка 20 мм. Исследование выполнено с помощью приставок Oxford Instruments EBSD NordlysNano и EDS X-max80 на электронном микроскопе Jeol JSM-6390LV (ИГГ УрО РАН), работающих под управлением программы AZtec v3.1. В каждой точке анализа одновременно регистрировался характеристический рентгеновский спектр и дифракционные карты Кикучи (EBSD), по которым определялся состав и пространственная группа (ориентировка кристаллитов), соответственно. На основании построенных карт определены участки цирконов с максимальным нарушением ориентации, возникающим в условиях деформации породы, и вызывающие нарушение U-Pb-системы (Moser et al., 2011; Reddy et al., 2008; Kovaleva et al., 2017). Лазерная абляция при U/Pb изотопном датировании выполнялась в участках зерен,

свободных от таких искажений, что позволило исключить этот артефакт при датировании коллизионных гранитоидов.

#### **2.2.4. Методика U/Pb датирования**

U-Pb изотопно-геохронологические исследования цирконов выполнены в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований ИГМ СО РАН (ЦКП МИИ ИГМ СО РАН, г. Новосибирск) методом LA-ICP-MS. U-Pb датирование цирконов из образцов КТ-1070, КТ-1201, ER-02-15 проводилось на масс-спектрометре высокого разрешения Element XR (Thermo Fisher Scientific, Германия) с использованием лазерной абляции UP-213 (NewWaveResearch, США) на основе ультрафиолетового Nd:YAG лазера с длиной волны 213 нм. Для остальных образцов (КТ-1324, КТ-1256, КТ-1252-1, КТ-1252-4, КТ-1252-5, КТ-1252-8) датирование выполнено с использованием эксимерной системы лазерной абляции AnalyteExcite 193 нм (Teledyne Cetac, США), оснащенной двухкамерной ячейкой HeEx II, соединенной с масс-спектрометром с индуктивно-связанной плазмой Element XR (Thermo Fisher Scientific, Германия).

Выделение цирконов проводилось стандартными методами с использованием магнитной сепарации и бромформа. Отдельные зерна циркона отбирались вручную под бинокуляром, затем фиксировались в препаратах (шашках) из эпоксидной смолы высотой 5 мм и диаметром 25 мм. Шашки полировались до уровня, наиболее близко отвечающему центру анализируемых зерен циркона.

Данные о морфологии и внутреннем строении цирконов изучены по катодолюминесцентным (КЛ) изображениям и снимкам в режиме отраженных электронов (BSE). КЛ и BSE изображения получены с использованием сканирующих электронных микроскопов LEO 1430 (образцы КТ-1070, КТ-1252-1, КТ-1256, КТ-1324) и MIRA 3LMU с блоком катодолюминесценции JSM 6510 LV (КТ-1252-8, ER-02-15, КТ-1201, КТ-1252-4, КТ-1252-5). Исследования проведены в ЦКП МИИ ИГМ СО РАН.

Датирование проводилось по единичным зернам цирконов (от 20 до 50 зерен для каждой пробы близкой морфологии и размера).

Настройка оптимальных значений операционных параметров масс-спектрометра и лазерной приставки проводилась по стандартному синтетическому стеклу NIST SRM 612 (Standard Reference Material of the National Institute of Standards and Technology, США). Операционные параметры и конфигурация оборудования для датирования цирконов приведены в таблице 2.1. В качестве газов-носителей были использованы: в лазерной установке - He (марка 6.0) и в масс-спектрометре - Ar жидкий (ГОСТ 10157–2016). Оптимальными значениями настройки считались те, при которых достигался максимальный сигнал по изотопам  $^{232}\text{Th}$  и  $^{208}\text{Pb}$ , и минимальное образование оксидов  $^{248}\text{ThO}+^{232}\text{Th}+$  (менее 2.5%). Съемка проводилась в режиме непрерывного электростатического сканирования (E-scan) в диапазоне масс от 202 до 238. Все измерения выполняли по массам  $^{202}\text{Hg}$ ,  $^{204}(\text{Pb}+\text{Hg})$ ,  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ . Детектирование сигналов проводилось в режиме счета (counting) для всех изотопов, кроме  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  (режим triple – комбинация режимов счет/аналог/фарадей). Диаметр лазерного луча составлял 20-35 мкм, частота повторения импульсов 5 Hz и плотность энергии лазерного излучения 3-3.5 Дж/см<sup>2</sup>. При таких энергетических параметрах лазерной абляции глубина кратера составляла менее 15 мкм. Общее время работы лазера составило 55 сек, из которых первые 25 секунд происходило масс-спектрометрическое измерение фоновых значений по заданным массам и накачка лазера до рабочей мощности при закрытой заслонке, следующие 30 секунд происходила лазерная абляция поверхности анализируемого циркона, перенос аэрозоля пробы в масс-спектрометр и измерение сигналов по заданным массам.

Анализ образцов цирконов сопровождался измерением двух стандартных образцов цирконов и стандартного синтетического стекла NIST SRM 612. В данной работе были использованы стандартные образцы Plesovice (Slama et al., 2008) – внешний стандарт, Temora-2 (Black et al., 2003; 2004) и GJ-1 (Jackson et al., 2004) – контрольные стандарты. По внешнему стандарту и стеклу NIST SRM 612 проводилась коррекция на фракционирование U, Pb при лазерной абляции,

дискриминацию масс при масс-спектрометрическом анализе, а также дрейф настроек аналитического оборудования в ходе сессии измерений.

Процедура датирования цирконов выполнялась по следующей схеме. В начале съемки выполнялось по три измерения трех эталонных стандартов – NIST SRM 612, внешнего (Plesovice) и контрольного (Temora-2 или GJ-1). Далее контрольная однократная съемка внешнего и контрольного стандарта повторялась через каждые пять-десять измерений образца. В конце последовательности съемки каждого образца повторялось измерение NIST SRM 612, внешнего (Plesovice) и контрольного (Temora-2 или GJ-1) стандартных образцов.

Данные масс-спектрометрических измерений, в том числе расчет изотопных отношений, обрабатывали с помощью программы “Glitter” (VanAchterbergh et al., 2001; Griffin et al., 2008).  $^{235}\text{U}$  рассчитывался из  $^{238}\text{U}$  на основе отношения  $^{238}\text{U}/^{235}\text{U} = 137.818$  (Hiess et al., 2012). Для учета элементного и изотопного фракционирования U–Pb изотопные отношения нормализовали на соответствующие значения изотопных отношений стандартных цирконов Plesovice (Slama et al., 2008). Средневзвешенный  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  возраст и диаграммы с конкордией построены с помощью программы Isoplot (Ludwig, 2003). Погрешности единичных анализов (отношений, возрастов) приведены на уровне 1s (%), погрешности вычисленных конкордантных возрастов – на уровне 2s (абс).

Таблица 2.1. Операционные параметры оборудования: масс-спектрометра Thermo Fisher Scientific Element XR и систем лазерной абляции AnalyteExcite (TeledyneCetac) и UP 213 (New Wave Research)

Масс-спектрометр Element XR (Thermo Fisher Scientific)	
Мощность радиочастотного генератора	1500 Вт
Расход газа (Ar)	
• Плазмообразующего	16.00 дм <sup>3</sup> /мин
• Вспомогательного	0.968 дм <sup>3</sup> /мин
• Пробоподающего	1.0-1.2 дм <sup>3</sup> /мин
Разрешение	Низкое
Режим сканирования	E-scan
Мертвое время детектора	17 нс
Измеряемые массы	202, 204, 206, 207, 208, 232, 238
Время измерения	202, 204 – 6 мс 206, 207, 208, 232, 238 – 15 мс
Режим регистрации сигналов	Triple - 232, 238 массы Режим счета - 202, 204, 206, 207, 208, 235
Окно сканирования	4% - 202, 204 6% - 206, 207, 208, 232, 235, 238
Интегрирование сигнала	Среднеарифметическое
Время задержки магнита	1 мс
Число сканирований	1000
Экцимерная система лазерной абляции AnalyteExcite (TeledyneCetac, 193нм)	
Плотность энергии лазерного излучения	4 Дж/см <sup>2</sup>
Энергия импульса	3 мДж
Частота повторения импульсов	5 Гц
Диаметр лазерного луча	20-35 мкм
Расход транспортирующего потока He	9500 см <sup>3</sup> /мин
Время работы лазера	55 с
Время разогрева лазера	25 с
Время абляции	30 с

Система лазерной абляции UP 213 (NewWaveResearch, Nd:YAG, 213 нм)	
Плотность энергии лазерного излучения	3 – 4 Дж/см <sup>2</sup>
Мощность излучения	0.019 – 0.024 мДж
Частота повторения импульсов	5 Гц
Диаметр лазерного луча	25-30 мкм
Расход транспортирующего потока He	1000 см <sup>3</sup> /мин
Время работы лазера	55 с
Время разогрева лазера	25 с
Время абляции	30 с

#### 2.2.4. Методика определения содержания редких и редкоземельных элементов в цирконе

Определение редких и редкоземельных элементов в зернах циркона было проведено в Центре коллективного пользования многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (Институт геологии и минералогии, г. Новосибирск) методом LA-ICP-MS на масс-спектрометре высокого разрешения Element XR (Thermo Fisher Scientific), с эксимерной системой лазерной абляции Analyte Excite фирмы (Teledyne Cetac). Оптимизация параметров аналитического оборудования проводилась по той же схеме, что и при U-Pb датировании цирконов. Сканирование выполняли по массам <sup>31</sup>P, <sup>49</sup>Ti, <sup>88</sup>Sr, <sup>89</sup>Y, <sup>91</sup>Zr, <sup>93</sup>Nb, <sup>138</sup>Ba, <sup>139</sup>La, <sup>140</sup>Ce, <sup>141</sup>Pr, <sup>146</sup>Nd, <sup>147</sup>Sm, <sup>153</sup>Eu, <sup>157</sup>Gd, <sup>159</sup>Tb, <sup>163</sup>Dy, <sup>165</sup>Ho, <sup>166</sup>Er, <sup>169</sup>Tm, <sup>172</sup>Yb, <sup>175</sup>Lu, <sup>178</sup>Hf, <sup>232</sup>Th, <sup>238</sup>U. Съёмка проводилась в режиме E-scan. Детектирование сигналов проводилось в режиме счета (counting) для всех изотопов, кроме <sup>31</sup>P, <sup>89</sup>Y, <sup>91</sup>Zr, <sup>178</sup>Hf, <sup>232</sup>Th и <sup>238</sup>U, для которых использовали режим triple. Диаметр лазерного луча составлял 25-35 мкм, частота повторения импульсов 5 Гц, плотность энергии лазерного излучения 3 Дж/см<sup>2</sup>. Данные масс-спектрометрических измерений обрабатывали с помощью программы “Glitter” (GEMOC, Griffin et al., 2008). Расчет содержаний элементов в цирконах проводился с использованием внешней градуировки по стандарту NIST SRM610 (Standard Reference Material of the National Institute of Standards and

Technology, США) и изотопа  $^{91}\text{Zr}$  в качестве внутреннего стандарта. Стандартный природный циркон GJ-1 (Jackson et al., 2004; Yuan et al., 2007; Piazzolo et al., 2017), использовался в качестве вспомогательного стандарта.

### 2.2.5. Методика $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  геохронологические исследования методом ступенчатого прогрева проводились по методике, описанной в (Yudin et al., 2021). Минералы для  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  изотопно-геохронологических исследований выделялись с использованием стандартных методик магнитной и плотностной сепарации. Навески минеральных фракций совместно с навесками биотита МСА-11 (ОСО № 129-88), используемого в качестве монитора, заворачивались в алюминиевую фольгу, помещались в кварцевую ампулу и после откачки из нее воздуха запаивались. Биотит МСА-11, подготовленный ВИМС в 1988 году как стандартный K/Ar образец, был аттестован в качестве  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  монитора с помощью международных стандартных образцов мусковита Vern 4m, биотита LP-6 (Baksi et al., 1996). В качестве интегрального возраста биотита МСА-11 принято среднее результатов калибровки, составившее  $311.0 \pm 1.5$  млн лет. Особенностью методики является облучение кварцевых ампул с пробами в охлаждаемом водой канале исследовательского реактора ФТИ ТПУ (г. Томск). При облучении в таких условиях температура ампул с образцами не превышает  $100^\circ\text{C}$ . Градиент нейтронного потока не превышал 0.5% в размере образца. Эксперименты по ступенчатому прогреву проводились в кварцевом реакторе с печью внешнего прогрева. Холостой опыт по  $^{40}\text{Ar}$  (10 мин при  $1200^\circ\text{C}$ ) не превышал  $5 \times 10^{-10}$  нсм<sup>3</sup>. Очистка аргона производилась с помощью Ti- и ZrAl SAES-геттеров. Изотопный состав аргона измерялся на масс-спектрометре Noble gas 5400 фирмы Микромасс (Англия). Ошибки измерений, приведенные в тексте и на рисунках, соответствуют интервалу  $\pm 1\sigma$ .

### ГЛАВА 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В качестве геологического объекта, необходимого и достаточного для планируемых исследований был выбран тектонический фрагмент Эрзинской сдвиговой зоны (shear zone), расположенной на северо-восточной окраине Тувино-Монгольского массива (Центрально-Азиатский складчатый пояс) (рис. 3.1).

Регион Западного Сангилен (Юго-Восточная Тува) известен и детально представлен в работах многочисленных исследователей (в алфавитном порядке): Беляев С.Ю., Владимиров А.Г., Владимиров В.Г., Вознесенский В.Д., Гибшер А.С., Гибшер А.А., Гоникберг В.Е., Изох А.Э., Каргополов С.А., Кармышева И.В., Козакова И.К., Костицын Ю.А., Котов А.Б., Кузьмичев А.Б., Лебедев В.И., Лепезин Г.Г., Леснов Ф.П., Монгуш А.А., Митрофанов Ф.П., Петрова А.Ю., Пономарева А.П., Руднев С.Н., Рогов Н.В., Сальникова Е.Б., Ступаков С.И., Симонов В.А., Сугоракова А.М., Терлеев А.А., Травин А.В., Чернышов А.И., Шелепаев Р.А. и многие другие (1960-2024).

По существующим представлениям Западный Сангилен представляет собой фрагмент коллизионного горно-складчатого сооружения кембро-ордовикского возраста, сформировавшегося при столкновении Таннуольской островной дуги и Тувино-Монгольского микроконтинента (ТММ) (Гибшер и др., 2000; Кузьмичев, 2004; Владимиров и др., 2005 и др.).

В эволюции Западного Сангилен выделяют три последовательных стадии коллизионного орогенеза: раннеколлизионная (535-525 млн лет), коллизионная (525-495 млн лет) и позднеколлизионная (495-465 млн лет) (таблица 3.1., (Владимиров и др., 2005, 2017)). Обстановки трансенсии и начало развала орогена приходится на рубеж  $495 \pm 10$  млн лет (Владимиров и др., 2005, 2017). Каждый этап характеризуется своим базитовым и гранитоидным магматизмом. Наиболее активно интрузивные процессы были проявлены на позднеколлизионной стадии (495-465 млн лет).

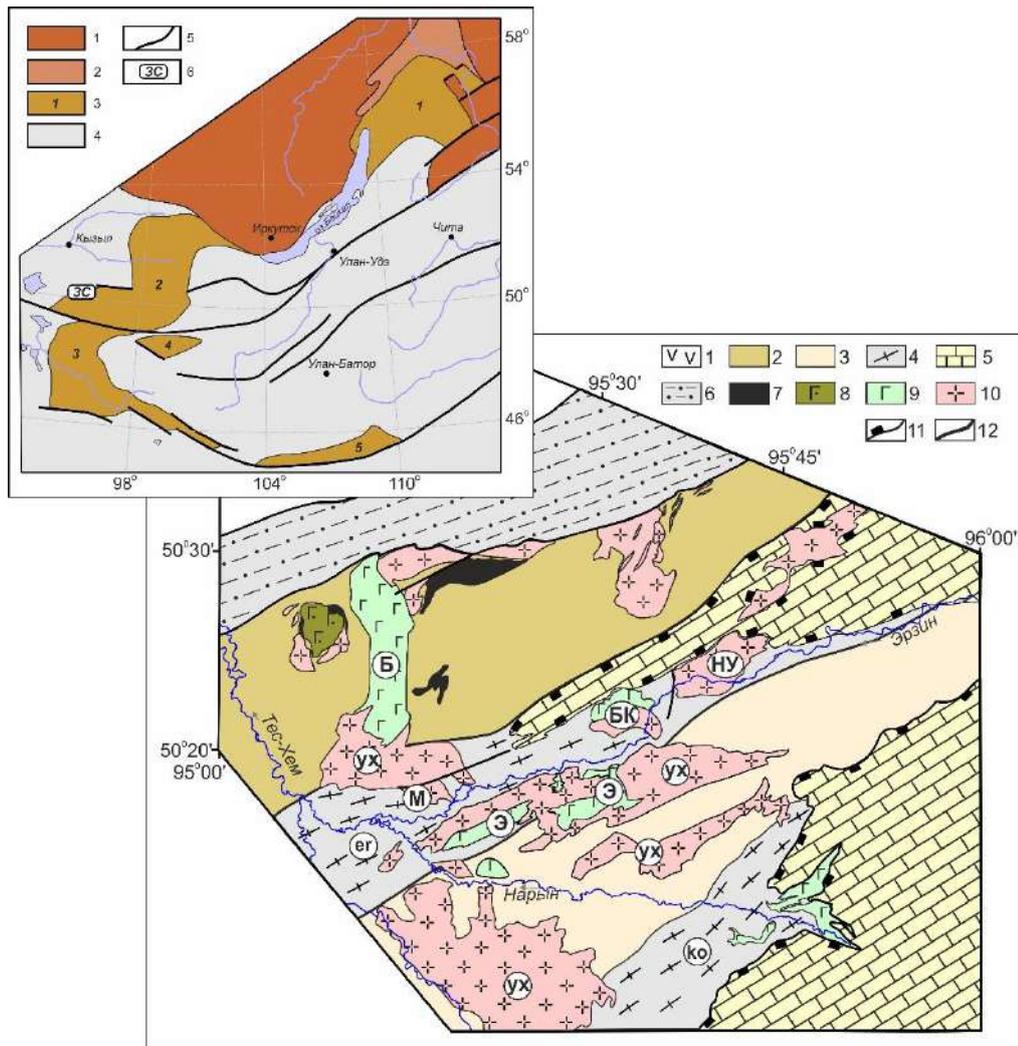


Рисунок 3.1. Геологическая схема Западного Сангилена (Юго-Восточная Тува) (по (Гоникберг, 1995; Козаков и др., 1999; Владимиров и др., 2005, 2017; Шелепаев, 2006; Кармышева и др., 2017, 2022)).

*Условные обозначения:* 1 – образования Таннуольской островной дуги; *метаморфические комплексы (2-4):* 2 – моренский, 3 – нижнеэрзинский, 4 – эрзинский; 5 – карбонатно-терригенный чехол (сангиленская серия); 6 – Агардагский сутурный шов; 7 – дунит-гарцбургитовый комплекс; 8 – Правотарлашкинский анортозит-габброноритовый массив; 9 – габброидные массивы (Б – Башкымугурский, БК – Баянкольский, Э – Эрзинский), 10 – гранитоидные массивы (нерасчлененные) и комплексы: БК – Баянкольский массив, М – Матутский массив, НУ – Нижнеулорский массив, ух – ухадагский комплекс); 11 – границы тектонических покровов; 12 – разломы. *Тектонические зоны:* (er) Эрзинская, (ko) Кокмолгаргинская. **Врезка:** Положение Западного Сангилена (ЗС) в структурах южного обрамления Сибирской платформы (по (Kuzmichev et al., 2001; Кузьмичев, 2004) с упрощениями). *Условные обозначения:* 1 – Сибирский кратон; 2 – пассивные окраины; 3 – докембрийские террейны (1 – Байкало-Муйский пояс, 2 – Тувино-Монгольский массив, 3 – Дзабханский массив, 4 – Тарбагатайский массив, 5 – Центрально-Монгольский массив); 4 – палеозоиды Центрально-Азиатского складчатого пояса; 5 – разломы; 6 – положение Западного Сангилена.

Таблица 3.1. Модель коллизионного орогенеза на северо-западной окраине Тувино-Монгольского массива (Западный Сангилен, ЮВ Тува)

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ, ПЕРИОДЫ, СТАДИИ	РУБЕЖИ млн лет	ТЕКТОНИКА (ключевые события и рубежи)	МЕТАМОРФИЗМ (* контактовый)	МАГМАТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И МАССИВЫ
Постколлизионный период (внутриплитный)	440	<b>Период 465-440 млн лет:</b> Атектонический период. Локальные проникающие хрупкие нарушения.	<b>Период 465-440 млн лет:</b> Прогрессивный, динамо-термальный и контактовый метаморфизм отсутствует.	<b>Период 465-440 млн лет:</b> Атардагский базальтоидный комплекс щелочных даек Нарынского пиродолерит-лейкогранитный дайковый комплекс
	465	<b>Период 485-465 млн лет:</b> Возрастание роли растяжение на фоне сдвиговых деформаций (транстенсия). Дальнейшее растяжение и утончение земной коры. Фрагментация Мулуро-Чинчилгского тектонического блока на Мулурский и Тарлашинхемский. Слитие Эрзин-Нарынского и Нарынского тектонических блоков. Вертикальная фрагментация коллизонного орогена с формированием системы Сангиленских detachментов.	<b>Период 495-465 млн лет:</b> Синтектонический полистадийный динамо-термальный метаморфизм (мулурский комплекс, M3). Vt-Ms-Alp-Sil ассоциация. эпидот-амфиболитовая фация, (комплекс «теплого пятна»); Контактовый метаморфизм M3*. M3* - 465 млн лет, Башкымургуский габброидный массив; M3* - 475 млн лет, Нижнеулурский гранитоидный массив; M3* - 485 млн лет, ухадагский гранитоидный комплекс; M3* - 495 млн лет, Баянкольский габброидный массив.	<b>Возрастной рубезь ~ 465 млн лет:</b> Башкымургуский габбро-мондиоритовый комплекс Базитовые и минглинг дайки <b>Башкымургуского</b> комплекса (?) Комплекс лейкогранитных даек (?) <b>Возрастной рубезь ~ 475 млн лет:</b> Нижнеулурский гранит-лейкогранитный комплекс Кызылдаргинский гранит-гранодиоритный комплекс (?) Кокмолгаргинский дюрит-гранодиорит-гранитный комплекс (?) Плагриограниты (Чон-Саирский массив) <b>Возрастной рубезь ~ 485 млн лет:</b> Ухадагский гранитоидный комплекс Базитовые и минглинг дайки ухадагского комплекса <b>Возрастной рубезь ~ 495 млн лет:</b> Чжаргалатский гранит-лейкогранитный комплекс Эрзинский габбро-мондиоритовый массив Баянкольский габбро-мондиорит-гранодиорит-гранитный комплекс Базитовые и минглинг дайки <b>Баянкольского</b> комплекса (?) Хорунгуский гранит-лейкогранитный комплекс
	485	<b>Период 495-485 млн лет:</b> Реактивация (левосторонний сдвиг) Западно-Сангиленской сдвиговой системы с фрагментацией миллионитов Эрзинской и Кокмолгаргинской сдвиговых зон. <b>Возрастной рубезь ~ 495 млн лет:</b> Прогрессивная смена кинематики деформаций от взросовой на левосдвиговую (транспрессия).	<b>Возрастной рубезь ~ 525 млн лет:</b> Синтектонический метаморфизм (эрзинский комплекс, M2 и M2*) в пределах Эрзинской и Кокмолгаргинской тектонических зон. M2 - «пятнистый» динамо-термальный метаморфизм от амфиболитовой фации до гранулитов умеренных и повышенных давлений. M2* - гранулиты HT/LP типа, контактовый метаморфизм.	<b>Возрастной рубезь ~ 525 млн лет:</b> Синтектонический метаморфизм (эрзинский комплекс, M2 и M2*) в пределах Эрзинской и Кокмолгаргинской тектонических зон. M2 - «пятнистый» динамо-термальный метаморфизм от амфиболитовой фации до гранулитов умеренных и повышенных давлений. M2* - гранулиты HT/LP типа, контактовый метаморфизм.
Коллизионная стадия	495	<b>Возрастной рубезь ~ 525 млн лет:</b> Заложение Западно-Сангиленской сдвиговой системы (Эрзинская и Кокмолгаргинская проникающие тектонические зоны). Фрагментация орогена на тектонические блоки (Мулуро-Чинчилгский, Эрзин-Нарынский и Нарынский).	<b>Период 535-525 млн лет:</b> Прогрессивный динамо-термальный метаморфизм (моренский комплекс, M1) от зеленосланцевой до верхов эпидот-амфиболитовой фации повышенных давлений (St-Ky ассоциация).	<b>Возрастной рубезь ~ 535 млн лет:</b> Ортоадырский тоналит-плагриогранитный комплекс
Косоугольное сжатие (транспрессия) (525-495 млн лет)	525	<b>Период 535-525 млн лет:</b> Интенсивный рост горно-складчатого сооружения (удвоение коры, надрыв и складчатость).	<b>Период 570-535 млн лет:</b> Прогрессивный зеленосланцевый метаморфизм (M0 регионального типа, связанный с накоплением осадочных и осадочно-вулканогенных толщ задугового бассейна на окраине Тувино-Монгольского массива.	<b>Период 570-535 млн лет:</b> Карашатский перидотит-пироксенит-габбровый комплекс Акдоураиский дунит-гартцбургитовый комплекс Солчерский дунит-гартцбургитовый комплекс Кускумугский толеитовый комплекс
Ранне-коллизионная стадия	535	<b>Период 560-535 млн лет:</b> Плукативные структуры и надрывы. Заложение Атардагской сутуры и формирование структур ее обрамления. <b>Период 570-560 млн лет:</b> Накопление осадочных и осадочно-вулканогенных толщ задугового бассейна на окраине Тувино-Монгольского массива.	<b>Период 570-535 млн лет:</b> Прогрессивный зеленосланцевый метаморфизм (M0 регионального типа, связанный с накоплением осадочных и осадочно-вулканогенных толщ задугового бассейна на окраине Тувино-Монгольского массива.	<b>Период 570-535 млн лет:</b> Карашатский перидотит-пироксенит-габбровый комплекс Акдоураиский дунит-гартцбургитовый комплекс Солчерский дунит-гартцбургитовый комплекс Кускумугский толеитовый комплекс
Акреционно-островодужный период (обстановки сжатия)	570			

Составлена В.Г. Владимировым, И.В. Кармышевой, В.А. Яковлевым, А.Е. Смоляковой, Д.В. Семеновым и Е.Д. Зюковым по материалам [Владимиров и др., 2005, 2017] с изменениями.

Эрзинская сдвиговая зона представляет собой проникающий глубинный разлом (shear zone), заложение которого связано с пиком коллизионных событий на рубеже 525 млн лет. Современные скальные обнажения Эрзинской зоны отвечают нижнекоровым уровням, где можно наблюдать происходившие в тот период процессы плавления корового материала в условиях локального сброса напряжений, признаки перемещения кислого расплава и становление синтетектонической интрузии (Матутский гранитоидный массив) (Владимиров и др., 2017).

Позднее Эрзинская тектоническая зона претерпела до трех этапов реактивации (495, 485, 465 млн лет), сопровождавшиеся изменением кинематики тектонических движений и фрагментацией тектонической зоны на отдельные блоки, трассируемые интрузивными телами кислого и основного состава.

### **3.1. Матутский гранитоидный массив**

Матутский гранитный массив представляет собой гарполит площадью до 10 км<sup>2</sup>. Он расположен в матриксе метаморфических пород эрзинского комплекса (рис.3.2). В пределах одноименной тектонической зоны уровень метаморфизма вмещающих пород неоднороден по своим характеристикам и достигает гранулитов и верхов амфиболитовой фации (Кармышева и др., 2022; Karmysheva et al., 2021).

В юго-западной части массива гранитоиды могут не иметь видимых контактов с вмещающими мигматитами и гнейсогранитами эрзинского комплекса, что связано как с существованием признаков частичного плавления в породах рамы, так и с конформностью структурных элементов в метапелитах с магматической полосчатостью в эндоконтакте тела гранитов. Общность структурных элементов метаморфических пород и гранитоидов обусловлена их синтетектоническим генезисом на ранних стадиях орогенеза в обстановках сжатия и заложения Эрзинской сдвиговой зоны на юго-восточной окраине Тувино-

Монгольского массива (Владимиров и др., 2005, 2017; Кармышева и др., 2022; Karmysheva et al., 2021).

Гранитоиды Матутского массива, как и метаморфические породы эрзинского комплекса, заключены в границы Эрзинской тектонической зоны (рис. 3.2).

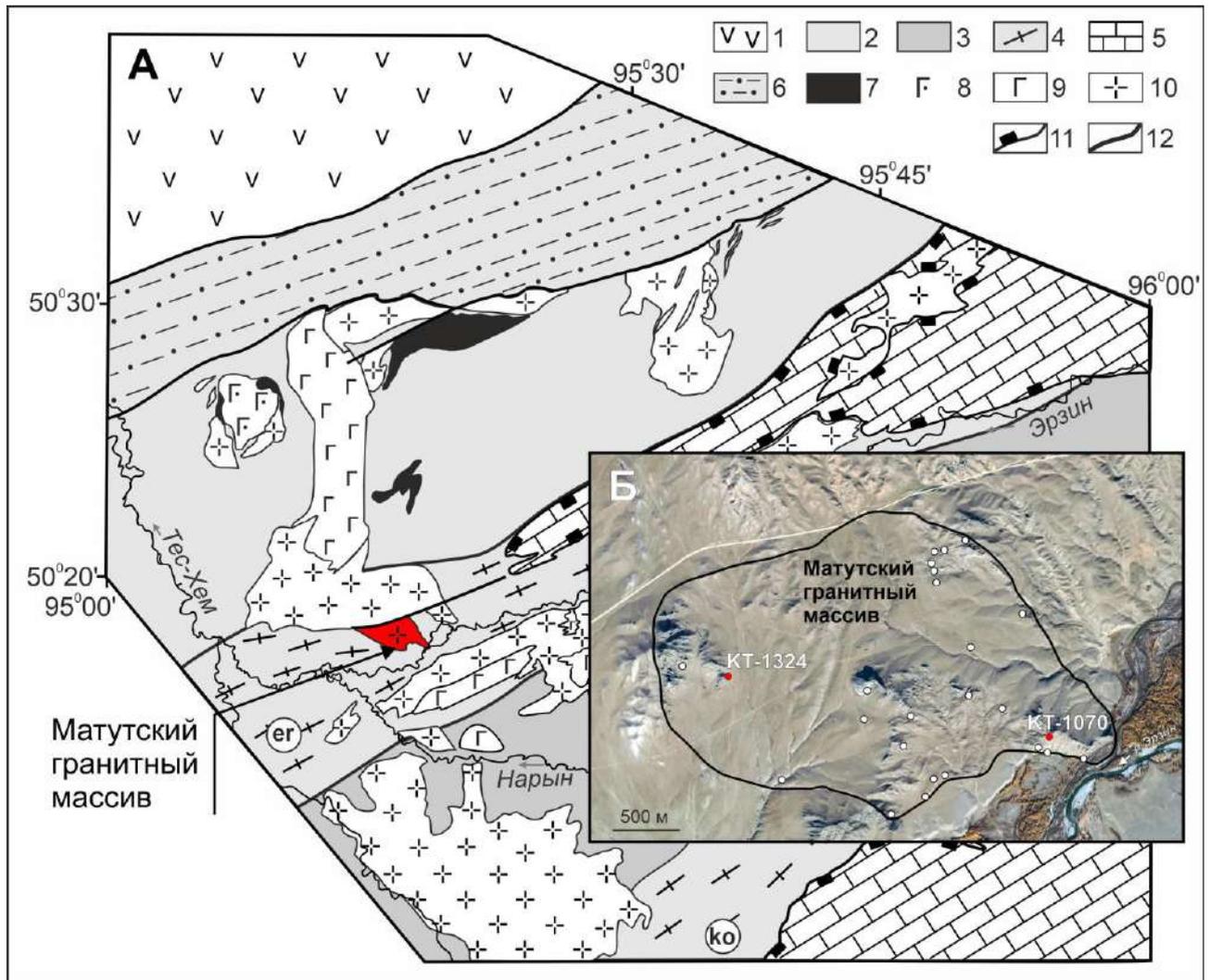


Рисунок 3.2. А. Положение Матутского гранитного массива в структурах Западного Сангилена. Условные обозначения: 1 – образования Таннуольской островной дуги; метаморфические комплексы (2-4): 2 – моренский, 3 – нижнеэрзинский, 4 – эрзинский; 5 – карбонатно-терригенный чехол (сангиленская серия); 6 – Агардагский сутурный шов; 7 – дунит-гарцбургитовый комплекс; 8 – Правотарлашкинский анортозит-габброноритовый массив; 9 – габброидные массивы, 10 – гранитоидные массивы (нерасчлененные); 11 – границы тектонических покровов; 12 – разломы. Тектонические зоны: (er) Эрзинская,

(ко) Кокмолгаргинская. Б. Контуры Матутского гранитного массива на спутниковых снимках Google Earth с положением точек отбора проб (красный цвет): КТ 1324 ( $50^{\circ}17'47.87''\text{C}$ ;  $95^{\circ}16'11.71''\text{B}$ ), КТ-1070 ( $50^{\circ}17'33.25''\text{C}$ ;  $95^{\circ}18'11.81''\text{B}$ ) и образцов для петрогеохимических исследований (окружности белого цвета) (по материалам (Владимиров и др., 2017)).

Петрохимический и геохимический состав гранитоидов Матутского массива описан в ряде работ (Пономарева и др., 2001; Петрова, 2001; Кармышева, 2012; Кармышева и др., 2017). Вещественный состав и структурно-текстурные взаимоотношения мафических и салических пород, слагающих комбинированную габбро-гранитную дайку на участке Тавыт-Даг Матутского массива подробно изложены в работах (Яковлев и др., 2018; Цыганков и др., 2019; Владимиров и др., 2019).

Петрографические, петрохимические и геохимические особенности состава пород, относящихся к ухадагскому комплексу, детально изучены и представлены в работах (Козаков и др., 2001; Пономарева и др., 2001; Кармышева и др., 2022; Козаков и др., 2003).

Граниты Матутского массива ( $\text{Qz} - 35-40\%$ ,  $\text{Kfs} - 45-50\%$ ,  $\text{Pl} - 10-20\%$ ,  $\text{Vt} + \text{Hbl} \sim 5\%$ ,  $\pm \text{Ms}$ )<sup>1</sup> характеризуются средне-крупнозернистой слабо порфировидной структурой, где наиболее крупные вкрапленники представлены калиевым полевым шпатом. Текстуры варьируют от массивных в центральной части массива до отчетливо директивных – в краевых.

Для пород характерны широкие вариации значений по основным петрохимическим параметрам (таблица 3.2, таблица в Приложении 2).

Граниты Матутского массива характеризуются высокими содержаниями кремнезема (68.5-76.8 мас.%) и щелочей ( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 6.4-9.4$  мас.%,  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 1-2.2$ ), что обуславливает их положение на TAS диаграмме в полях кварцевых монзонитов и гранитов (рис. 3.3 а). Породы высококалиевые (рис. 3.3 д) и

---

<sup>1</sup> Сокращения приведены по (Warr, 2021).

преимущественно магнезиальные ( $MgO = 0.06-0.85$  мас.%,  $Fe_2O_3^{общ} = 0.6-4.1$ ,  $\#Fe = 0.58-0.88$ ) (рис. 3.3 б), с низкими содержаниями  $TiO_2$  ( $0.04-0.45$  мас.%).

На диаграмме MAlI точки составов занимают поля известково-щелочных и щелочно-известковистых пород (рис. 3.3 в). Граниты преимущественно слабопералюминиевые ( $ASI = 0.97-1.12$ ) (рис. 3.3 г), концентрации  $Al_2O_3$  и  $CaO$  не выдержаны ( $11.9-15.6$  и  $0.3-2.6$  мас.%, соответственно).

На бинарных диаграммах наблюдается закономерное снижение концентраций всех петрогенных оксидов, за исключением  $K_2O$ , с ростом кремнекислотности.

Содержания РЗЭ снижаются с увеличением концентрации  $SiO_2$  в породах, HFS и LIL элементы варьируют вне зависимости от кремнекислотности (рис. 3.3).

Все образцы гранитов характеризуются наклонными спектрами распределения РЗЭ с преобладанием легких лантаноидов над тяжелыми при невыдержанном содержании последних ( $(La/Yb)_N = 8.3-16.5$ ,  $(Gd/Yb)_N = 1.2-2.1$ ) и отрицательными европиевыми аномалиями ( $Eu/Eu^* = 0.4-0.7$ ) (рис. 3.4 а). Спайдер-диаграммы демонстрируют отрицательные аномалии по высокозарядным элементам (Nb, Ta, Ti), U и Sr (рис. 3.4 б).

Вещественный состав образцов гранитов, используемых для изотопно-геохронологических исследований, идентичен типичным кислым породам Матутского массива (рис. 3.3, 3.4, таблица 3.1, таблица в Приложении 2).

Вариации содержаний петрогенных оксидов в гранитах Матутского массива могут являться отражением процессов последовательного плавления одного или нескольких источников (с последующими эпизодами внедрения).

Граниты Матутского массива магнезиальные, известково-щелочные высококалийные, слабопералюминиевые, с высокими содержаниями Ba ( $798-1060$  г/т) и Sr ( $113-351$  г/т) и низкими Rb ( $97-157$  г/т). В сочетании с высоким содержанием  $Na_2O$  ( $>2.6$  мас.%), умеренным  $CaO$  (среднее =  $1.4$  мас.%) это указывает на источник, обедненный пелитовым материалом (Miller, 1985). Низкие значения отношений Rb/Sr ( $0.3-1.1$ ) и Rb/Ba ( $0.1-0.2$ ) указывают на то, что исследуемые породы имеют сходство с гранитами, формировавшихся при

плавлении метамагматических ( $Rb/Sr = 0.11-0.19$ ,  $Rb/Ba = 0.09-0.16$  (Simon et al. 2017), а не метapelитовых источников ( $Rb/Sr \sim 4$ ,  $Rb/Ba \sim 1$  (Paul et al. 2014). По экспериментальным данным биотит полностью исчерпывается при дегидратационном плавлении тоналит-гранодиоритовых и граувакковых субстратов при температурах более или равным  $850-900^{\circ}C$  в условиях низкого давления (4–6 кбар) (Vielzeuf, Montel, 1994; Bogaerts, Scaillet, Vander Auwera, 2006;). Положение точек валового состава гранитов на диаграммах разделения гранитов по источникам расплава (Laurent et al., 2014) (рис. 3.5 а) указывает на тоналитовый и метаосадочный источник для формирования расплава. На диаграмме, основанной на экспериментальных данных (рис. 3.5 б), большинство точек попадает в поле парциальных выплавов из метаграувакковых источников.

Многоактное плавление различных источников маловероятно в силу единых петрохимических трендов и однофазного строения массива. Последнее наблюдение, наряду со снижением концентраций РЗЭ при росте кремнекислотности пород, не позволяет рассматривать процесс последовательного плавления одного источника в качестве определяющего разнообразие составов гранитов.

Таким образом, наблюдаемые петрохимические тренды отвечают модели кристаллизации расплава, образовавшегося при плавлении смешанного источника, с фракционированием амфибола, биотита и плагиоклаза. Обоеднение легкими и тяжелыми РЗЭ по мере увеличения кремнекислотности пород указывает на то, что при фракционной кристаллизации происходило удаление значительного количества акцессорных фаз, таких как монацит (LREE) и ксенотим (HREE). Поскольку Матутский гранитный массив не является продуктом консолидации магматической камеры, то необходимо предполагать фракционирование в ходе перемещения магмы и/или ее внедрения.

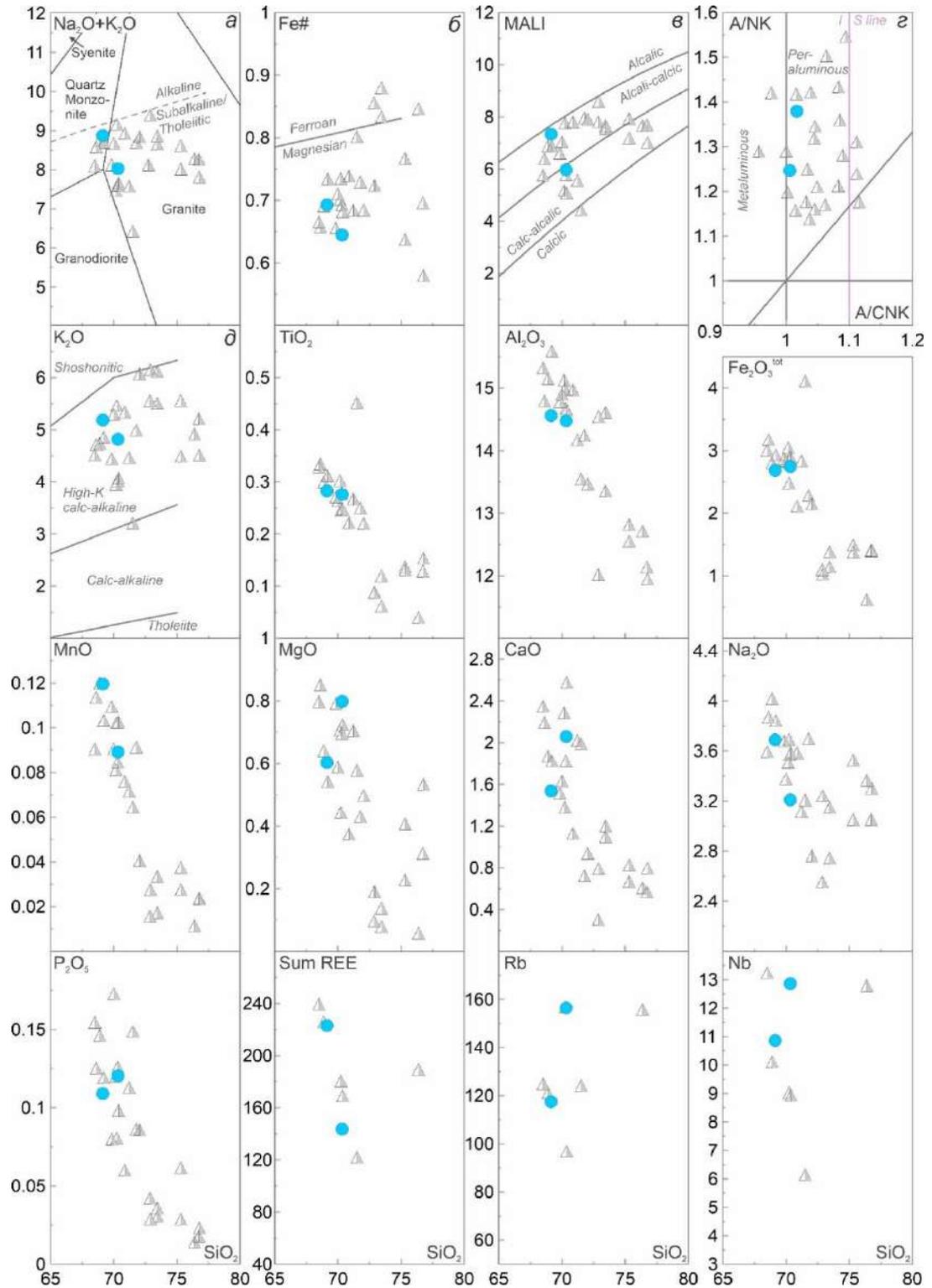


Рисунок 3.3. Классификационные и вариационные диаграммы для гранитов Матутского массива (кругами показаны анализы проб реперных точек КТ-1070, КТ-1324). а –  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  -  $\text{SiO}_2$  (Middlemost, 1994); б –  $\text{FeO}^{\text{tot}}/(\text{FeO}^{\text{tot}}+\text{MgO})$  -  $\text{SiO}_2$  (Frost et al., 2001); в – MALI -  $\text{SiO}_2$  (Frost et al., 2001); г – A/NK - A/CNK, I-S линия по (Chappell, White, 2001); д–  $\text{K}_2\text{O}$  -  $\text{SiO}_2$  (Peccherillo, Taylor, 1976).

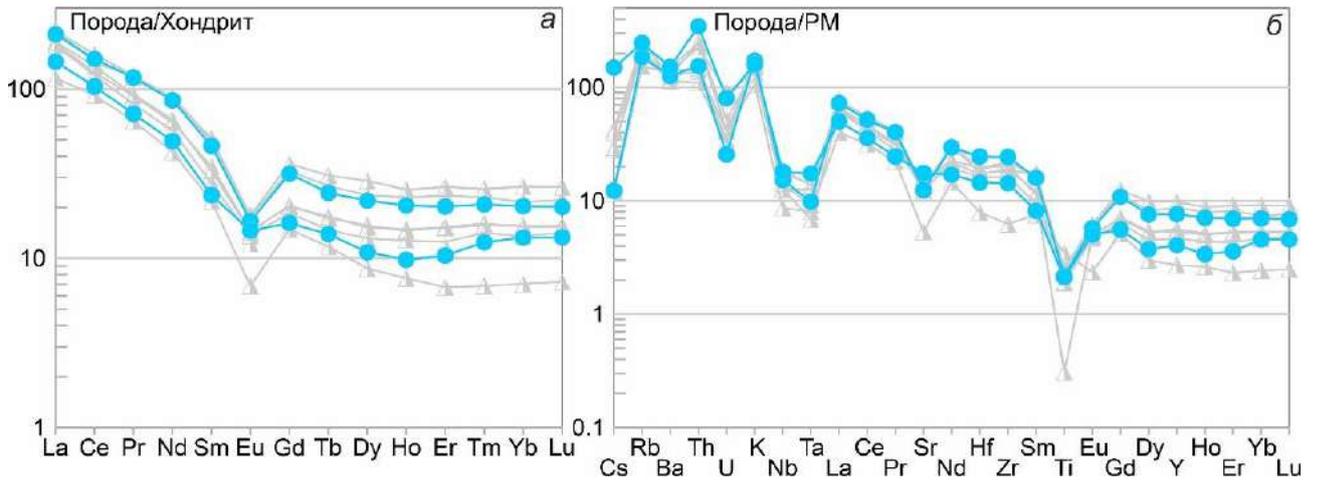


Рисунок 3.4. Нормированные по хондриту кривые распределения редкоземельных элементов (а) и нормированные по примитивной мантии мультиэлементные диаграммы (б) для гранитов Матутского массива (кругами показаны анализы проб рэперных точек КТ-1070, КТ-1324). Данные для хондрита и примитивной мантии по (Sun, McDonough, 1989).

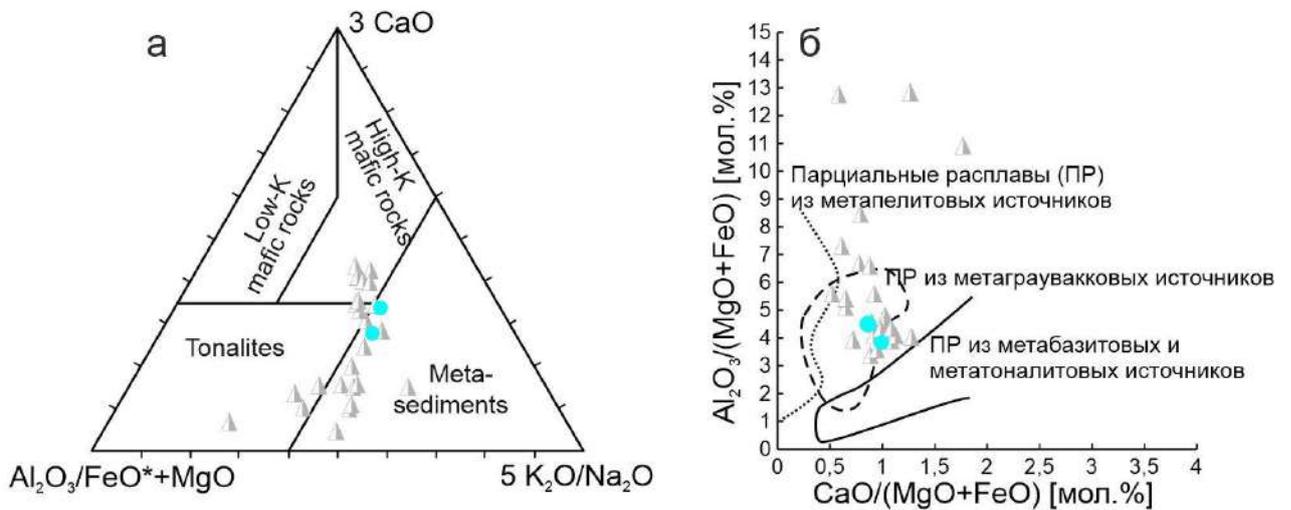


Рисунок 3.5. Диаграммы определения состава протолита для гранитов Матутского массива (кругами показаны анализы проб рэперных точек КТ-1070, КТ-1324). а -  $3\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3/\text{FeO}^* + \text{MgO} - 5\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  (Laurent et al., 2014); б -  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{MgO} + \text{FeO}) - \text{CaO}/(\text{MgO} + \text{FeO})$  (Altherr et al., 2000).

Таблица 3.2. Содержания петрогенных оксидов (мас. %) и редких элементов (г/т) в гранитах Матутского массива и пробах для U-Pb датирования (таблица состав гранитов приведена в таблице Приложения 2).

	<b>Средний состав гранитов (n=26)</b>	<b>Проба КТ1070</b>	<b>Проба КТ1324</b>
SiO <sub>2</sub>	71.77 ± 2.58	70.59	70.33
TiO <sub>2</sub>	0.22 ± 0.10	0.28	0.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.08 ± 1.10	14.66	14.48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>T</sup>	2.26 ± 0.87	2.70	2.74
MnO	0.07 ± 0.04	0.12	0.09
MgO	0.49 ± 0.25	0.61	0.80
CaO	1.41 ± 0.65	1.55	2.06
Na <sub>2</sub> O	3.39 ± 0.37	3.71	3.21
K <sub>2</sub> O	4.93 ± 0.71	5.22	4.82
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.09 ± 0.05	0.11	0.12
LOI	-	0.67	0.24
<b>Total</b>	-	<b>100.23</b>	99.16
-	-	-	-
Rb	-	117	156
Sr	-	262	371
Y	-	34.6	18.5
Zr	-	273	160
Nb	-	10.9	12.8
Cs	-	0.39	4.78
Ba	-	883	1060
La	-	49.8	34.3
Ce	-	92.0	63.3
Pr	-	11.1	6.77
Nd	-	40.0	23.0
Sm	-	7.06	3.61
Eu	-	0.96	0.84
Gd	-	6.48	3.32
Tb	-	0.91	0.52
Dy	-	5.57	2.26
Ho	-	1.16	0.55
Er	-	3.34	1.72
Tm	-	0.53	0.32
Yb	-	3.45	2.25
Lu	-	0.51	0.34
Hf	-	7.59	4.47
Ta	-	0.40	0.71
Th	-	13.1	29.4
U	-	0.54	1.69
<b>La/Yb<sub>N</sub></b>	-	9.73	15.25
<b>Gd/Yb<sub>N</sub></b>	-	1.52	1.47
<b>δEu</b>	-	0.43	0.73

### 3.2. Минглинг дайки участка Тавыт-Даг

В пределах участка Тавыт-Даг изучены комбинированные дайки, прорывающие гранитоиды Матутского массива на расстоянии до 400 метров от его западного контакта (рис. 3.6).

Специфической чертой всех комбинированных даек является наличие минглинг структур течения, формирование которых возможно лишь при сосуществовании кислого и основного расплава. Иными словами, габброиды и граниты изначально должны быть разновозрастными. По цирконам как габброидов, так и гранитов комбинированной дайки ранее получен возраст 495 млн лет (Бурмакина и др., 2016; Цыганков и др., 2019; Владимиров и др., 2017). По данным (Цыганкова и др., 2019) калиевая часть дайки Тавыт-Даг образована из продуктов парциального плавления эрзинских гнейсогранитов, т.е. пород вмещающих Матутский гранитоидный массив. Однако, как показано было раньше (Владимиров и др., 2017), спецификой минглинг даек участка Тавыт-Даг является то, что источником кислого расплава комбинированной дайки служат реоморфированные граниты Матутского массива (Владимиров и др., 2017) (рис. 3.7). Иными словами, в пределах участка Тавыт-Даг можно проанализировать термальное воздействие на гранитоиды Матутского массива, достигающие уровня плавления пород.

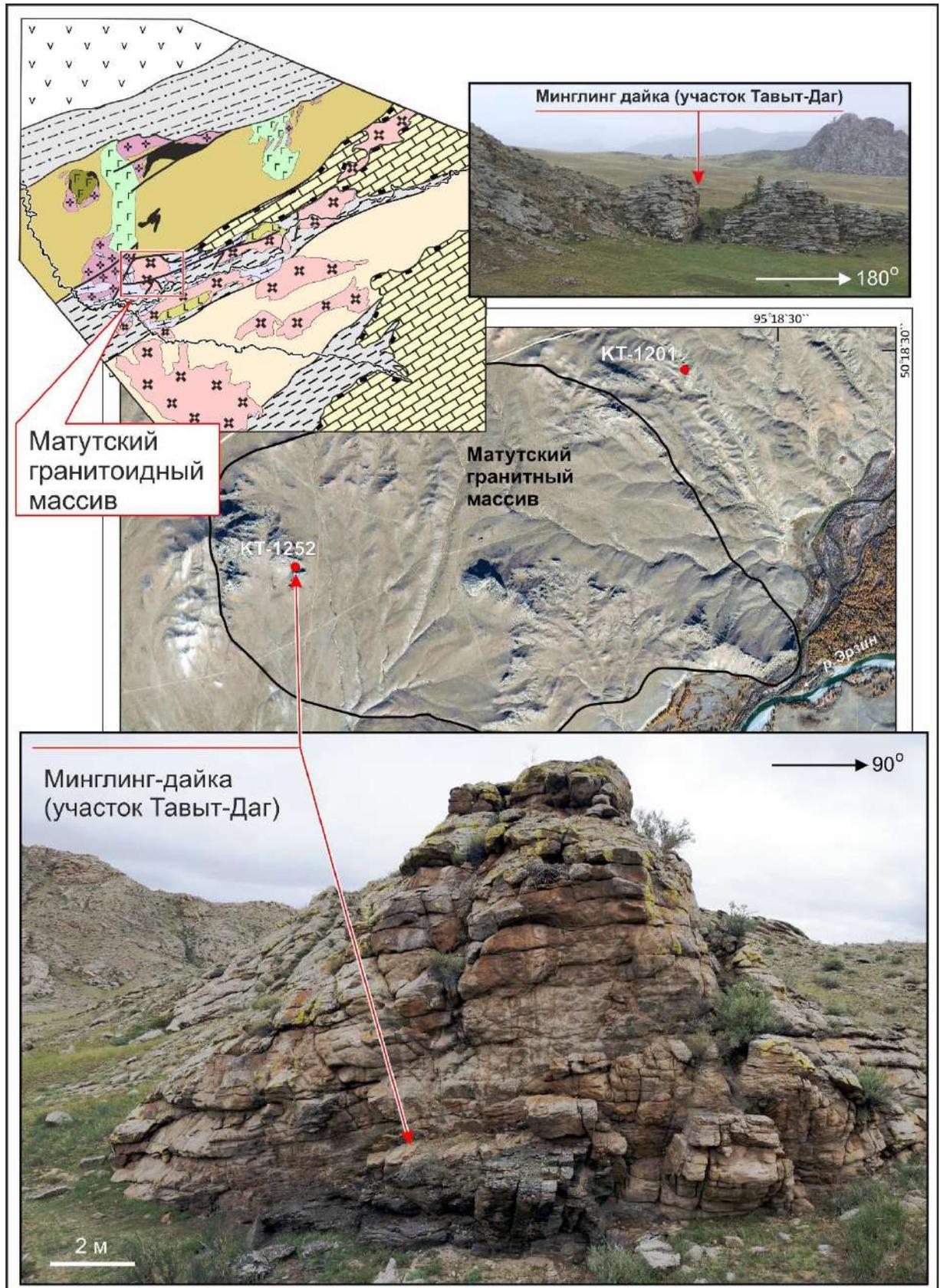


Рисунок 3.6. Геологическое положение минглинг дайки участка Тавыт-Даг (по (Владимиров и др., 2017) с изменениями).

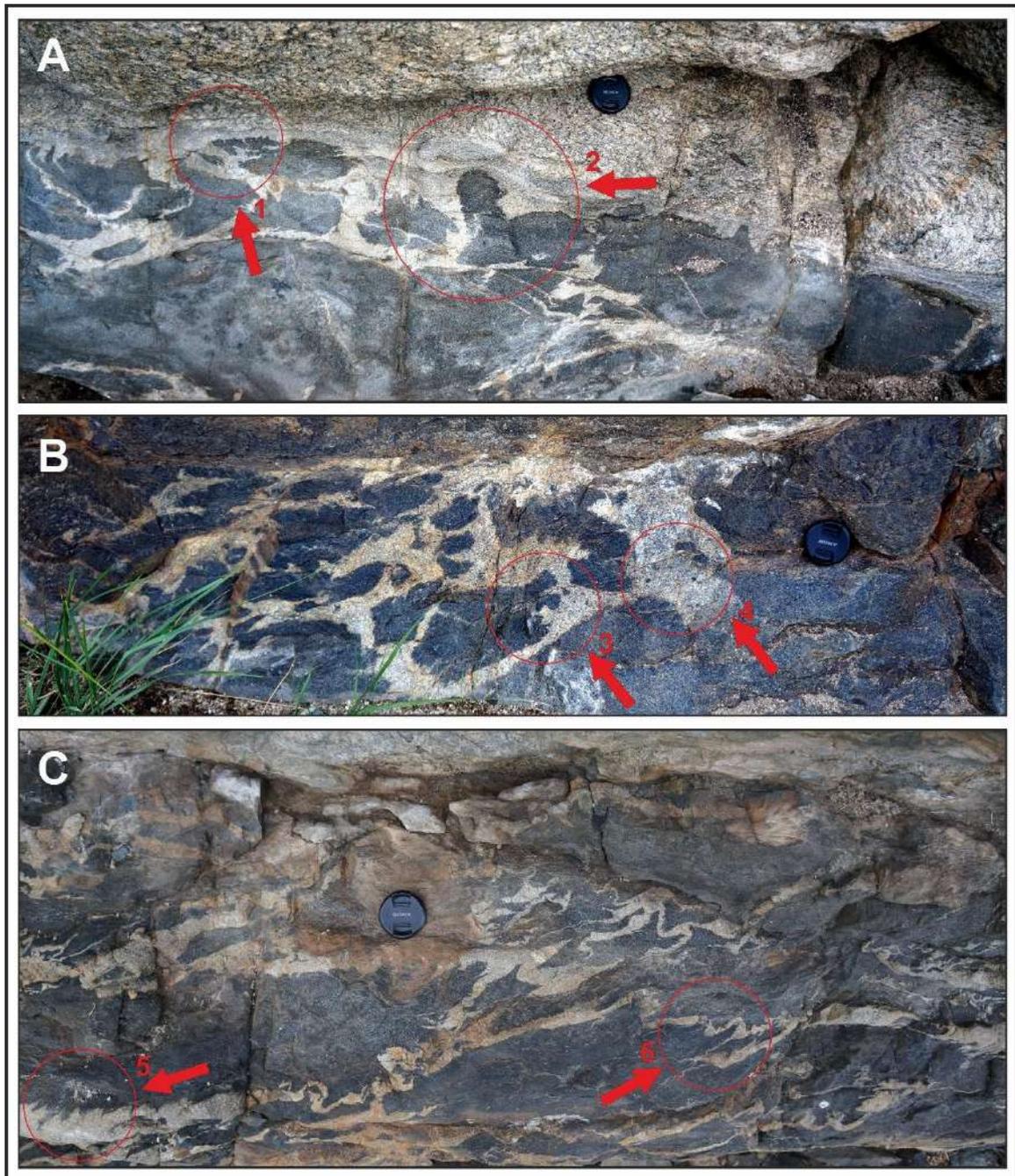


Рисунок 3.7. Структуры магматического минглинга в комбинированной дайке участка Тавыт-Даг (Владимиров и др., 2017). А.1 – контакт базитового тела, приобретающий перистый конформный характер, контакту с гранитами Матутского массива; А.2 – элемент всплывания или выдавливания основного расплава в механической смеси; В.3-В.4 – фрагментация базитовых фрагментов с пассивным заполнением пространства кислым расплавом; С.5 – пламенеvidный характер контакта контрастных расплавов; С.6 – признаки волочения и течения, указывающие на продолжающиеся деформации.

### 3.3. Гранитоиды ухадагского комплекса участка Восточный

В пределах участка Восточный проведено изучение гранитоидов ухадагского комплекса, ассоциирующих с габбро-гранитными минглинг дайками восточного контакта Матутского гранитного массива.

Гранитоиды ухадагского комплекса типичны для Западного Сангилен. Их возраст отвечает рубежу 485 млн лет (Кармышева и др., 2022). В пределах участка Восточный граниты ухадагского комплекса «запечатывают» область растяжения, оказывая тепловое воздействие на вмещающие метаморфические породы и породы комбинированной дайки, аналогичные предыдущим участкам.

Данный объект интересен тем, что здесь мы можем ожидать весь диапазон возрастных рубежей эволюции Эрзинской сдвиговой зоны.

Оба опорных участка объединяет сходная геологическая ситуация – нижне-среднекоровые условия и проницаемые тектонические зоны, к которым приурочено внедрение кислых и базитовых расплавов.

Таким образом, имеющийся геологический материал позволяет провести комплексное изучение как гранитоидов Матутского массива, так и магматических тел, оказывающих локальные поздние тепловые и/или деформационные воздействия, что будет служить основанием для последующих изотопно-геохронологических исследований (U/Pb,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ).

## **ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕТРОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ (U/Pb ДАТИРОВАНИЕ ЦИРКОНА, Ar-Ar ДАТИРОВАНИЕ БИОТИТА) ГРАНИТОИДОВ МАТУТСКОГО МАССИВА**

### **4.1 Выбор места отбора проб из гранитов Матутского массива**

Матутский гранитный массив, располагаясь в пределах Эрзинской тектонической зоны, отражает в себе длительную историю ее эволюции (Владимиров и др., 2005). Современная морфология гранитного массива отвечает гарполиту с корневой частью на востоке тела. Серповидная часть магматического тела полого протягивается на запад. Высота серповидной части тела от подошвы (1150 м) до ее кровли (1250 м) не превышает 100 м. Конформное залегание гранитов с вмещающими гнейсами, гранитогнейсами и автохтонными гранитными жилами эрзинского метаморфического комплекса, признаки магматического течения указывает на автохтонный, либо параавтохтонный характер Матутских гранитоидов с признаками наложенных тектоно-термальных событий. В совокупности это существенно осложняет выбор места отбора проб для изотопно-геохронологических исследований. В связи с этим была отобрана серия проб. Среди них были выбраны две наиболее представительные пробы, являющиеся типичными как по петрогеохимическим (см. таблица 3.2, таблица в Приложении 2), так и по петрографическим характеристикам (характерный минеральный состав –  $Qz+Kfs+Pl+Vt+Nbl$ ).

Первая проба (КТ-1324) отобрана на западе массива в серповидной части гарполита примерно в 500 метрах от контакта. Вторая проба (КТ-1070) взята на востоке массива в корневой части тела примерно в 400 метрах от контакта. Дополнительно отобрана проба КТ-1256 на участке Бумбаты. Данная проба является контрольной и характеризует граниты Матутского массива с явными признаками магматического течения в скальном обнажении. Географические привязки точек отбора проб приведены в таблице 4.1 и на рисунке 4.1.

Таблица 4.1. Точки отбора проб из гранитов Матутского массива (U/Pb, циркон)

№	Участок	Номера точек	Номера проб	Долгота	Широта
1	Северо-Западный	КТ-1324	КТ-1324	95.26992	50.29663
2	Бумбаты	КТ-1256	КТ-1256	95.28432	50.29573
3	Центральный	КТ-1070	КТ-1070	95.30328	50.29257

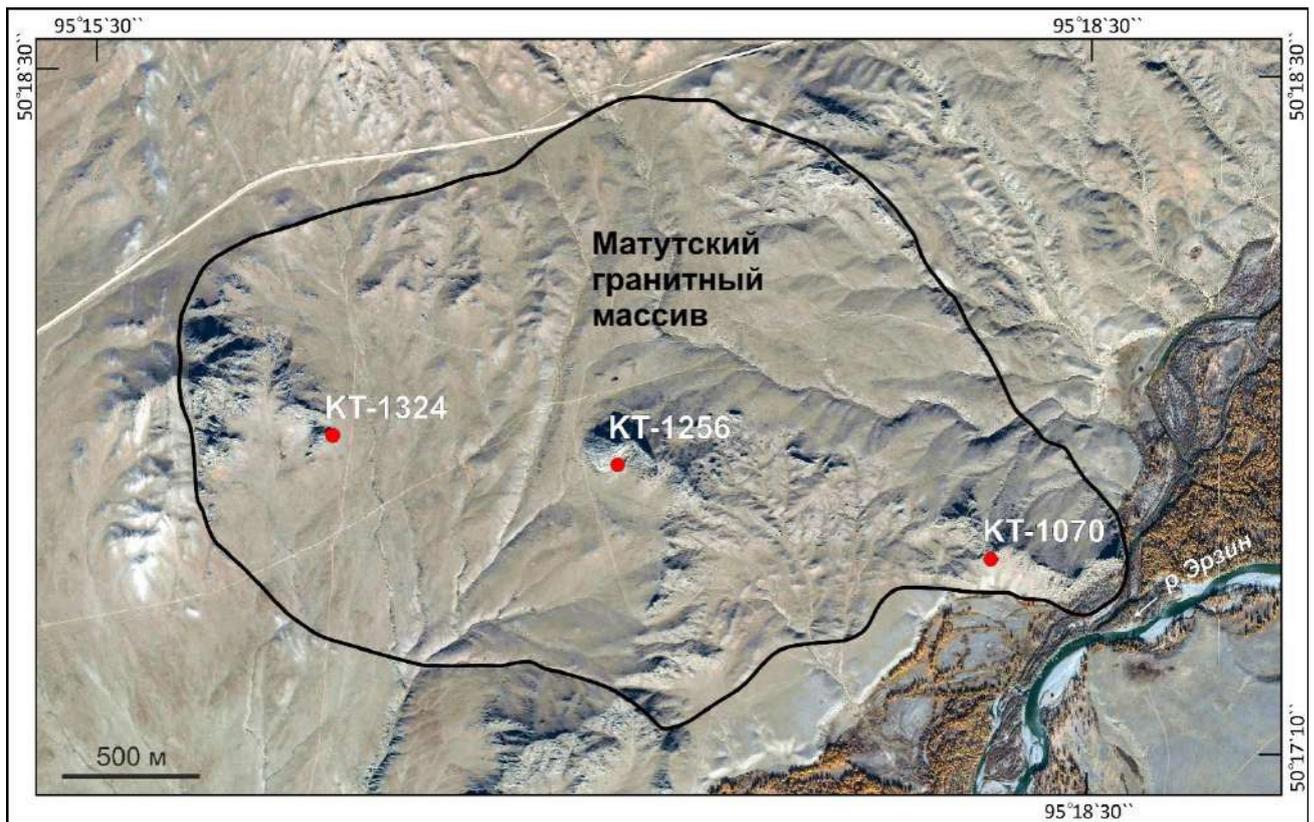


Рисунок 4.1. Точки отбора проб из гранитов Матутского массива (U/Pb датирование циркона). Географические привязки точек проб приведены в таблице 4.1.

## **4.2. U-Pb датирование циркона из гранитов Матутского массива (участок Северо-Западный, проба КТ-1324)**

Проба КТ-1324 отобрана в скальном обнажении гранитов Матутского массива на Северо-Западном участке в 500 метрах от контакта (рис. 4.1, 4.2, таблица 4.1). Непосредственно в скальном обнажении породы плотные полосчатые с вкрапленниками полевого шпата. На микроуровне структуры — полнокристаллические, порфировидные, гипидиоморфнозернистые гранитовые (рис. 4.2).

Существует комплекс признаков, указывающих на наложенные деформации в среднетемпературном диапазоне:

1. В породе отчетливо видна директивность, обусловленная: ориентировкой вытянутых скоплений вкрапленников Kfs; чередованием линейных зон концентрирования деформаций (Kfs, Pl, Qz) и вытянутых фрагментов с гипидиоморфнозернистыми структурами и практически полным отсутствием признаков деформирования; область растяжения жильного типа (преимущественно Qz состава) (рис. 4.3).

2. Концентрация стяжений мирмекита в зонах разрушения и на границах вкрапленников Kfs (рис. 4.4, 4.5).

3. Концентрация стяжений мирмекита и гранобластового (рекристаллизация, частичное плавление?) агрегата Qz-Pl-Bt-Kfs состава в зоне пониженного давления за вкрапленником Kfs (рис. 4.4).

4. Концентрация стяжений мирмекита и гранобластового (рекристаллизация, частичное плавление?) агрегата Qz-Pl-Bt-Kfs состава в межзерновом пространстве (рис. 4.6).

5. Рекристаллизация и/или частичное плавление могли охватить существенный объем породы. На рисунке 4.3 Б видно появление Qz-Fsp жилы, конформной ориентировке зон локализации деформаций и вытянутых фрагментов слабо деформированных агрегатов. При этом меланократовый материал (Bt, Hbl), приуроченный к зонам деформирования, может быть рекристаллизованным.



Рисунок 4.2. Место отбора пробы КТ-1324 из гранитов Матутского массива (Северо-Западный участок). Географические привязки места отбора пробы приведены в таблице 4.1. Скальное обнажение (вверху), пластинки гранитов (слева внизу) и микрофотография петрографического шлифа в скрещенных николях (справа внизу).

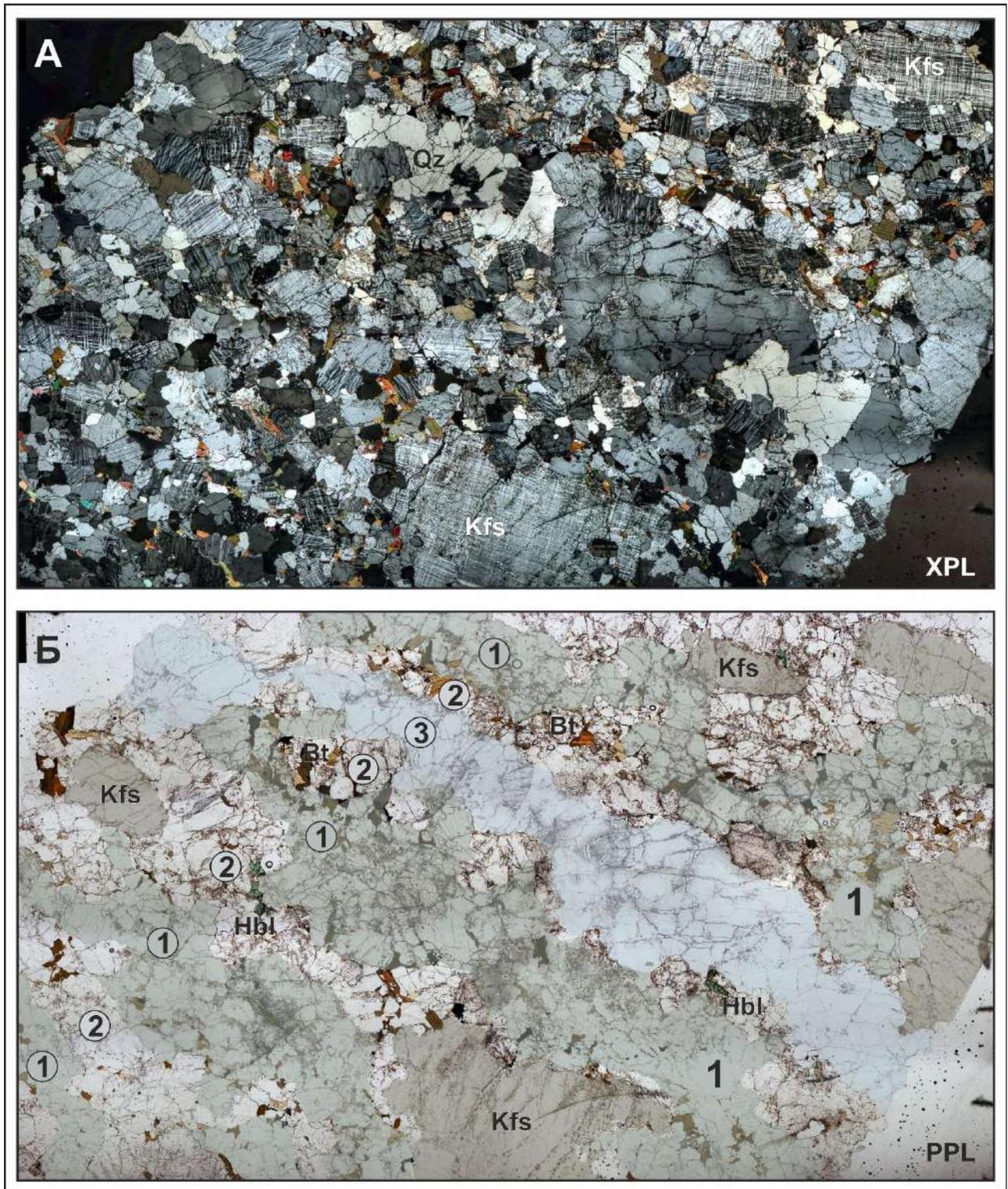


Рисунок 4.3. Проба КТ-1324 из гранитов Матутского массива (Северо-Западный участок). Микрофотография петрографического шлифа в скрещенных николях (А) и в проходящем свете (Б). Номера в окружностях: 1 - фрагменты слабо деформированных агрегатов породы; 2 - зоны концентрации деформаций; 3 - жильная зона преимущественно кварцевого состава.

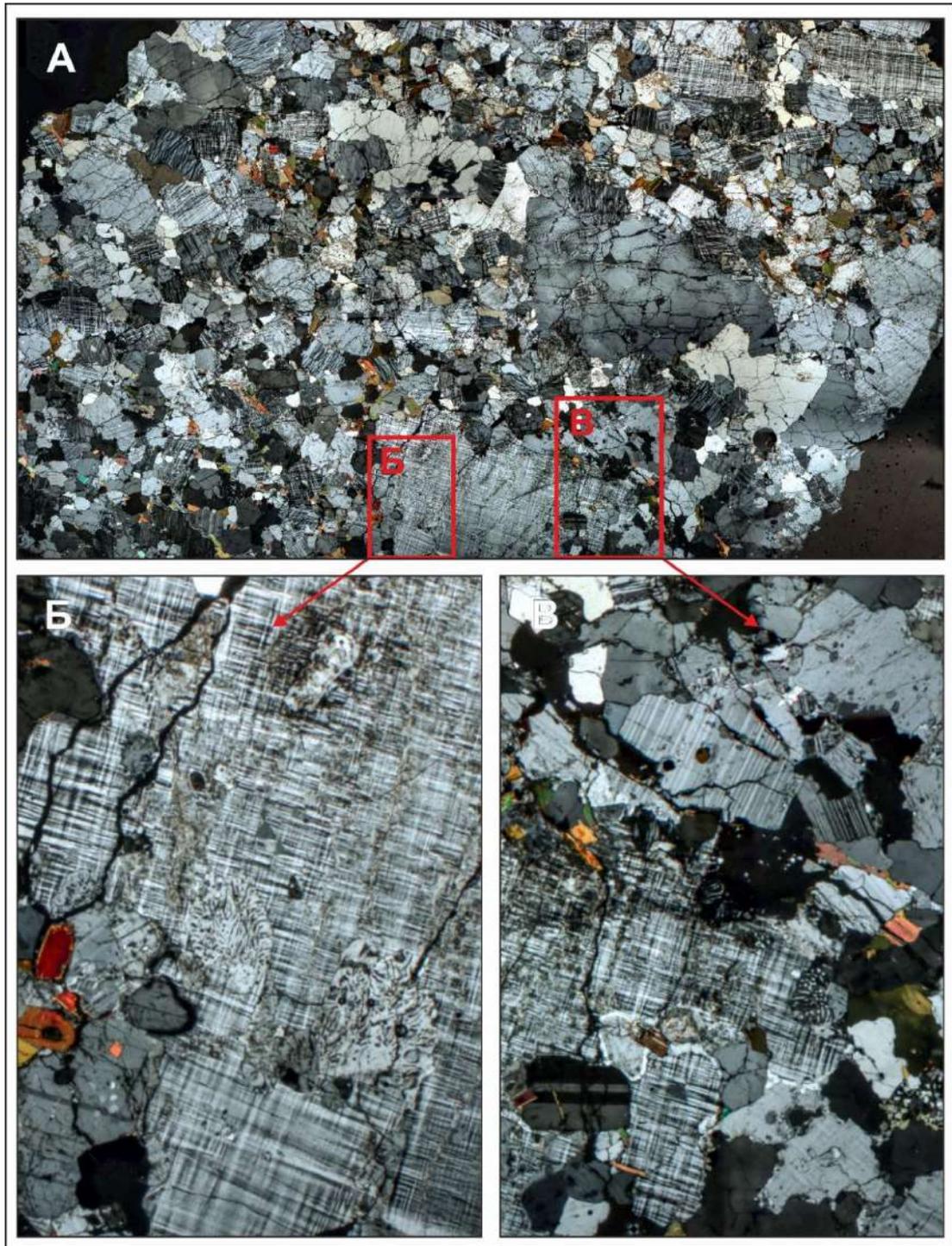


Рисунок 4.4. Проба КТ-1324 из гранитов Матутского массива (Северо-Западный участок). А. Микрофотография петрографического шлифа в скрещенных николях. Б. Концентрация стяжений мирмекита в зонах разрушения вкрапленника Kfs. В. Концентрация стяжений мирмекита и гранобластового (рекристаллизация, частичное плавление?) агрегата Qz-Pl-Bt-Kfs состава в зоне пониженного давления за вкрапленником Kfs.

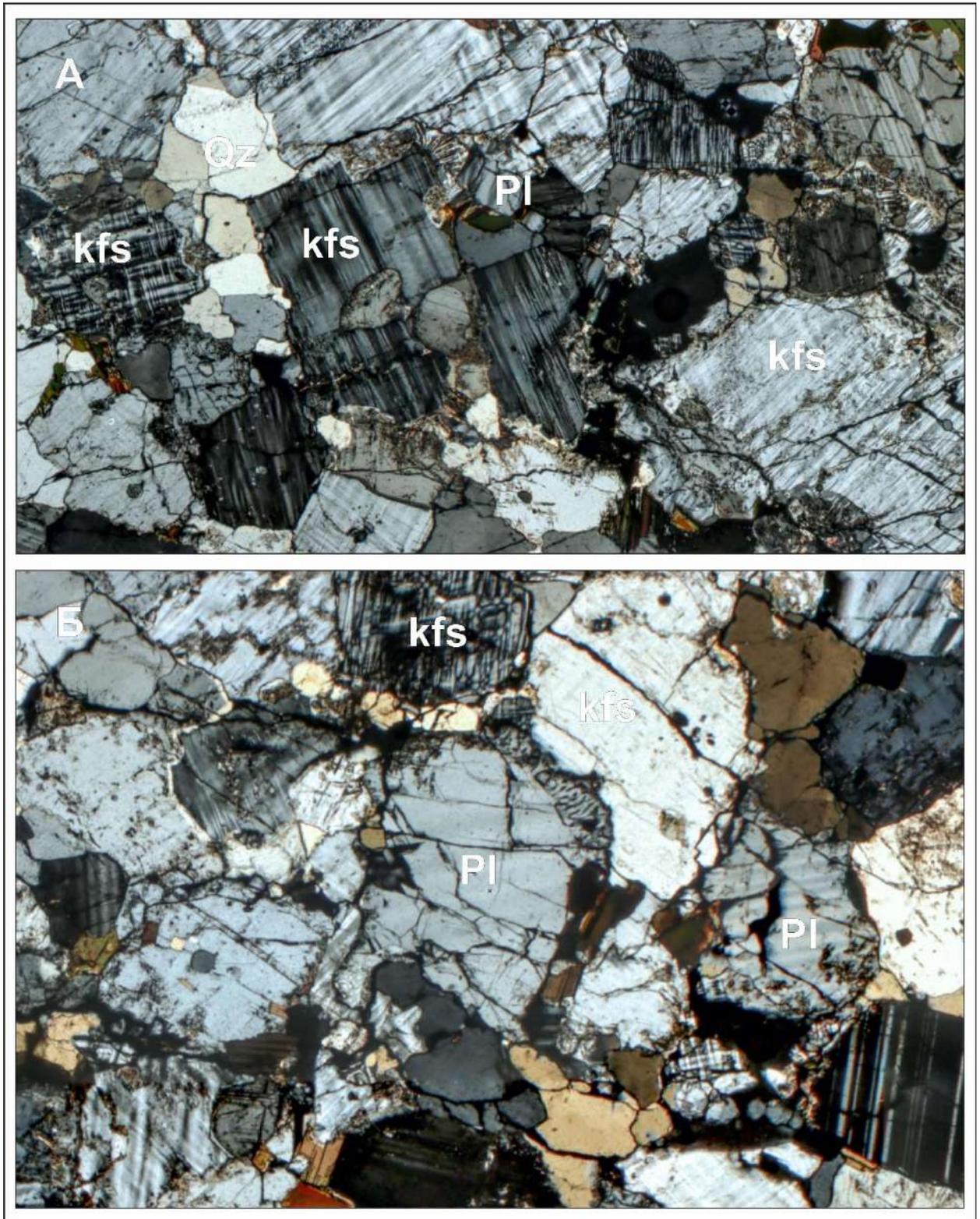


Рисунок 4.5. Проба КТ-1324 из гранитов Матутского массива (Северо-Западный участок). Микрофотография петрографического шлифа в скрещенных николях. А-Б. Концентрация стяжений мirmekита и гранобластового (рекристаллизация, частичное плавление?) агрегата Qz-Pl-Bt-Kfs состава в межзерновом пространстве.

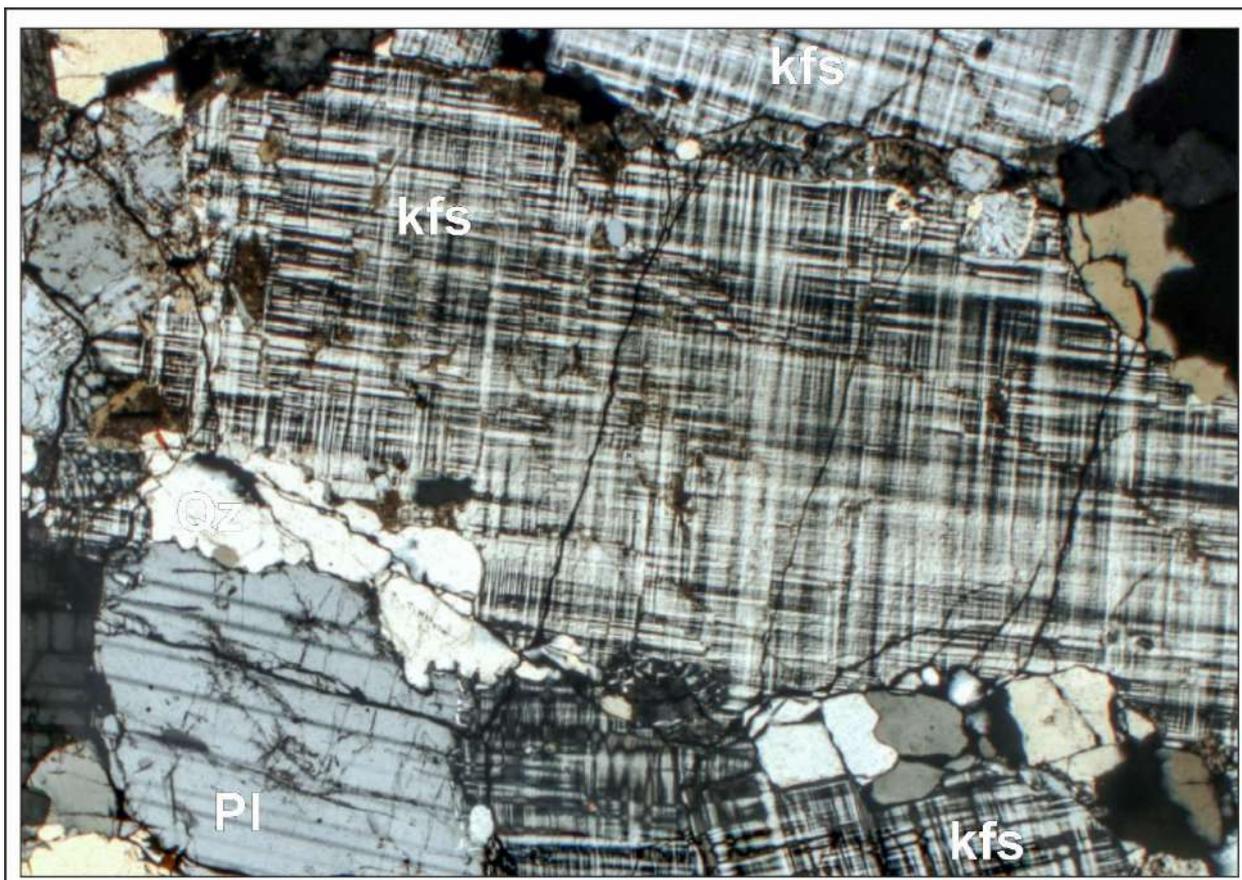


Рисунок 4.6. Проба КТ-1324 из гранитов Матутского массива (Северо-Западный участок). Микрофотография петрографического шлифа в скрещенных николях. Концентрация стяжений мирмекита и гранобластового (рекристаллизация, частичное плавление?) агрегата Qz-Pl-Bt-Kfs состава в межзерновом пространстве.

#### *Характеристика цирконов пробы КТ-1324*

Кристаллы циркона пробы КТ-1324 прозрачные идиоморфные призматического и короткопризматического габитуса ( $Kудл = 2.0-3.0$ ). Исследование кристаллов катодлюминесцентным методом показало, что цирконы характеризуются ярко выраженной осцилляторной зональностью (рис. 4.7), что указывает на их магматическое происхождение. В отдельных зернах присутствуют реликты метамиктизированных ядер. Для большинства исследованных зерен характерно обрастание темной в катодлюминесценции (КЛ) каймой, размеры которой варьируют от нескольких мкм до 35 мкм. Границы центральной части

циркона (с ростовой зональностью) размыты, «подплавлены» и нередко отделены от внешней темной каймы тонкой полоской, светлой в КЛ (см. например цирконы с точками #9, #12, #20 на рис. 4.7).

Признаки «подплавления» центральных частей большинства монокристаллов и появление светлых промежуточных кайм (рис. 4.7.) можно интерпретировать как частичную рекристаллизацию исходного циркона перед обрастанием каймой.

Обрастание зерен, претерпевших частичную рекристаллизацию, темной каймой без признаков осцилляторной зональности может говорить о смене условий кристаллизации цирконов и, вероятно, наложенными термальными процессами. Исходя из существующих различий, было проведено изучение отдельно центральных частей цирконов и их внешних кайм.

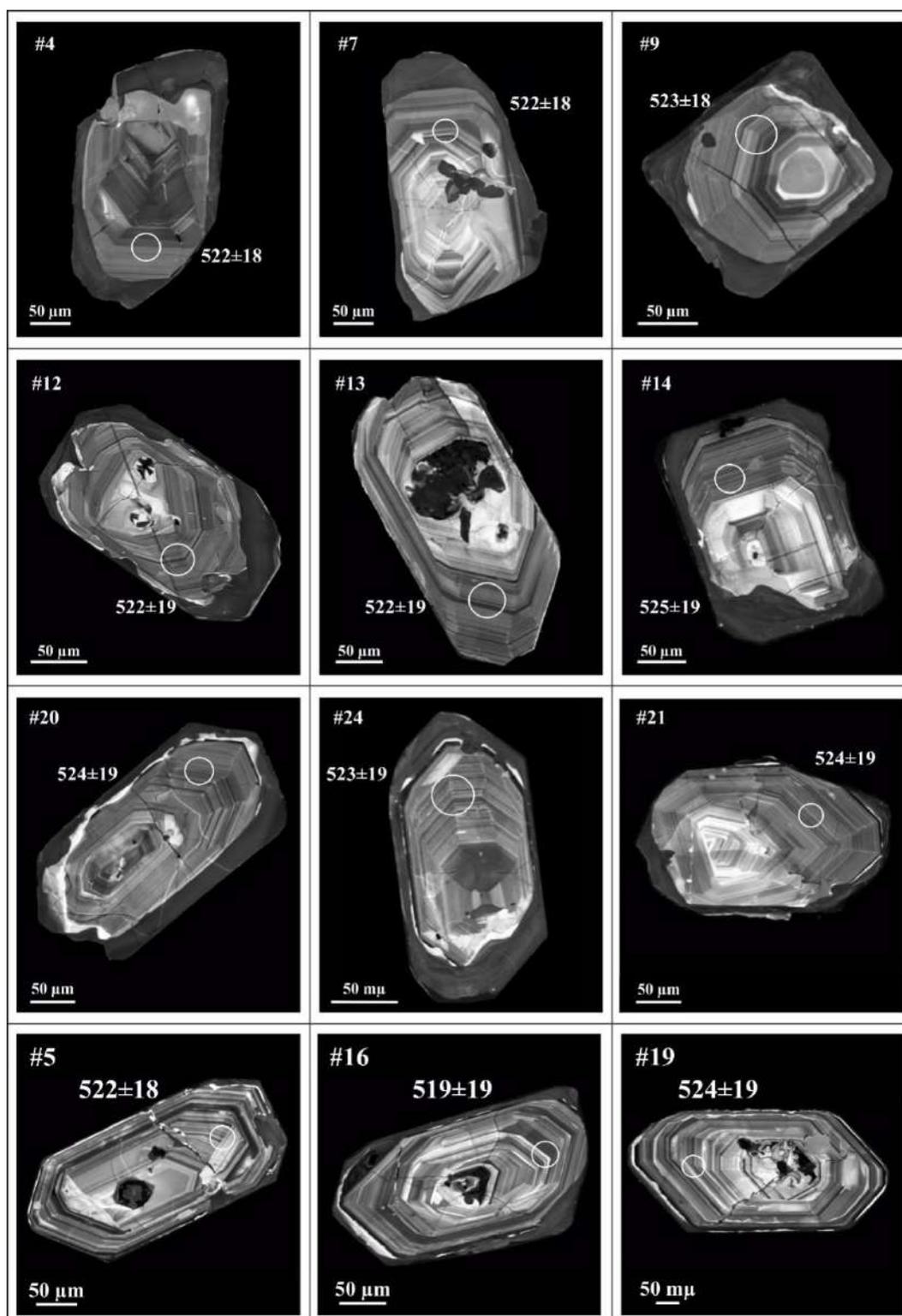


Рисунок 4.7. Катодоллюминесцентные изображения и результаты датирования внутренних зон представительных зерен циркона из гранитов Матутского массива (участок Северо-Западный, проба КТ-1324). Номера точек анализа с  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возрастом соответствуют таковым в Приложении 4. Погрешность результатов приведена на уровне  $2\sigma$ .

*Рентгеноспектральный микроанализ центральных частей цирконов с осцилляторной зональностью*

По результатам микрорентгеноспектрального анализа (таблица в Приложении 3) центральные части цирконов с осцилляторной зональностью характеризуются составом, стехиометричным цирконовому (средний состав основных элементов (в пересчете на оксиды) составляет  $ZrO_2 = 64.72$  мас.%,  $SiO_2 = 32.17$  мас.%). Из элементов-примесей фиксируются только типичные для циркона – Y (до 0.41 мас.%), Hf (до 3.04 мас.%), Th (до 0.12 мас.%), U (до 0.23 мас.%), P (до 0.14 мас.%), Yb (до 0.13 мас.%).

Для установления возраста цирконов были продатированы участки с ростовой зональностью без видимых дефектов поверхности (диаметр лазерного луча составлял 35 мкм). Точки лазерного отбора указаны на рисунке 4.7. Результаты U-Pb датирования приведены в таблице Приложения 4. Проанализированные цирконы характеризуются содержаниями  $^{206}Pb$  (27-119 г/т), U (361-1743 г/т) и значениями Th/U, варьирующими в диапазоне 0.43-0.87, за исключением единичных анализов, для которых были получены высокие значения до 1.28. Согласно полученным геохронологическим данным цирконы из гранита образца КТ-1324 имеют возраст  $524 \pm 3$  млн лет (СКВО = 2.9,  $n = 25$ ) (рис. 4.8). Учитывая магматическую природу исследуемых цирконов, можно принять полученную оценку возраста за возраст становления Матутского гранитоидного массива.

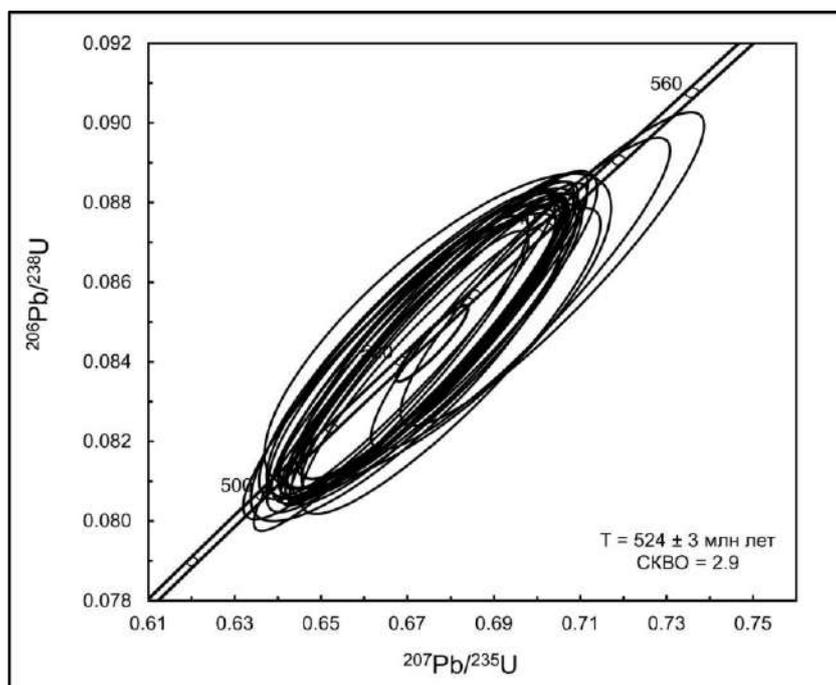


Рисунок 4.8. Диаграмма с конкордией для цирконов из гранитов Матутского массива, участок Северо-Западный (образец КТ-1324). Эллипсы и значения U-Pb возраста соответствуют  $2\sigma$ , включая погрешность констант распада.

*Рентгеноспектральный микроанализ темных кайм цирконов без признаков зональности*

Химический состав темных кайм также стехиометричен цирконовому по основным элементам ( $ZrO_2 = 64.80$  мас.%,  $SiO_2 = 32.26$  мас.%) (таблица в Приложении 3). Среди примесных элементов также определяются типичные для циркона: Y (до 0.14 мас.%), Hf (до 3.11 мас.%), Th (до 0.07 мас.%), U (до 0.27 мас.%), P (до 0.20 мас.%), Yb (до 0.06 мас.%). Содержания остальных примесных элементов находятся на уровне предела обнаружения анализа.

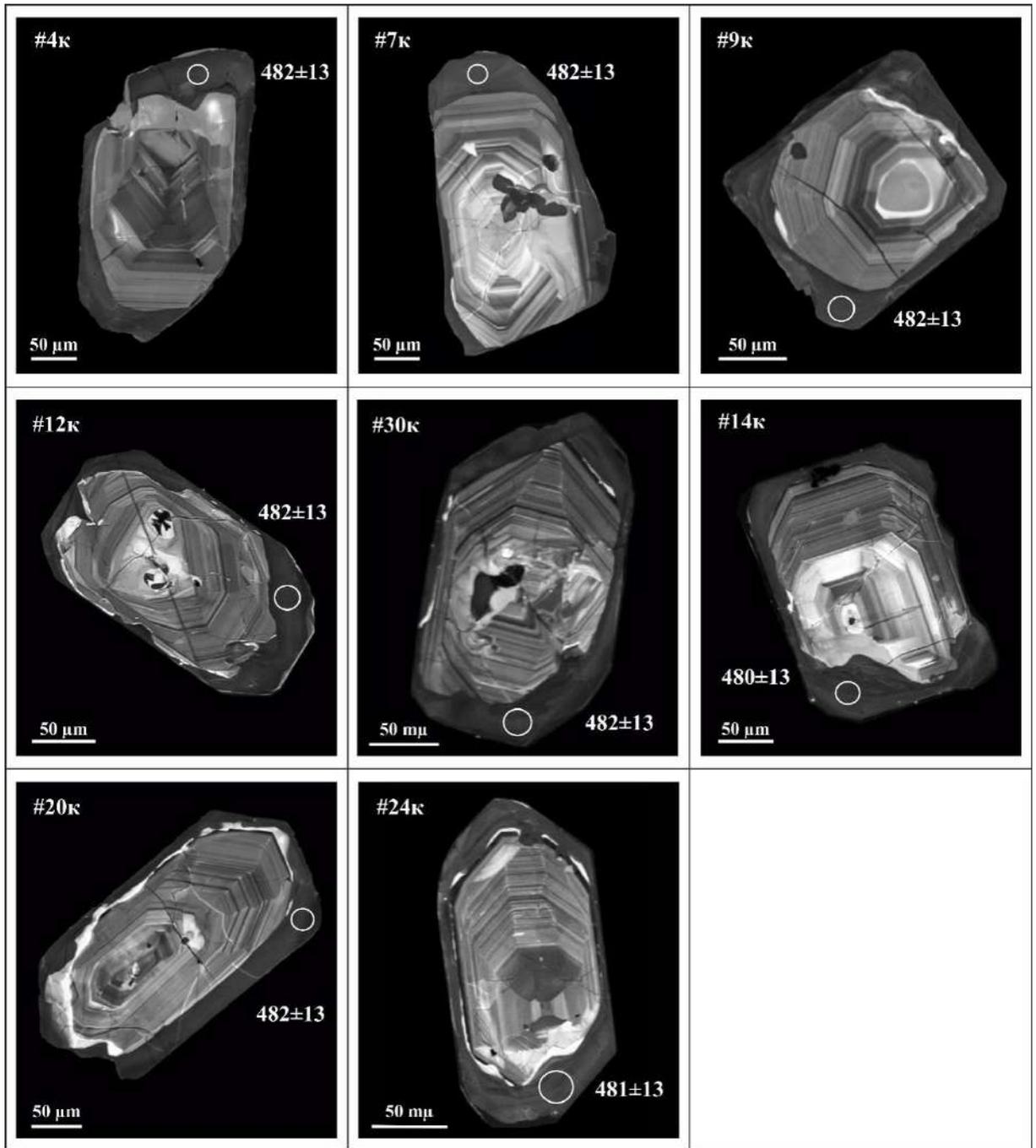


Рисунок 4.9. Катодолуминесцентные изображения и результаты U-Pb датирования внешних оторочек представительных зерен циркона из гранитов Матутского массива (участок Северо-Западный, проба КТ-1324). Номера точек анализа с  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возрастом соответствуют таковым в таблице Приложения 4. Погрешность результатов приведена на уровне  $2\sigma$ .

Для проведения U-Pb датирования темных кайм в анализируемых цирконах и для точного лазерного отбора материала был использован диаметр луча 20 мкм.

Результаты U-Pb датирования приведены в таблице Приложения 4. Пробоотбор осуществлялся на участках, где размеры темной каймы составляли не менее 30 мкм (рис. 4.9). По результатам исследований темная кайма цирконов характеризуется следующими содержаниями:  $^{206}\text{Pb}$  (193-336 г/т), U (2625-4602 г/т), Th/U (0.05-0.14). Содержания свинца и урана значительно выше соответствующих содержаний в участках с ростовой зональностью. Значение Th/U отношений также заметно отличаются и находятся в диапазоне значений, которые характерны для метаморфических цирконов (Hoskin, Schaltegger, 2003; Rubbato, 2000; 2017). Возраст темной каймы цирконов составил  $481 \pm 3$  млн лет (СКВО = 0.62, n = 14) (рис. 4.10).

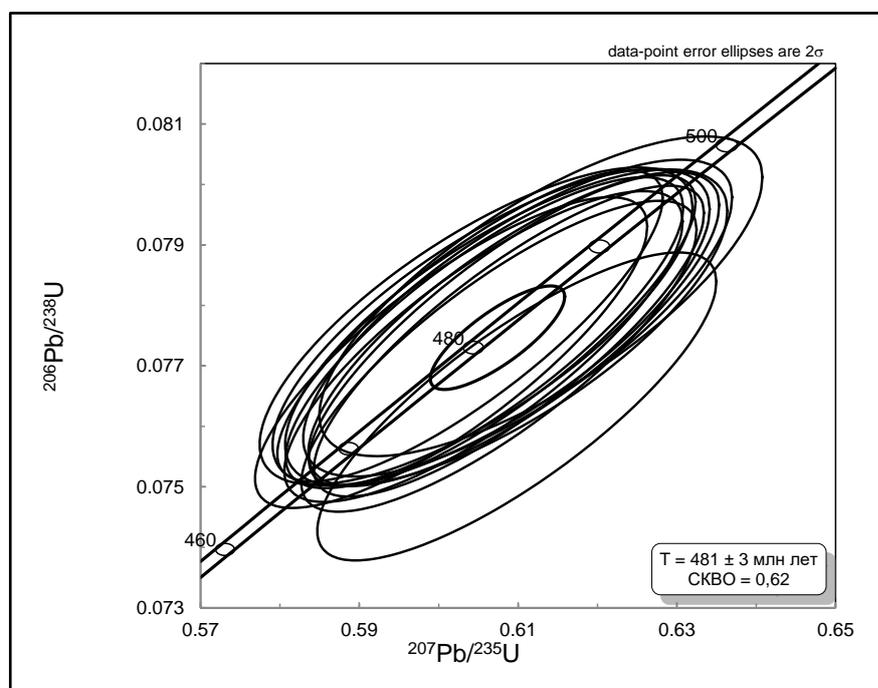


Рисунок 4.10. Диаграмма с конкордией для цирконов из гранитов Матутского массива, участок Северо-Западный (образец КТ-1324, темная кайма). Эллипсы и значения U-Pb возраста соответствуют  $2\sigma$ , включая погрешность констант распада.

#### *Состав редких элементов в цирконах*

Редкоэлементный состав циркона пробы КТ-1324 был изучен в 9 зернах, включая центральные участки с ростовой зональностью и темную кайму (табл. 4.2, рис. 4.11). По результатам исследования циркон с ростовой зональностью

характеризуется дифференцированным спектром распределения от легких к тяжелым РЗЭ ( $(Yb/Gd)_N = 16-90$ ,  $(Yb/La)_N = 509-1694$ ) (рис. 4.11а, табл. 4.2). Наблюдается четко выраженная положительная Се-аномалия ( $Se/Se^* = 17-43.28$ ) и отрицательная Еu-аномалия ( $Eu/Eu^* = 0.20-0.61$ ), что свойственно для циркона магматического происхождения (Hoskin, Schaltegger, 2003). Содержание тяжелых РЗЭ находится в пределах 547-1630 г/т, содержание Y достигает 1871 г/т. Концентрации примесных элементов, в т.ч. Sr и Ba низки (Sr – 0.9 г/т, Ba - 0.4-0.6 г/т). Содержания Th и U варьируют в диапазонах 128-570 и 200-743 г/т, соответственно. При этом Th/U отношение составляет 0.63-0.94, что характерно для магматического циркона (Belousova et al., 2002; Hoskin, Schaltegger, 2003). В единичных измерениях получены высокие значения Th/U отношения, достигающие значений 1.61. Содержание Ti составляет 7.5-15.6 г/т. Температура образования циркона с ростовой зональностью по Ti-термометру составляет 752-760°C (табл. 4.2) (Watson et al., 2006).

Спектры нормированных к хондритовым содержаниям РЗЭ в темных каймах цирконов также показывают резкий рост концентрации тяжелых РЗЭ ( $(Yb/La)_N = 261-540$ ,  $Yb/Gd)_N = 69-89$ ) с сохранением Се-максимума ( $Se/Se^* = 4-8$ ) и Еu-минимума ( $Eu/Eu^* = 0.11$ ), что также характерно для цирконов магматического генезиса (анализы #6, 9 в табл. 4.2 и рис. 4.11 б). Однако следует отметить, что для циркона темной каймы характерно заметное увеличение содержания легких РЗЭ, которое достигает 407 г/т (анализы #7, 8 в табл. 4.2). Спектры распределения РЗЭ также имеют иной характер. Они отличаются выполаживанием или отсутствием Се-аномалии ( $Se/Se^* = 0.4-2$ ) и сохранением Еu-аномалии ( $Eu/Eu^* = 0.16-0.20$ ) по сравнению со спектром распределения РЗЭ в центральной части циркона. По суммарному содержанию РЗЭ явных отличий не наблюдается: РЗЭ до 1373 г/т, Y (826-1055 г/т) при узком диапазоне содержания Yb (511-604 г/т). Содержание несовместимых с цирконом Ba и Sr также повышено относительно центральных участков циркона (Ba = 0.7-6.1 г/т, Sr до 4.7 г/т). Наблюдаемое обогащение легкими РЗЭ, а также Ba, Sr может свидетельствовать о некотором несовершенстве структуры циркона, в результате которого становится возможным вхождение

крупноионных лантаноидов, что согласуется с низкой интенсивностью свечения этих участков в катодолюминесценции. Другим объяснением может быть наличие микровключений в структуре циркона. Однако, в таком случае, регистрируются аномально высокие содержания примесных элементов. Обогащение легкими РЗЭ также может быть свидетельством участия флюида при кристаллизации циркона (например, (Geisler et al. 2003; Hoskin, 2005; Rayner et al., 2005)).

Во всех проанализированных участках содержания Ti заметно выше (14.3-16.2 г/т). Температура образования по Ti-термометру составляет 816-830°C (табл. 4.2). Значение температуры 919°C не учитывалось из-за повышенного содержания Ti (34.1 г/т), что является одним из ограничений применения Ti-термометра и, следовательно, приводит к искажению рассчитанных значений температуры (Fu et al., 2008). Одним из явных различий центральной части циркона и темной каймы является значительное увеличение U (до 2373 г/т) в темной кайме, при низких Th/U значениях (0.10-0.22). Как уже было отмечено ранее, подобные значения Th/U характерны для циркона метаморфического генезиса (Rubatto, 2000).

Часто по значениям Th/U отношений определяют природу циркона. Сообщается, что для метаморфического циркона значения Th/U отношения менее 0.1 (Rubatto, 2000), тогда как для магматического циркона они больше 0.1 и, в среднем, варьируют в диапазоне 0.5-0.8 (например, (Belousova et al. 2002; Grimes et al. 2015)). В магматическом цирконе содержания Th и U отражают дифференциацию состава расплава, что и приводит к характерным вариациям Th/U в цирконе. Другие факторы, влияющие на величину Th/U, включают кристаллизацию и разделение ранних магматических фаз до роста циркона, более экстремальные продукты фракционирования, например, обогащение U в гранитах или пегматитах поздней стадии (Kelly et al., 2008; Appleby et al., 2010) и, что важно, скорость роста и равновесный против неравновесного роста кристаллов (Wang et al., 2011; Kirkland et al., 2015). Согласно полученным данным, можно сделать вывод, что рост циркона темной каймы проходил при смене обстановок кристаллизации из расплавов с высоким содержанием урана (в отличие от циркона центральных участков).

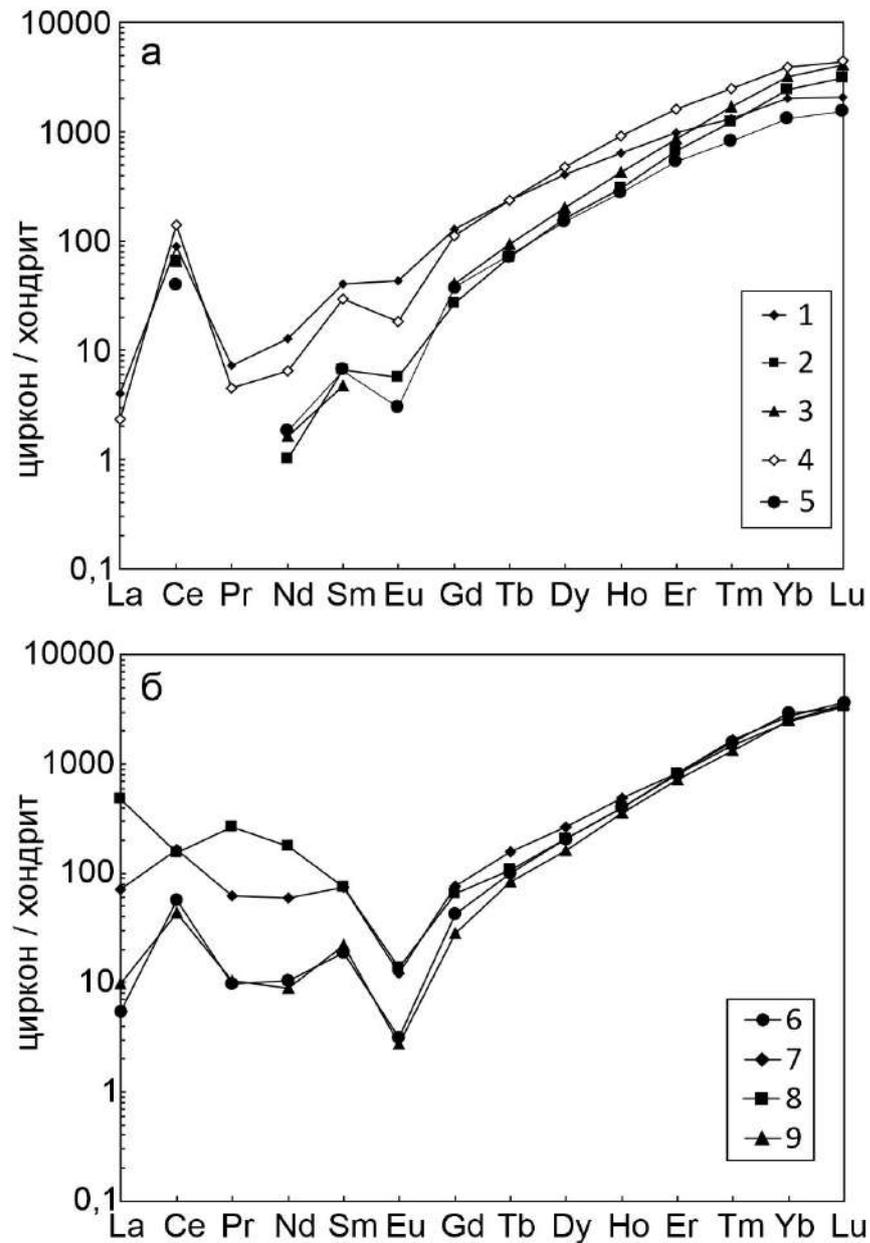


Рисунок 4.11. Спектры распределения РЗЭ в цирконе из гранитов Матутского массива, Северо-Западный участок (проба КТ-1324): а – центральные участки с ростовой зональностью (неизмененный циркон); б – темная кайма циркона. Нумерация точек соответствует номерам точек анализа в таблице 4.2.

Таблица 4.2. Концентрация элементов-примесей в цирконе из гранитов Матутского массива, участок Северо-Западный (проба КТ-1324)

Элемент	ростовая зональность					темная кайма			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
La	1.2	b.d.l.	b.d.l.	0.7	b.d.l.	1.7	22	146	3.0
Ce	72	53	52	112	32	46	132	124	35
Pr	0.9	b.d.l.	b.d.l.	0.5	b.d.l.	1.2	7.6	32.0	1.3
Nd	7.6	0.6	1.0	3.8	1.1	6.2	35.3	105.7	5.3
Sm	7.9	1.3	0.9	5.8	1.2	3.7	14.3	14.5	4.3
Eu	3.2	0.4	b.d.l.	1.3	0.2	0.2	0.9	1.0	0.2
Gd	33.1	7.0	10.5	29.1	9.8	10.9	19.8	16.6	7.3
Tb	11.2	3.4	4.4	11.2	3.5	4.7	7.4	5.1	3.9
Dy	132	52	65	152	49	66	84	67	51
Ho	46	22	30	66	20	28	35	28	25
Er	206	140	180	336	113	173	171	169	151
Tm	43	40	55	81	26	51	53	47	43
Yb	422	509	660	815	278	604	572	511	521
Lu	66	99	132	139	49	104	117	105	111
P	259	144	135	268	154	420	623	484	285
Ti	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	8.2	7.5	14.3	34.1	16.2	14.6
Sr	b.d.l.	b.d.l.	0.9	0.9	b.d.l.	0.8	3.4	4.7	b.d.l.
Y	1249	782	931	1871	593	879	1055	940	826
Nb	2.9	6.2	8.4	13.3	4.0	21.2	31.6	21.2	26.1
Ba	0.5	b.d.l.	0.4	0.6	b.d.l.	0.7	6.1	4.2	0.8
Hf	7239	13869	14327	10524	11880	15093	14284	14850	14585
Th	473	447	505	570	128	232	521	229	202
U	294	714	743	609	200	2027	2373	2050	2008
Th/U	1.61	0.63	0.68	0.94	0.64	0.11	0.22	0.11	0.10
Eu/Eu*	0.61	0.42	n.d.	0.31	0.20	0.11	0.16	0.20	0.11
Ce/Ce*	17	n.d.	n.d.	43	n.d.	8	2	0.4	4
ΣREE	1051	927	1191	1754	582	1100	1270	1373	971
ΣLREE	82	53	53	117	33	55	197	407	44
ΣHREE	958	872	1136	1630	547	1042	1058	950	913
Yb/Gdn	16	90	78	35	36	69	38	35	89
Ybn/Lan	509	n.d.	n.d.	1694	n.d.	540	39	5	261
T	n.d.	n.d.	n.d.	760	752	816	919	830	819

Таким образом, в результате проведенных исследований цирконов из гранитов Матутского массива (Северо-Восточный участок, проба КТ-1324) установлено:

1. Исследование циркона выявило особенности внутреннего строения циркона: центральная часть с сохраненной ростовой зональностью (неизмененный циркон) и внешняя темная кайма без признаков зональности.
2. По данным рентгеноспектрального микроанализа установлен цирконовый состав обеих анализируемых зон циркона.
3. Для центральных частей циркона характерен магматический спектр распределения РЗЭ с выраженными положительной Се-аномалией и отрицательной Eu-аномалией. Содержание примесных элементов относительно низко. Значения Th/U отношений 0.63-0.94 также указывают на магматическую природу цирконов.
4. Установлен U-Pb возраст цирконов (центральной части) из гранитов Матутского массива, который составил  $524 \pm 3$  млн лет.
5. По результатам геохимических и геохронологических исследований темной каймы цирконов установлена смена обстановки кристаллизации, которая происходила в результате наложенных термальных событий при температурах 819-830°C и, возможно, при участии флюидов, на более позднем этапе  $481 \pm 3$  млн лет.

### 4.3. U-Pb датирование циркона из гранитов осевой части Матутского массива (участок Центральный, проба КТ-1070)

Проба КТ-1070 отобрана в скальном обнажении гранитов Матутского массива на участке Центральный в 400 метрах от контакта (рис. 4.1, 4.12, таблица 4.1). Непосредственно в скальном обнажении породы плотные полосчатые с вкрапленниками полевого шпата. В пластинках гранитов отчетлива видна директивность (рис. 4.12, слева внизу). На микроуровне структуры — полнокристаллические, порфиоровидные, гипидиоморфнозернистые гранитовые.

На микрофотографиях петрографического шлифа гранитов пробы КТ-1070 можно видеть, что директивность породы несколько иная, чем в пробе КТ-1324. Здесь ориентировка вкрапленников  $F_{sp}$  менее выражена и размер вкрапленников близок к матриксу породы. Магматическая полосчатость в породе формируется за счет чередования вытянутых фрагментов слабдеформированных агрегатов  $Qz-Pl-Kfs$ ,  $Qz (+Kfs+Pl)$  жил с оторочками  $Hbl$  и зон деформирования (рис. 4.13). Следует обратить внимание, что жилы и фрагменты пород взаимно проникают, формируют островки (рис. 4.13). При детальном рассмотрении можно установить, что фрагменты слабо деформированных пород представляют собой, в том числе, результат частичного плавления (рис. 4.14, 4.15, 4.16). Последние устанавливаются по формированию средне- и мелкозернистых гранобластовых агрегатов  $Qz-Pl-Kfs$  состава. На рисунке 4.15 показано, что данные области плавления формируются между жилами и интенсивно деформированными агрегатами. Данные закономерности можно объяснить синкинематическим генезисом частичного плавления, когда в условиях термального воздействия происходит сдвиг с растяжением породы (транстенсия), сопровождаемое падением общего давления и привнесом дополнительного флюида в зоны растяжения.

Комплекс признаков, указывающих на деформации в гранитоидах Матутского массива в средне- и высокотемпературном диапазоне:

1. В породе отчетливо видна директивность, обусловленная: чередованием линейных зон концентрирования деформаций ( $Kfs$ ,  $Pl$ ,  $Qz$ ) и вытянутых

фрагментов с гипидиоморфнозернистые структурами; области растяжения жильного типа (преимущественно Qz состава) (рис. 4.13).

2. Концентрация стяжений мирмекита в зонах разрушения вкрапленника Kfs (рис. 4.14).

3. Концентрация стяжений мирмекита и гранобластового (рекристаллизация и частичное плавление) агрегата Qz-Pl-Bt-Kfs состава в межзерновом пространстве и в виде отдельных зон (рис. 4.14-16).

4. Рекристаллизация и частичное плавление породы могли охватить существенный объем породы, проявляясь вдоль зон растяжения. При этом слюдистый меланократовый материал (Bt, Hbl) приурочены к зонам деформирования и частичного плавления (рис. 4.13, 4.16).

Происхождение деформаций на Юго-Восточном участке Матутского массива может быть как наложенным, так и может быть связано с процессами синтетектонического транспорта кислых магм (проба взята из осевой части серповидной структуры).



Рисунок 4.12. Место отбора пробы КТ-1070 из гранитов Матутского массива (участок Центральный, U/Pb, датирование циркона). Географические привязки места отбора пробы приведены в таблице 4.1. Скальное обнажение (вверху), пластинки гранитов (слева внизу) и микрофотография петрографического шлифа в скрещенных николях (справа внизу).

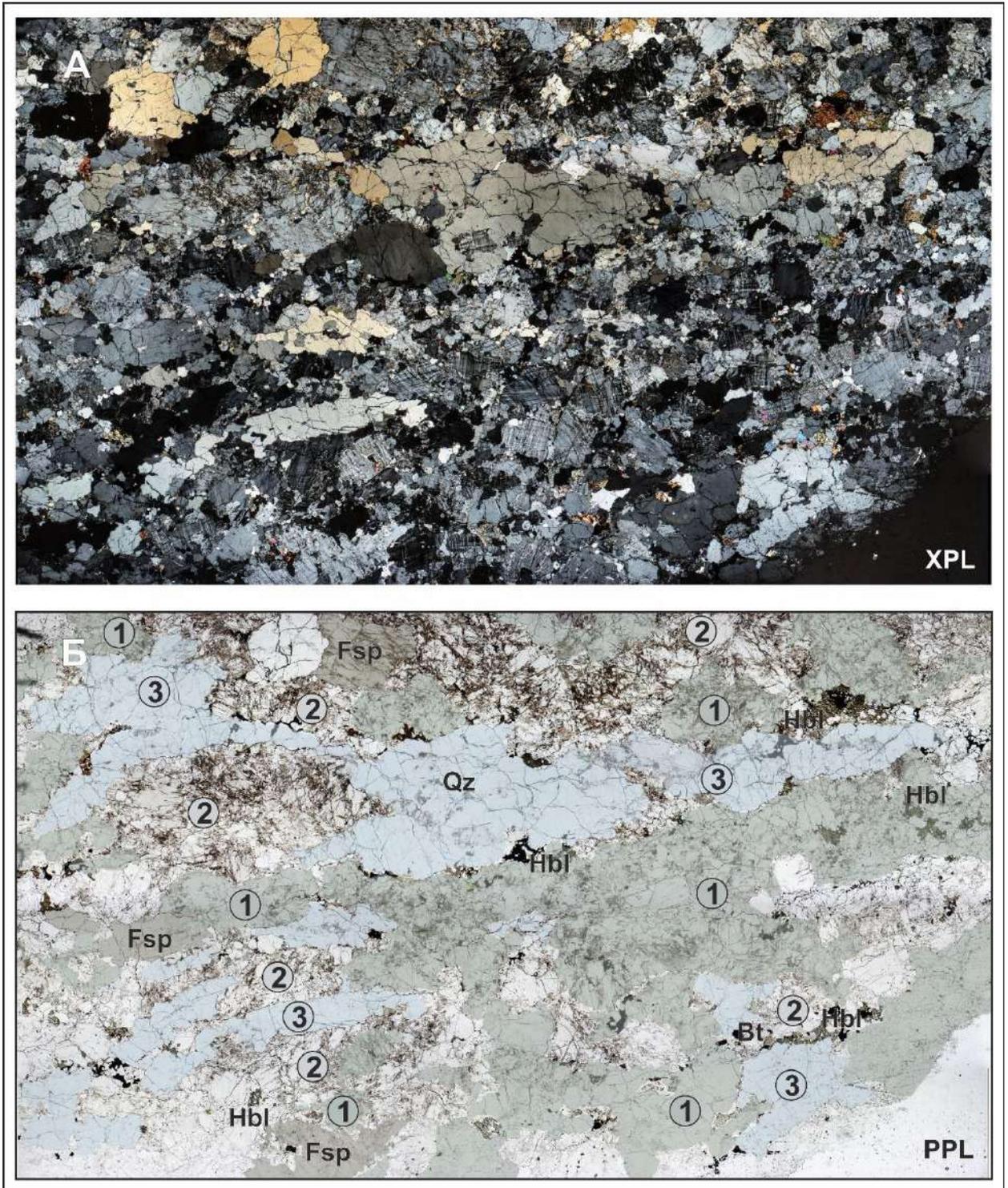


Рисунок 4.13. Проба КТ-1070 из гранитов Матутского массива (участок Центральный). Микрофотография петрографического шлифа в скрещенных николях (А) и в проходящем свете (Б). Номера в окружностях: 1 – фрагменты слабо деформированных агрегатов породы, в том числе с зонами частичного плавления; 2 – зоны концентрации деформаций; 3 – жильные зоны преимущественно кварцевого состава (+/- Fsp).

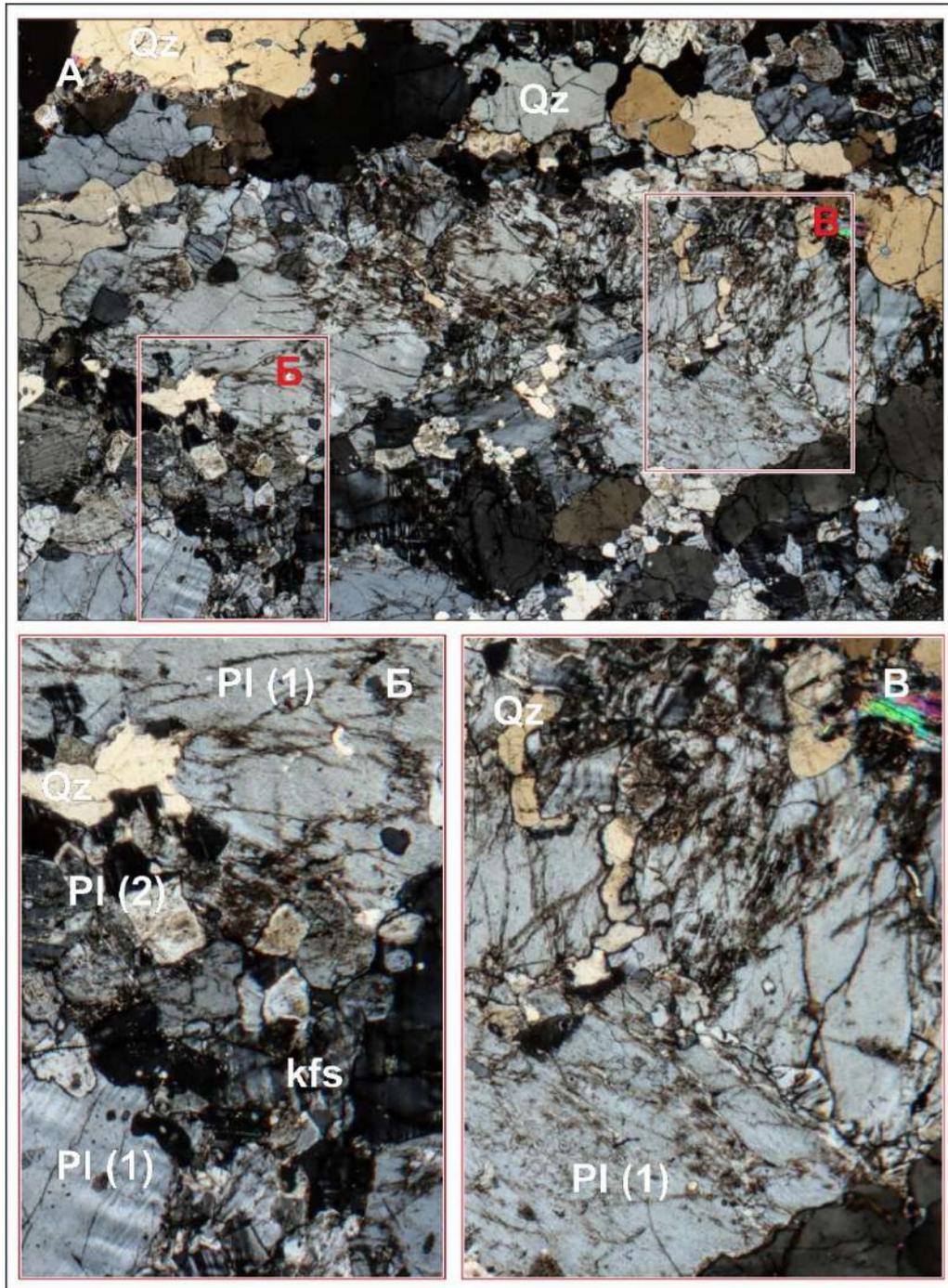


Рисунок 4.14. Проба КТ-1070 из гранитов Матутского массива (участок Центральный). А. Микрофотография петрографического шлифа в скрещенных николях. Б. Зона частичного плавления, где Pl(1) – ранний деформированный Pl, Pl(2) – поздний Pl в зоне частичного плавления. В. Концентрация стяжений мirmekита и гранобластового (рекристаллизация, частичное плавление?) агрегата Qz-Pl-Bt-Kfs состава в зонах растяжения при разрушении монокристалла Kfs.

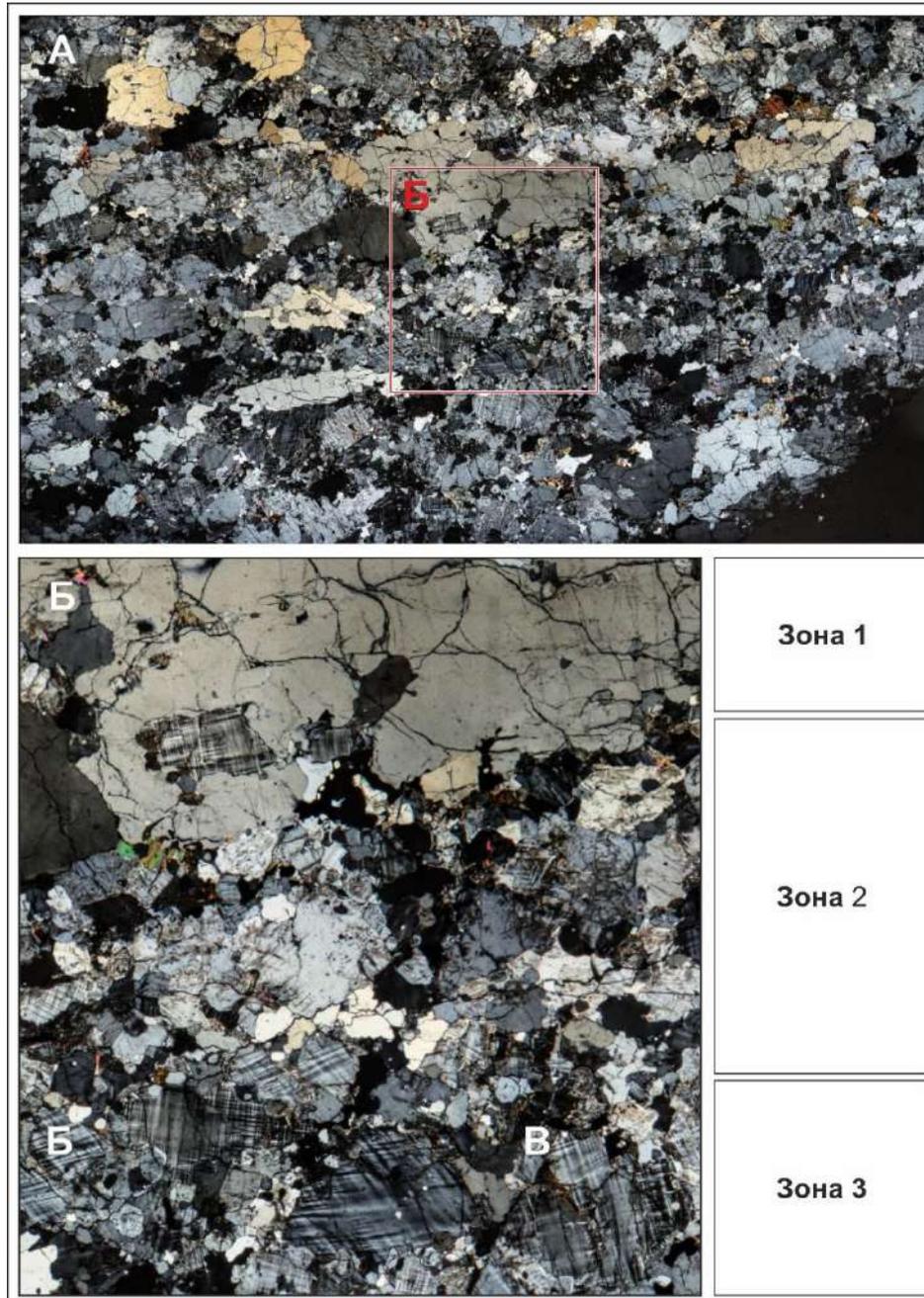


Рисунок 4.15. Проба КТ-1070 из гранитов Матутского массива (участок Центральный). Микрофотография петрографического шлифа в скрещенных николях. **Зона 1** – стяжения и жилы преимущественно Qz состава с включениями Kfs с признаками растворения (плавления ?). **Зона 2** – концентрация гранобластового среднезернистого агрегата Qz-Pl-Bt-Kfs состава с отдельными деформированными вкрапленниками Fsp. **Зона 3** – деформированный агрегат преимущественно Fsp состава (Qz перемещен в зоны 1 и 2 за счет процессов перекристаллизации и частичного плавления).

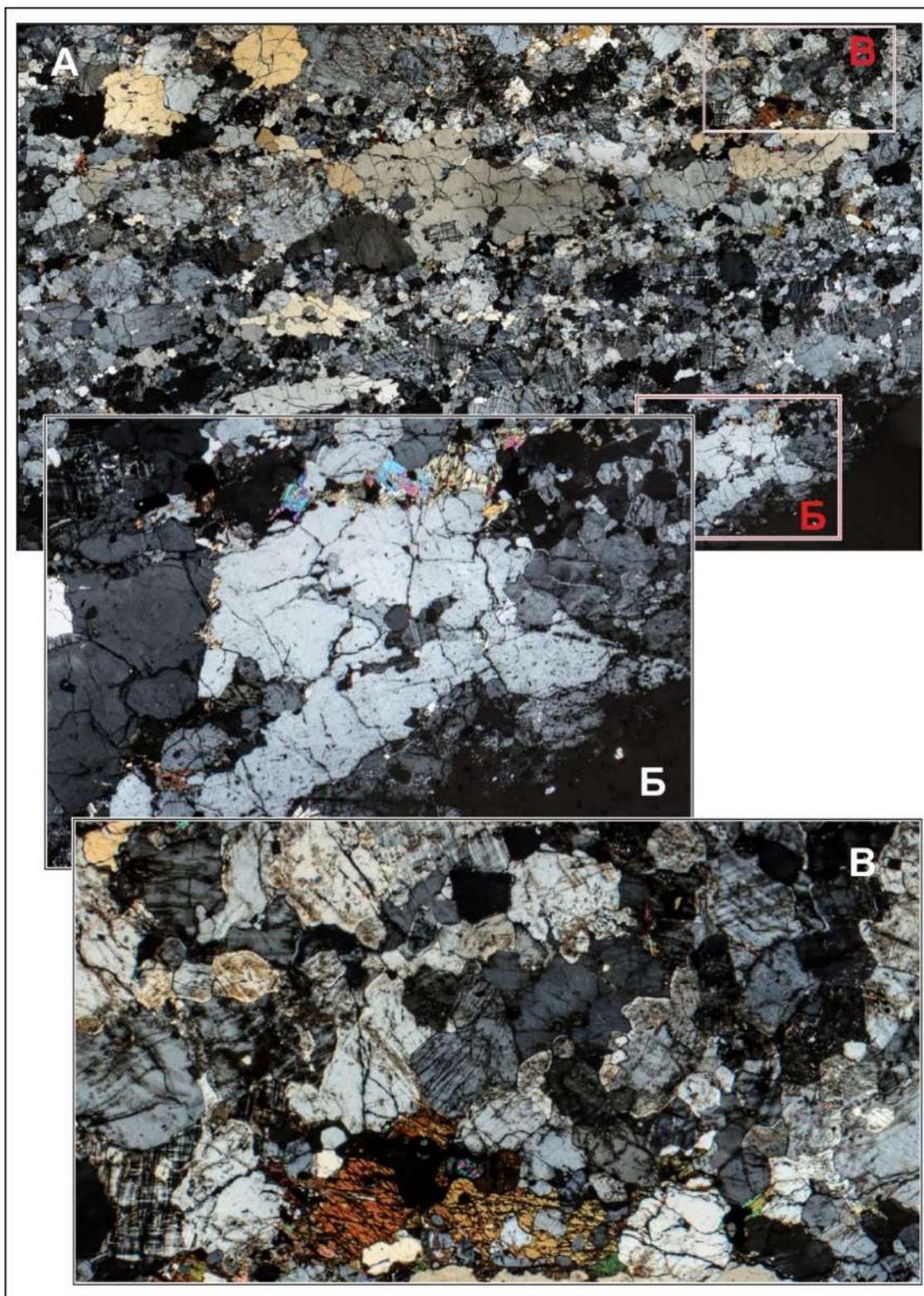


Рисунок 4.16. Проба КТ-1070 из гранитов Матутского массива (участок Центральный). Микрофотография петрографического шлифа в скрещенных николях. **Б-В** – зоны с признаками рекристаллизации и частичного плавления.

*Характеристика цирконов пробы КТ-1070*

Циркон из гранитов пробы КТ-1070 представлен призматическими кристаллами правильной формы с частично резорбированными гранями. Размер зерен составляет от 150 до 500 мкм. По данным катодолюминесценции для цирконов характерна выраженная осцилляторная магматическая зональность (рис. 4.17). В единичных зернах присутствуют остатки метамиктизированного ядра неправильной формы. Для некоторых зерен цирконов присутствует тонкая темная кайма. Однако в отличие от пробы КТ-1324 здесь темные оторочки КЛ менее 10 мкм, что не позволило провести для них отдельное изучение.

*Микрорентгеноспектральный анализ химического состава центральных частей цирконов с осцилляторной зональностью*

По результатам микрорентгеноспектрального анализа среднее содержание основных элементов Zr, Si, O в цирконе образца КТ-1070 составляют (таблица в Приложении 5) 48.72, 15.28 и 35.22 мас.%, соответственно, что соответствует цирконовому составу. Из элементов-примесей в цирконе определяются Hf (до 1.48 мас.%), Y (до 0.42 мас.%), Th (до 0.34 мас.%), U (до 0.15 мас.%), P (до 0.06 мас.%), Yb (до 0.11 мас.%). Концентрация других анализируемых примесных элементов находится ниже пределов их обнаружения. Измеренное содержание кислорода O и рассчитанное стехиометрическое –  $O_{ст}$  (34.84 мас.%) практически совпадают между собой. Наличие избыточного кислорода ( $O_{изб} = O - O_{ст}$ ) является признаком гидратации циркона, т.е. присутствия  $H_2O$  и (или) OH-групп. В цирконе образца КТ-1070 отклонение от стехиометрии по кислороду и, соответственно, гидратация матрицы минимальны: среднее  $O_{изб} = 0.51$  мас.%, что на уровне погрешности определения.

*Анализ химического состава темных краевых частей цирконов без осцилляторной зональности*

По данным микроанализа (таблица в Приложении 5) химический состав темной каймы также соответствует цирконовому составу: среднее содержание основных элементов Zr, Si, O составляет 48.55, 15.21 и 35.24 мас.% соответственно. Из элементов-примесей в цирконе определяется Hf (до 1.46 мас.%), Y (до 0.11 мас.%), Th (до 0.08 мас.%), U (до 0.17 мас.%), P (до 0.03 мас.%). Концентрация других примесей ниже пределов их обнаружения. Измеренное содержание кислорода O и рассчитанное стехиометрическое –  $O_{ст}$  (34.73 мас.%) также практически совпадают между собой. В цирконе образца КТ-1070 отклонение от стехиометрии по кислороду и, соответственно, гидратация матрицы минимальны: среднее  $O_{изб} = 1.14$  мас.%, что несущественно превышает погрешность определения.

*Исследование циркона методом рамановской спектроскопии.*

Для целей рамановской спектроскопии в пробе КТ-1070 было отобрано представительное зерно циркона (#30, рис. 4.17). Для него была проведена оценка степени кристалличности (разупорядочения) структуры циркона. С этой целью анализировалась ширина линий ассиметричных валентных колебаний  $\nu_3(\text{SiO}_4)$  спектра комбинационного рассеяния (КР-спектра) циркона. Анализ выполнялся как в отдельных точках, так и по гипер-картам. Картирование проводилось по параметрам линий  $\nu_3(\text{SiO}_4)$  (рис. 4.18).

Диапазон степени разупорядочения матрицы фиксировался по различию в интенсивности и окраске карт, построенных по параметрам рамановских линий. В зерне #30 ширина линии  $\nu_3(\text{SiO}_4)$  варьирует в диапазоне 3-8  $\text{см}^{-1}$  (синий цвет), что соответствует низкой степени повреждения структуры, и лишь в некоторых зонах зерна, в частности, в области участком темной каймы циркона она достигает 12  $\text{см}^{-1}$  (от оранжевого к желтому) со средней степенью метамиктности. По результатам рамановской спектроскопии было установлено, что, в целом, спектры циркона образца КТ-1070 характеризуются слабой степенью разупорядочения структуры.

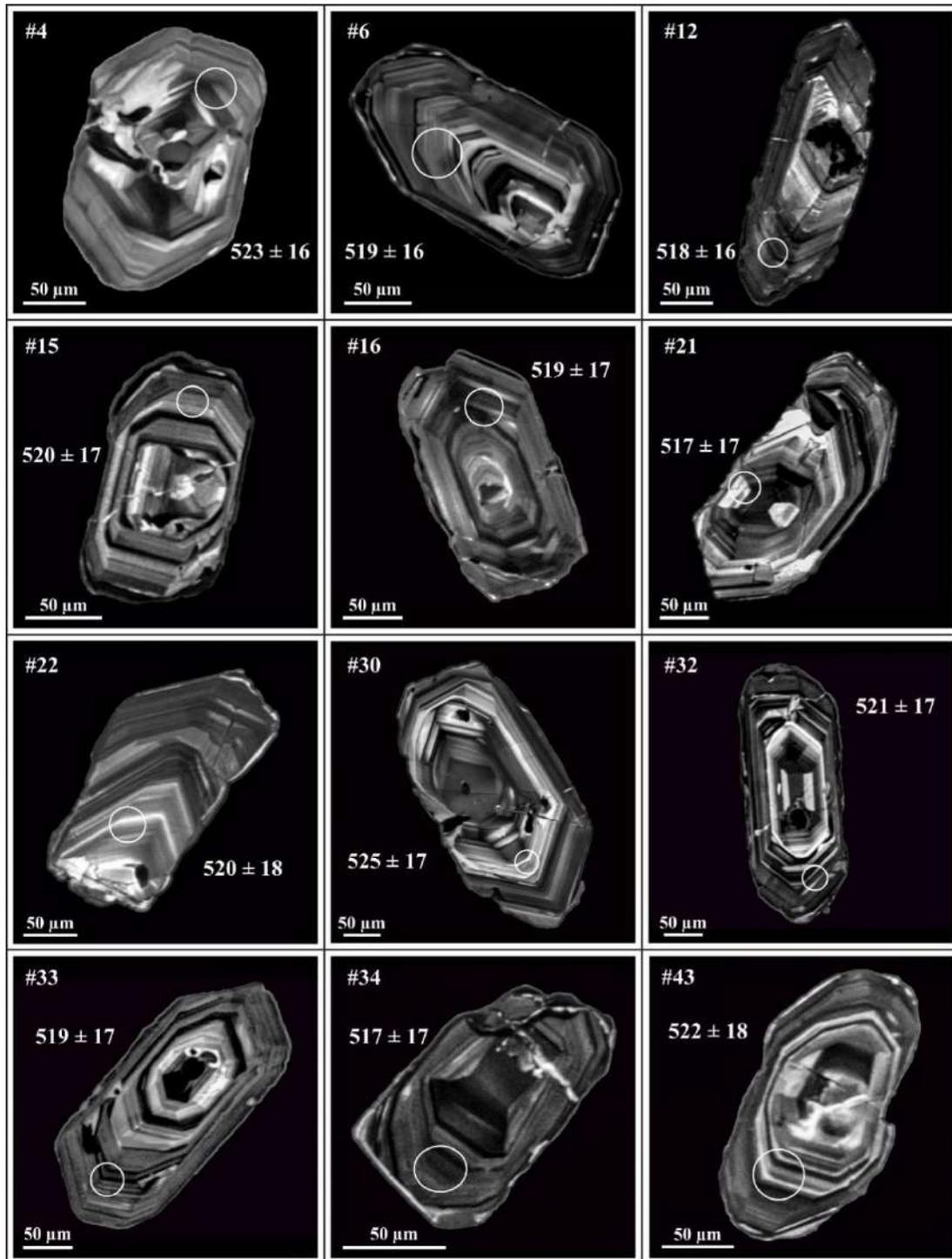


Рисунок 4.17. Катодолюминесцентные изображения и результаты датирования внутренних зон представительных зерен циркона из гранитов Матутского массива, участок Центральный (образец КТ-1070). Номера точек анализа с  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возрастом соответствуют таковым в таблице Приложения 6. Погрешность приведена на уровне  $2\sigma$ .

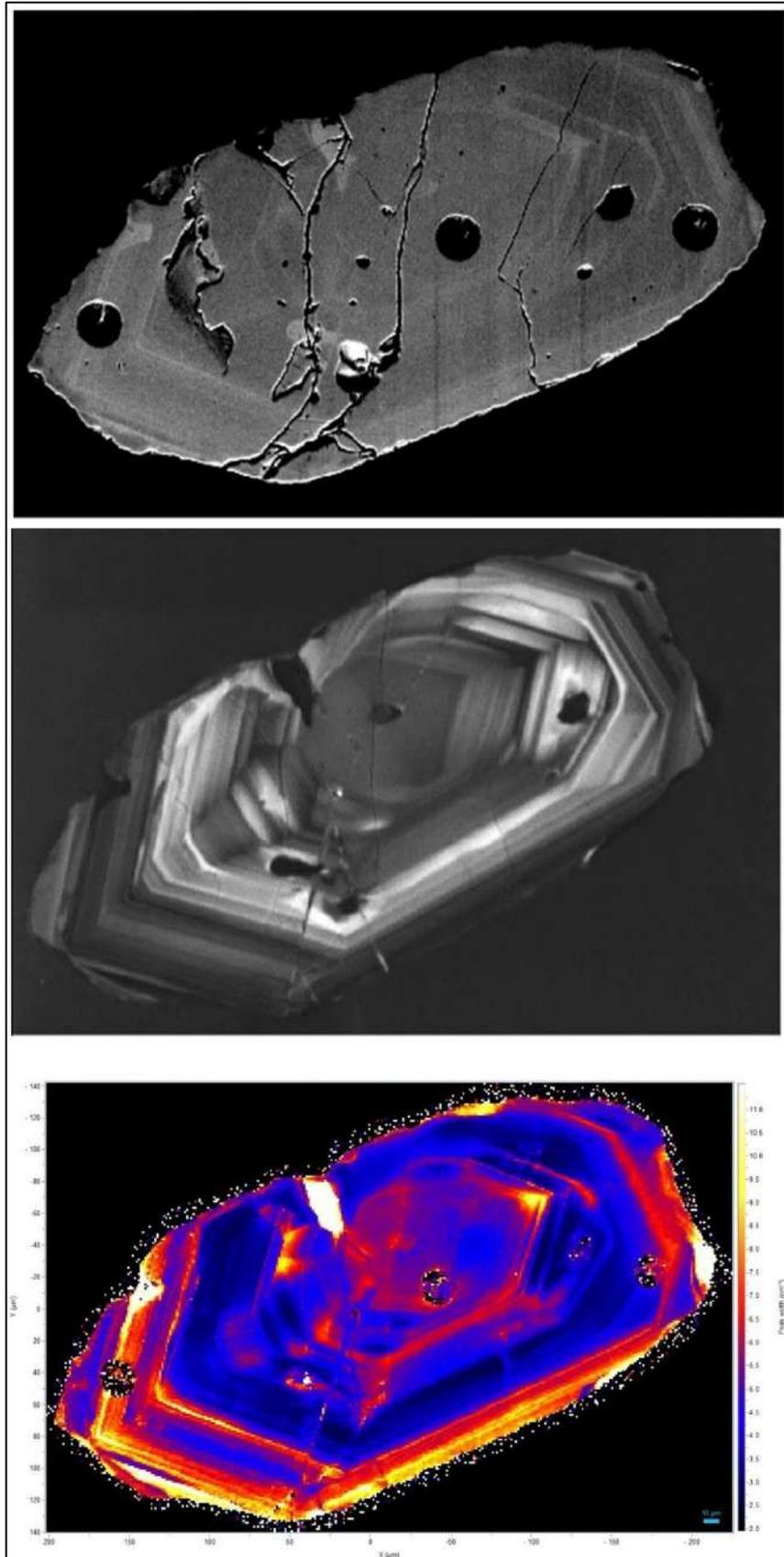


Рисунок 4.18. BSE-, CL – изображения и картирование циркона по параметрам рамановской линии  $\nu_3(\text{SiO}_4)$  (проба КТ-1070).

Для установления возраста цирконов были продатированы участки с ростовой зональностью без видимых дефектов поверхности (диаметр лазерного луча составлял 30 мкм). Точки лазерного отбора указаны на рисунке 4.17. Результаты U-Pb датирования приведены в таблице Приложение 6. Возраст по пересечению с конкордией составил  $520 \pm 3$  млн лет (СКВО = 1.3,  $n = 44$ ) (рис. 4.19). По результатам датирования цирконы характеризуется следующими содержаниями определяемых элементов:  $^{206}\text{Pb}$  (7-73 г/г), U (87-853 г/г), Th/U (0.25-1.93).

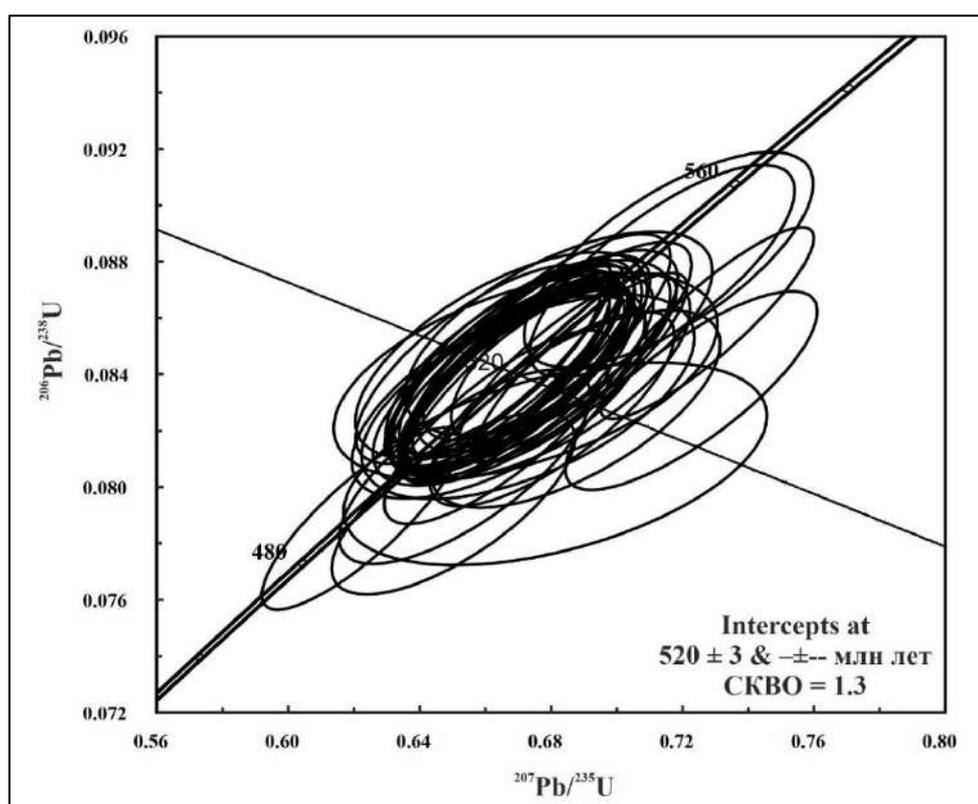


Рисунок 4.19. Диаграмма с конкордией для цирконов из гранитов Матутского массива, участок Центральный (образец КТ-1070). Эллипсы и значения U-Pb возраста соответствуют  $2\sigma$ , включая погрешность констант распада.

Таким образом, микронное и микроспектроскопическое изучение цирконов пробы КТ-1070 показало, что монокристаллы циркона характеризуется высокой степенью кристалличности, минимальной (до средней) степенью разупорядочения структуры, обладает составом, близким к стехиометричному,

однородным по содержанию основных элементов Zr, Si, O и примесного Hf. Максимальная степень разупорядочения структуры циркона зафиксирована для краевых участков циркона.

На основе полученных результатов, характеристики цирконов из пробы КТ-1070 можно рассматривать как эталонные для гранитоидов Матутского массива.

### *Ar-Ar датирование биотита (проба КТ-1070)*

Были проведены Ar-Ar изотопные исследования биотита из гранитов осевой части Матутского массива (КТ-1070).  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возраст, рассчитанный по плато (рис. 4.20) равен  $466 \pm 6$  млн лет.

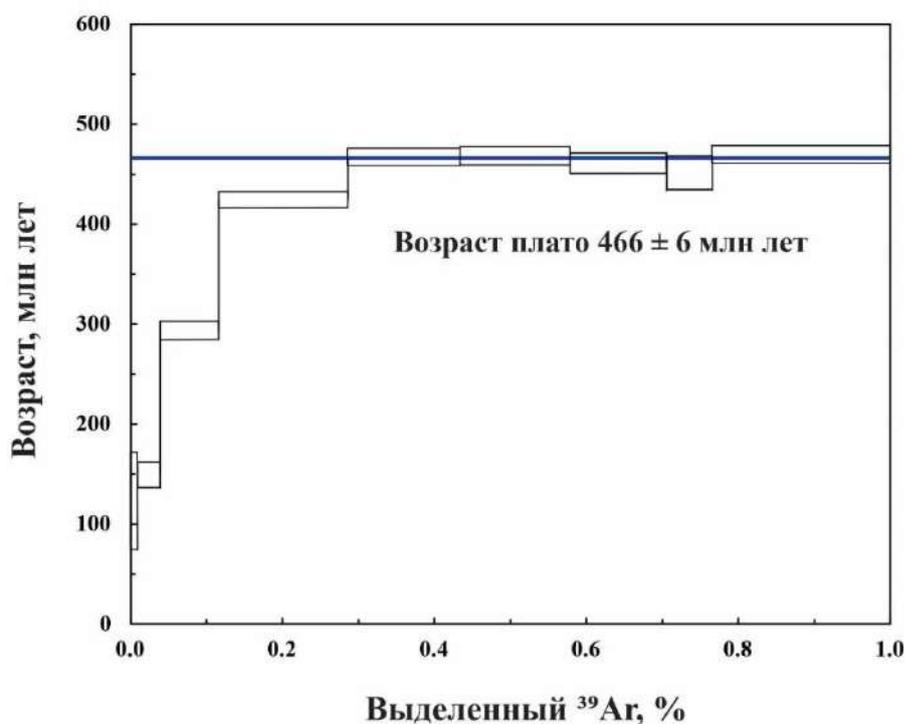


Рисунок 4.20.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возрастной спектр для биотита из гранитов осевой части Матутского массива (КТ-1070).

Основываясь на полученных геохронологических данных и учитывая, что температура закрытия изотопной системы для биотита отвечает около  $300^\circ\text{C}$ , то можно считать, что на рубеже 466 млн лет породы Матутского массива находились в верхних уровнях земной коры на глубинах около 15 км (при геотермическом градиенте  $30^\circ\text{C}$  на 1 км).

#### 4.4. U-Pb датирование циркона из гранитов Матутского массива (участок Бумбаты, проба КТ-1256)

Проба КТ-1256 отобрана в скальном обнажении участка Бумбаты в центральной части Матутского гранитного массива (рис. 4.1, 4.21, табл. 4.1).

Текстура гранитов - плотная полосчатая такситовая. Структура гранитов - полнокристаллическая порфировидная гипидиоморфнозернистая гранитовая.

Учитывая текстурно-структурные признаки, полосчатость в гранитах можно интерпретировать как магматическое течение (рис. 4.21).

1. На вертикальной стенке скального обнажения (рис. 4.21) можно видеть признаки субвертикального транспорта кислых магм с формированием магматической полосчатости и складок течения по направлению их движения, лейкократовые жилы с фланковыми структурами.

2. Полосчатость в гранитах (как и в пробах КТ-1324, КТ-1070) формируется за счет чередования агрегатов четырех типов: 1 – кварцевые зон (+/- Fsp) с гранобластовыми структурами и отсутствием признаков деформирования; 2 – деформированные агрегаты Fsp+Qz состава; 3 – не деформированные агрегаты Fsp+Qz состава с гранобластовыми структурами; 4 – Vt-Nbl агрегаты преимущественно вдоль линейных кварцевых агрегатов (рис. 4.22). Подобные сочетания зон можно интерпретировать как деформирование ранних кумулятов и их агрегатов в процессе течения магм.

3. Заключительная консолидация магм происходила в обстановках отсутствия течения. На это указывает островной характер деформированных агрегатов, что можно связать с их рекристаллизацией или реоморфизмом (рис. 4.23). Следует подчеркнуть, что процесс исчезновения деформированных агрегатов можно объяснить также за счет частичного плавления гранитов.



Рисунок 4.21. Магматическая полосчатость (течение) и место отбора пробы КТ-1256 из гранитов Матутского массива (участок Бумбаты, U/Pb, датирование циркона). Географические привязки места отбора пробы приведены в таблице 4.1.

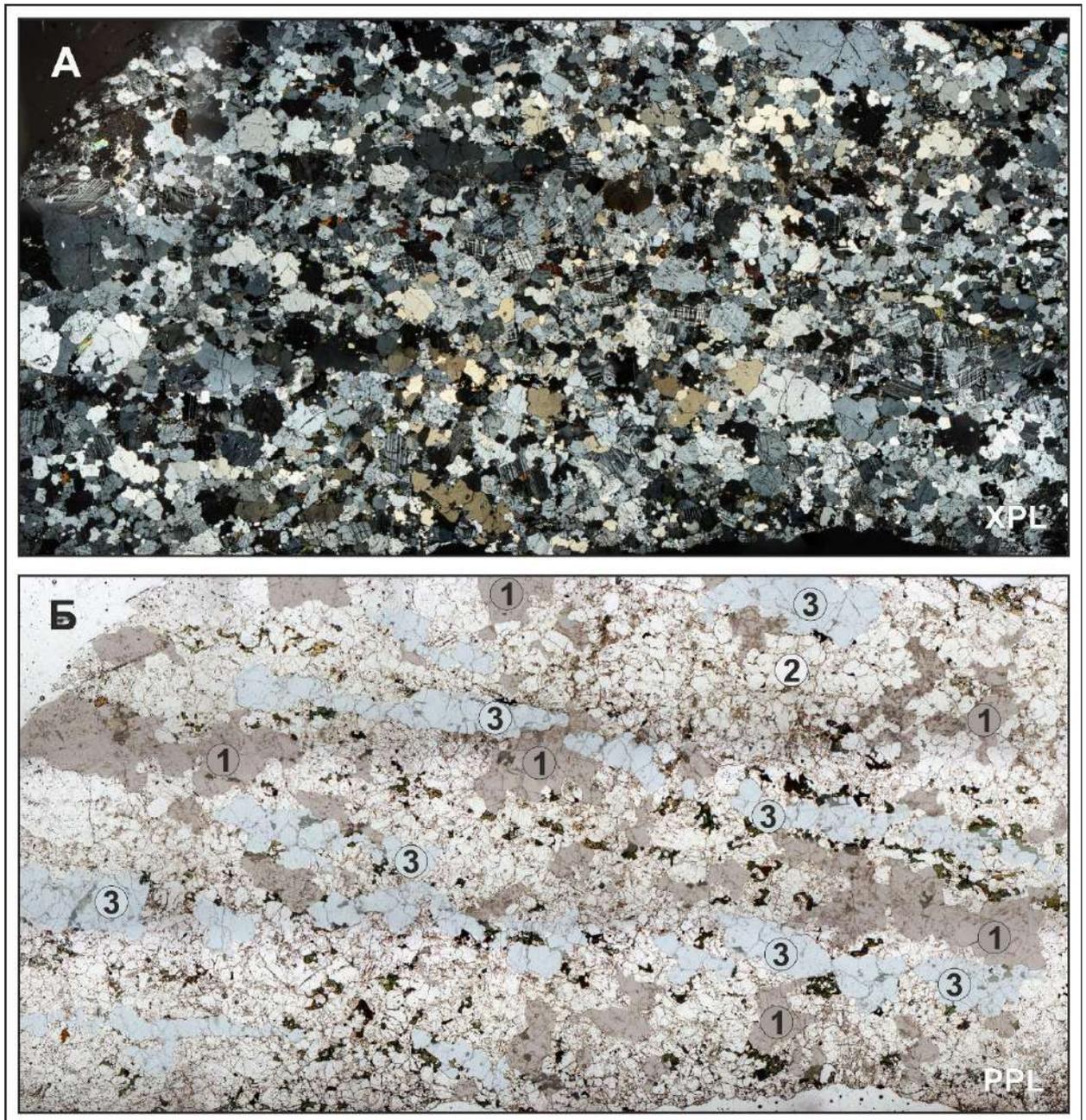


Рисунок 4.22. Проба КТ-1256 из гранитов Матутского массива (участок Бумбаты). Микрофотография петрографического шлифа в скрещенных николях (А) и в проходящем свете (Б). Номера в окружностях: 1 – фрагменты деформированных агрегатов породы; 2 – зоны с отсутствием признаков деформирования; 3 – жилые зоны преимущественно кварцевого состава (+/- Fsp).

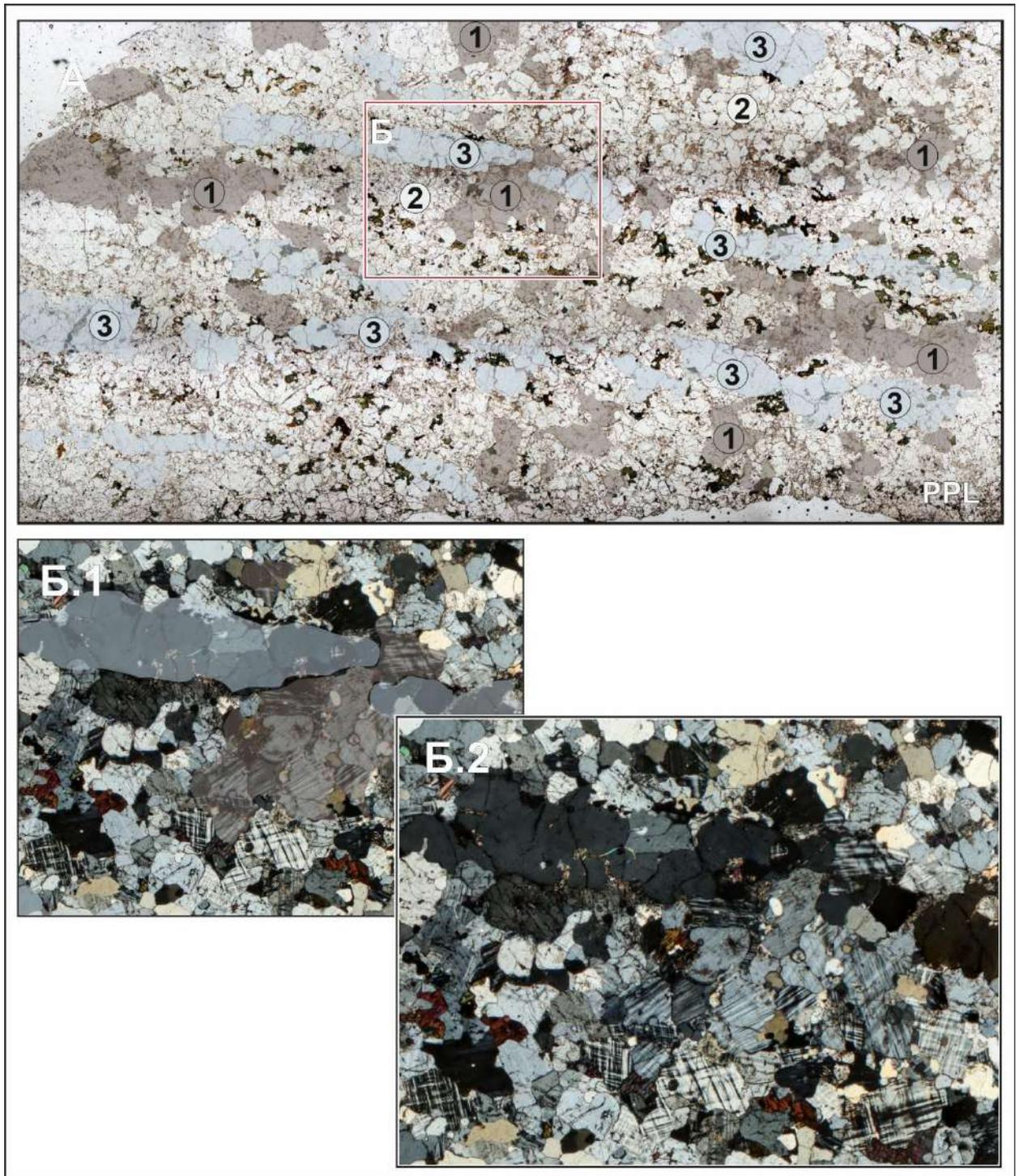


Рисунок 4.23. Проба КТ-1256 из гранитов Матутского массива (участок Бумбаты). Микрофотография петрографического шлифа в скрещенных николях. **Б.1**, **Б.2.** – иллюстрация различных зон (см. рис.4.21, 4.22.А) с признаками рекристаллизации ранее деформированных минеральных агрегатов. Линейное положение агрегатов Vt-Nbl, в том числе вдоль кварцевых агрегатов (А).

### *Характеристика цирконов пробы КТ-1256*

Циркон из пробы КТ-1256 представлен прозрачными идиоморфными призматического и короткопризматического габитуса кристаллами правильной формы с частично резорбированными гранями. Размер зерен составляет от 200 до 350 мкм. По данным катодолюминесценции для цирконов характерна выраженная осцилляторная магматическая зональность (рис. 4.24). Реликты метамиктизированных ядер редки и встречаются лишь в отдельных зернах (#14, #30, рис. 4.24). Монокристаллы иногда имеют признаки разрушения и резорбирования граней (#15, #23, рис. 4.24). Цирконы, как и в пробах КТ-1324, КТ-1070, нередко имеют дефекты структур, проявленные в виде трещин, ярких в КЛ (зерна #11, #15, #29 на рис. 4.24). Однако, для данной пробы такие дефекты структуры встречаются чаще. Следует отметить, что эти дефекты не проявлены на поверхности зерен, поэтому не заметны при исследовании зерен в оптическом микроскопе и электронном микроскопах. Некоторые зерна цирконов полностью покрыты своеобразной сеткой из таких трещин (см. \*1, \*2 на рис. 4.24), представляющие собой структуры дробления монокристаллов. Во многих зернах наблюдается неравномерное обрастание темной в КЛ, тонкой каймой. Поскольку размеры темной каймы не превышают 10 мкм, то ее детальное изучение не было возможным.

Морфологические особенности строения и КЛ осцилляторная зональность исследованных цирконов указывают на их магматическое происхождение. Признаки разрушения, дробления и резорбирования отдельных монокристаллов с появлением светлых промежуточных кайм залечивания (рис. 4.23) можно интерпретировать как следствие механического разрушения зерен циркона с последующим растворением и частичной рекристаллизацией циркона вдоль дефектов структуры.

#### *Анализ состава цирконов с осцилляторной зональностью*

По результатам микрорентгеноспектрального анализа (таблица в Приложении 3) участки цирконов с осцилляторной зональностью характеризуются составом, стехиометричным цирконовому: средний состав основных элементов

(в пересчете на оксиды) составляет  $ZrO_2 = 64.39$  мас.%,  $SiO_2 = 32.47$  мас.%. Из элементов-примесей определяются Y (до 1.12 мас.%), Hf (до 4.40 мас.%), Th (до 0.50 мас.%), U (до 0.27 мас.%), P (до 0.19 мас.%).

*Анализ состава светлых зон в цирконах с осцилляторной зональностью*

Материал трещин (светлые в КЛ тонкие линии) также характеризуется составом, стехиометричным цирконовому с примесными содержаниями Hf (до 2.85 мас.%). Остальные примесные элементы находятся на уровне предела обнаружения анализа. Таким образом, можно сделать вывод, что наблюдаемые в КЛ трещины – это результат вторичных преобразований циркона, в ходе которых происходила твердофазная рекристаллизация цирконового материала с очисткой от элементов-примесей и заполнением («залечиванием») трещин исследуемых зерен.

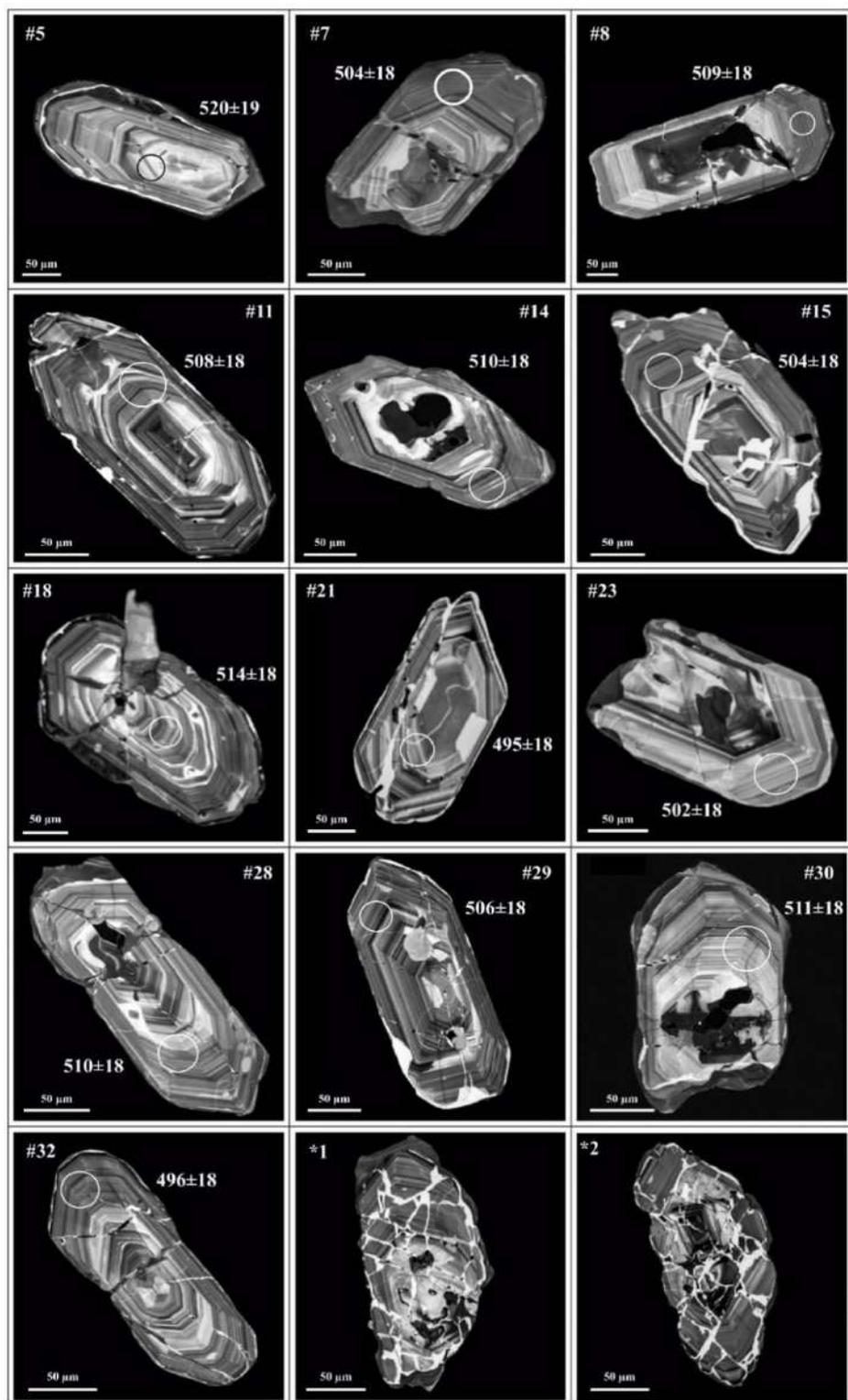


Рисунок 4.24. Катодоллюминесцентные изображения и результаты U-Pb датирования представительных зерен циркона из гранитов Матутского массива, (участок Бумбаты, проба КТ-1256). Номера точек анализа с  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возрастом соответствуют таковым в таблице Приложения 7. Погрешность приведена на уровне  $2\sigma$ .

*Результаты датирования цирконов с осцилляторной зональностью.*

Для установления возраста цирконов были продатированы участки с ростовой зональностью без видимых дефектов поверхности (диаметр лазерного луча составлял 35 мкм). Точки лазерного отбора указаны на рисунке 4.24.

Результаты U-Pb датирования приведены в таблице (Приложение 7). По результатам U-Pb изотопно-геохронологических исследований возраст цирконов составил  $510 \pm 3$  млн лет (СКВО = 1.9,  $n = 45$ ) (рис. 4.25). Содержания варьируют в широком диапазоне  $^{206}\text{Pb}$  (19-189 г/т), U (279-2654 г/т), хотя для Th/U, в целом, характерен узкий диапазон вариации значений от 0.52 до 0.87 с выбросами по трем точкам, для которых значения составили 1.26 (т.17), 1.36 (т.29), 1.08 (#30, таблица Приложения 7).

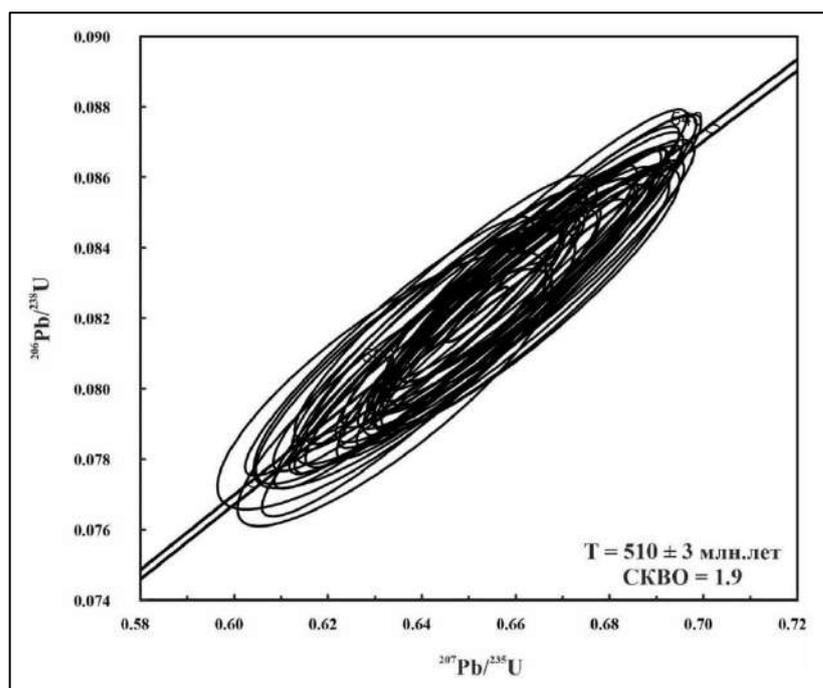


Рисунок 4.25. Диаграмма с конкордией для цирконов из гранитов Матутского массива (участок Бумбаты, проба КТ-1256). Эллипсы и значения U-Pb возраста соответствуют  $2\sigma$ , включая погрешность констант распада.

По результатам U-Pb датирования цирконов из пробы КТ-1256 получен возраст  $510 \pm 3$  млн лет, что меньше по сравнению с датированными ранее цирконами из гранитов проб КТ-1324 ( $524 \pm 3$  млн лет) и КТ-1070 ( $520 \pm 3$  млн лет).

Более молодые оценки возраста можно связать с результатом воздействия поздних термальных событий, которые отразились как на породе в целом (признаки магматического течения и мобилизации гранитов), так и на структуре цирконов (трещиноватость, которая возникла в результате деформирования породы, а также залечивание этих трещин цирконовым материалом). По данным микрорентгеноспектрального анализа материал, заполняющий трещины исходного циркона, характеризуется цирконовым составом без явных содержаний примесных элементов. По данным КЛ-изображений циркон, заполняющий трещины, отличается от исходного циркона более ярким свечением. Свечение в катодолюминесценции обеспечивается за счет степени упорядоченности кристаллической структуры циркона и его химического состава, в т.ч. за счет содержания элементов-люминофоров, т.е. подавляющих свечение (Rubatto, Gebauer 2000, Nasdala et al., 2002). Участки, заполняющие дефекты отличаются более ярким свечением, соответственно, имеют более низкие содержания элементов-люминофоров. По совокупности признаков, можно предположить, что яркий материал, заполняющий дефекты структуры циркона, является более «поздним» цирконом, образованным в результате процесса перекристаллизации первичного циркона при участии расплава (Hoskin and Black, 2000; Schaltegger et al., 1999; Tichomirova et al., 2005, Rubatto et al., 2017). Подобные процессы подробно описаны в работе (Каулина, 2010) для метаморфического циркона. Процессу перекристаллизации особенно подвержены деформированные цирконы. В частности, отмечается, что деформации кристаллической структуры циркона действуют как пути быстрой диффузии микроэлементов, а также U, Th и Pb (Piazolo et al., 2016, Reddy et al., 2006, Reddy et al., 2009, Timms et al., 2006, 2011). В т.ч. упоминается, что перекристаллизация исходного циркона сопровождается очищением перекристаллизованных областей от примесей - катионов с ионными радиусами значительно отличающимися от Zr и Si. Это подтверждается данными микрозондового анализа - для ярких участков исследованных цирконов не зафиксировано примесных элементов. В результате перекристаллизации происходит стирание U-Pb возраста. В данном случае речь не идет о полной

перекристаллизации циркона, а лишь об отдельных нарушенных участках, что вероятно могло привести к омоложению U-Pb возраста.

#### 4.5. Возраст гранитоидов Матутского массива

Характерной чертой кислого магматизма коллизионных зон является вовлечение интрузивных тел в повторные высокотемпературные деформации и полистадийные термальные события. Процессы воздействия на горные породы и минералы разнообразны. Изменения циркона могут включать рекристаллизацию, метаморфический рост, значительные изменения в морфологии, внутренней структуре и химическом составе отдельных зерен. Как следствие, при выборе проб для анализа особое внимание уделялось признакам появления метамиктных состояний, искажений во внутренней кристаллической структуре зерен циркона, их хрупкое и вязкое деформирование. Проведенные предварительные исследования позволили остановиться на двух пробах, для которых были получены наиболее древние оценки возраста как для гранитов Матутского массива, так и для коллизионных гранитоидов всего Западного Сангилене –  $520 \pm 3$  млн лет (проба КТ-1070) и  $524 \pm 3$  млн лет (проба КТ-1324) (рис. 4.8, 4.19).

Полученные оценки возраста раннеколлизионного гранитообразования наиболее близки к возрасту базитового магматизма (Правотарлашкинский массив,  $524 + 9$  млн лет (Изох и др., 2001; Шелепаев и др., 2018), кианитового метаморфизма ( $515.7 \pm 6.9$  млн лет (Гибшер и др., 2017)). Данный возрастной рубеж 520-524 млн лет отвечает пику коллизионных событий на Западном Сангилене с инициацией кислого и основного магматизма в нижней коре, метаморфизмом ставролит-кианитового типа и заложением крупных тектонических нарушений (Владимиров и др., 2005, 2017).

В литературе, посвященной геологии региона, существуют два более древних определения возраста, но они не относятся к периоду коллизионного орогенеза на Западном Сангилене. Первые ( $569 \pm 1$  млн лет (Pfander et al., 2002) отвечают возрасту расслоенного Карашатского дунит-верлит-клинопироксенит-габбрового

массива, рассматриваемого, с учетом геологической позиции, в качестве фрагмента докембрийских офиолитов (Pfander et al., 2002). Вторые ( $536 \pm 5.7$  млн лет (Козаков и др., 1999а; Salnikova et al., 2001) – возрасту тоналитов из «серых» гнейсов Мугуро-Чинчилигского тектонического блока. В обоих случаях это до-коллизийные образования.

Вторая оценка возраста получена по датированию темной каймы, обрастающей циркон (проба КТ-1324) и отражает наложенные термальные события (зафиксированные в строении циркона) на рубеже 480 млн лет. Поскольку обрастание темной каймой характерно для всех цирконов из гранитов Матутского комплекса, то можно предполагать, что термальные события происходили повсеместно. Именно с этим возрастным периодом коррелируется масштабный на Западном Сангилене кислый магматизм со становлением многочисленных тел гранитоидов ухадагского комплекса (Кармышева и др., 2022).

Полученный при Ar-Ar датировании биотита из гранитов пробы КТ-1070 возраст  $466 \pm 6$  млн лет отвечает заключительным эпизодам базитового магматизма (Башкымугурский массив) (Козаков, 1999б; Шелепаев и др., 2018).

Завершением коллизийных событий в Западном Сангилене можно считать появление постколлизийных камптонитовых даек с возрастом  $444 \pm 7.5$  млн лет (Гибшер и др., 2012) и даек прикродолеритов (Ярмолюк и др., 2024). В структурном плане они занимают секущее положение относительно типичных коллизийных структур юго-западного простирания.

С учетом полученных данных возраст гранитоидов Матутского массива отвечает возрастному рубежу 520 млн лет ( $520 \pm 3$  и  $524 \pm 3$  млн лет), а длительность коллизийного магматизма в пределах Западного Сангилена составляет не менее 70 млн лет. Следует отметить, что данные оценки не противоречат и хорошо коррелируются с общей периодичностью в 90 млн лет зарождения и развития суперплюмов в Евразии (Руднев и др., 2004), что подчеркивает их связь между собой.

**Первое защищаемое положение.** Матутский гранитный массив сформировался на рубеже 520 млн лет и является одним из наиболее древних

проявлений гранитоидного магматизма Эрзинской тектонической зоны Западного Сангилен. Граниты образовались в результате плавления корового/сиалического источника при температурах до 800°C.

**ГЛАВА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕТРОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ И  
ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
(U/Pb ДАТИРОВАНИЕ ЦИРКОНА, Ar-Ar ДАТИРОВАНИЕ БИОТИТА)  
МИНГЛИНГ ДАЕК И ГРАНИТОИДОВ ОБРАМЛЕНИЯ  
МАТУТСКОГО МАССИВА**

**5.1. Обоснование выбора участков для детальных исследований**

Для уточнения возможных тепловых источников, оценке механизмов и характера наложенных тектоно-термальных процессов были проанализированы дополнительно пробы минглинг даек и гранитоидов обрамления Матутского массива (участок Тавыт-Даг, участок Восточный, рис. 5.1, таблица 5.1). Все участки различны по геологической ситуации.

В пределах участка Тавыт-Даг базитовые дайки прорывают гранитоиды Матутского массива (рис. 5.1). На контакте тепловое воздействие со стороны базитов достаточно для плавления гранитов и формирования минглинг даек (Владимиров и др., 2017, 2019).

Участок Восточный расположен в северо-восточном обрамлении Матутского гранитного массива. Здесь базитовые магмы взаимодействуют с автохтонными гранитоидами эрзинского метаморфического комплекса и гранитоидами ухадагского комплекса.

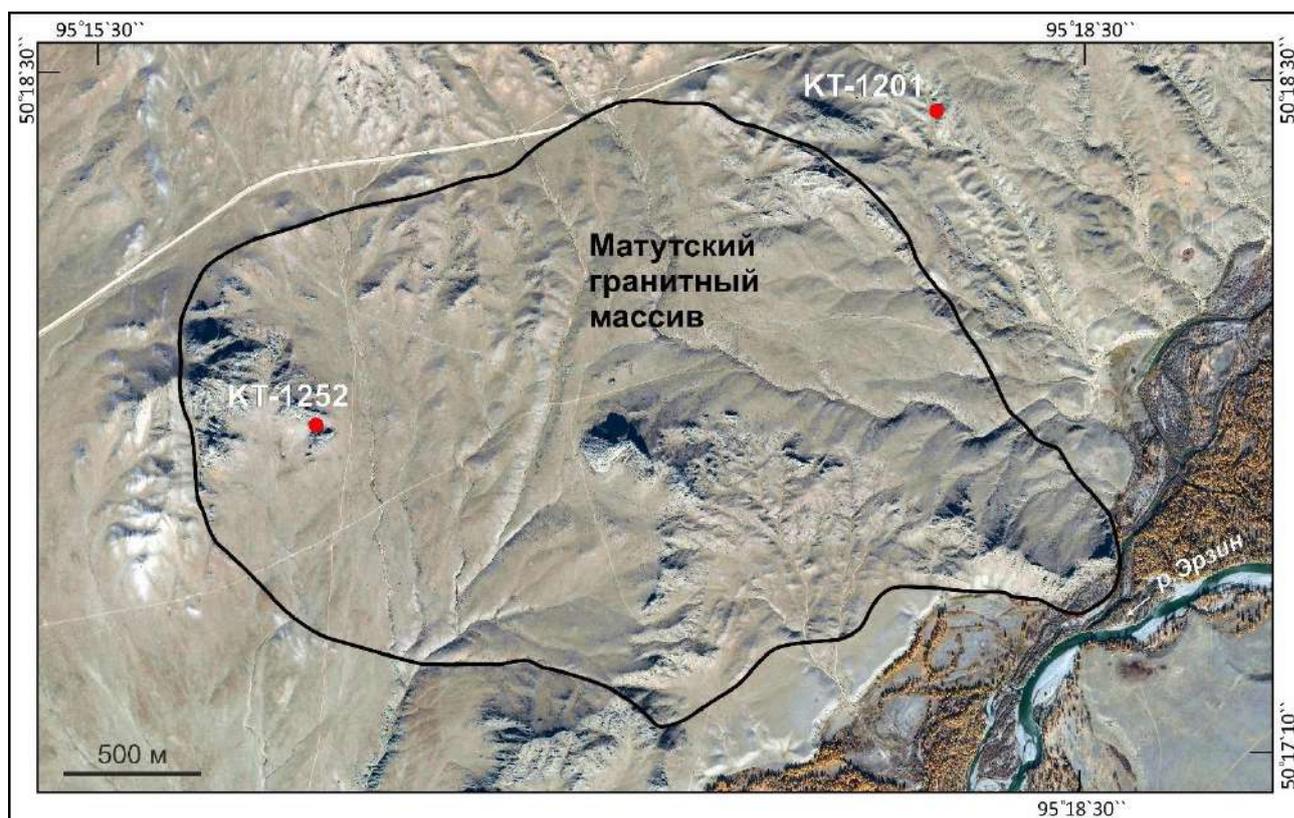


Рисунок 5.1. Положение точек отбора проб из минглинг-дайки (КТ-1252) и гранитов ухадагского комплекса (КТ-1201). Географические привязки точек проб приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Точки отбора проб из гранитов Матутского массива, минглинг-даек и гранитов ухадагского комплекса (U/Pb, циркон).

№	Участок	Номера точек	Номера проб	Долгота	Широта
1	Тавыг-Даг	КТ-1252	КТ-1252-1 КТ-1252-4 КТ-1252-5 КТ-1252-8	95.26908	50.29692
2	Юго-Восточный	КТ-1201	КТ-1201	95.30063	50.30726

## 5.2. U-Pb датирование циркона из гранитов и базитов участка Тавыт-Даг

В пределах участка Тавыт-Даг проведены исследования цирконов из базитовой и гранитной составляющих комбинированной дайки, расположенной непосредственно внутри тела Матутского гранитоидного массива. Специфической чертой комбинированных даек является наличие минглинг структур течения, формирование которых возможно лишь при сосуществовании кислого и основного расплава. Иными словами, габброиды и граниты изначально должны быть разновозрастными. Действительно, по цирконам как габброидов, так и гранитов комбинированной дайки получен возраст 495 млн лет (Бурмакина и др., 2016; Цыганков и др., 2019, Владимиров и др., 2017). Однако следует отметить, что источником кислого расплава комбинированной дайки могли служить претерпевшие мобилизацию граниты Матутского массива, либо продукты плавления гранитогнейсов эрзинского комплекса.

Совокупность геологических данных (глава 3) позволяет говорить, что в пределах участка Тавыт-Даг можно наблюдать проницаемую тектоническую область внутри тела гранитов Матутского массива. Обстановки растяжения обеспечили благоприятные условия на рубеже 495 млн лет для внедрения в тело гранитоидов базитовых расплавов и формированию при их консолидации комбинированных габбро-гранитных даек (Владимиров и др., 2017).

Непосредственно на участке Тавыт-Даг можно наблюдать процесс теплового и деформационного воздействия со стороны базитов на вмещающие граниты Матутского массива (рис. 5.2). С целью характеристики подобного воздействия были проанализированы пять проб. Четыре из них отобраны на различном расстоянии от габброидов (КТ-1252-4; КТ-1252-5; КТ-1252-8; ER-02-15). Проба КТ-1252-1 взята из габброидов на контакте с гранитами.

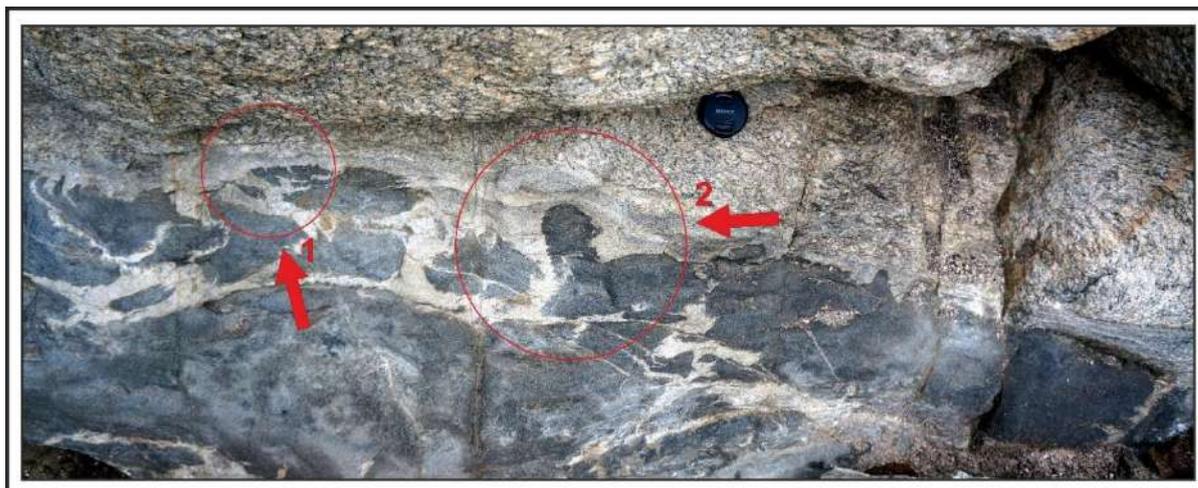


Рисунок 5.2. Структуры магматического минглинга в комбинированной дайке участка Тавыт-Даг (по (Владимиров и др., 2017) с упрощениями). 1 – контакт базитового тела, приобретающий перистый характер, конформный контакту с гранитами Матутского массива; 2 – элемент всплывания или выдавливания основного расплава в мобилизованный гранит.

### 5.2.1 Проба ER-02-15 (граниты, участок Тавыт-Даг)

Проба ER-02-15\* отобрана в гранитах Матутского массива примерно в одном метре от габбро-гранитной минглинг дайки (Бурмакина и др., 2016).

#### *Характеристика цирконов пробы ER-02-15*

Циркон из данного образца представлен призматическими кристаллами и их обломками правильной формы с частично резорбированными гранями. По данным катодолюминесценции для цирконов, в целом, характерна выраженная осцилляторная магматическая зональность, что свидетельствует о магматическом минералообразовании (рис. 5.3). Цирконы имеют дефекты структуры, проявленные в виде твердых включений, ярких и темных в КЛ трещин, нарушающих ростовую зональность. Большинство цирконов имеют следующее строение в КЛ: центральная часть, представленная в виде метамиктного ядра неправильной

\* Шашка с монофракцией циркона пробы ER-02-15 предоставлена для изучения авторами работы (Бурмакина и др., 2016; Цыганков и др., 2019).

формы; промежуточная зона с выраженной осцилляторной зональностью (разной степени свечения в КЛ) и внешняя темная в КЛ зона без признаков зональности.

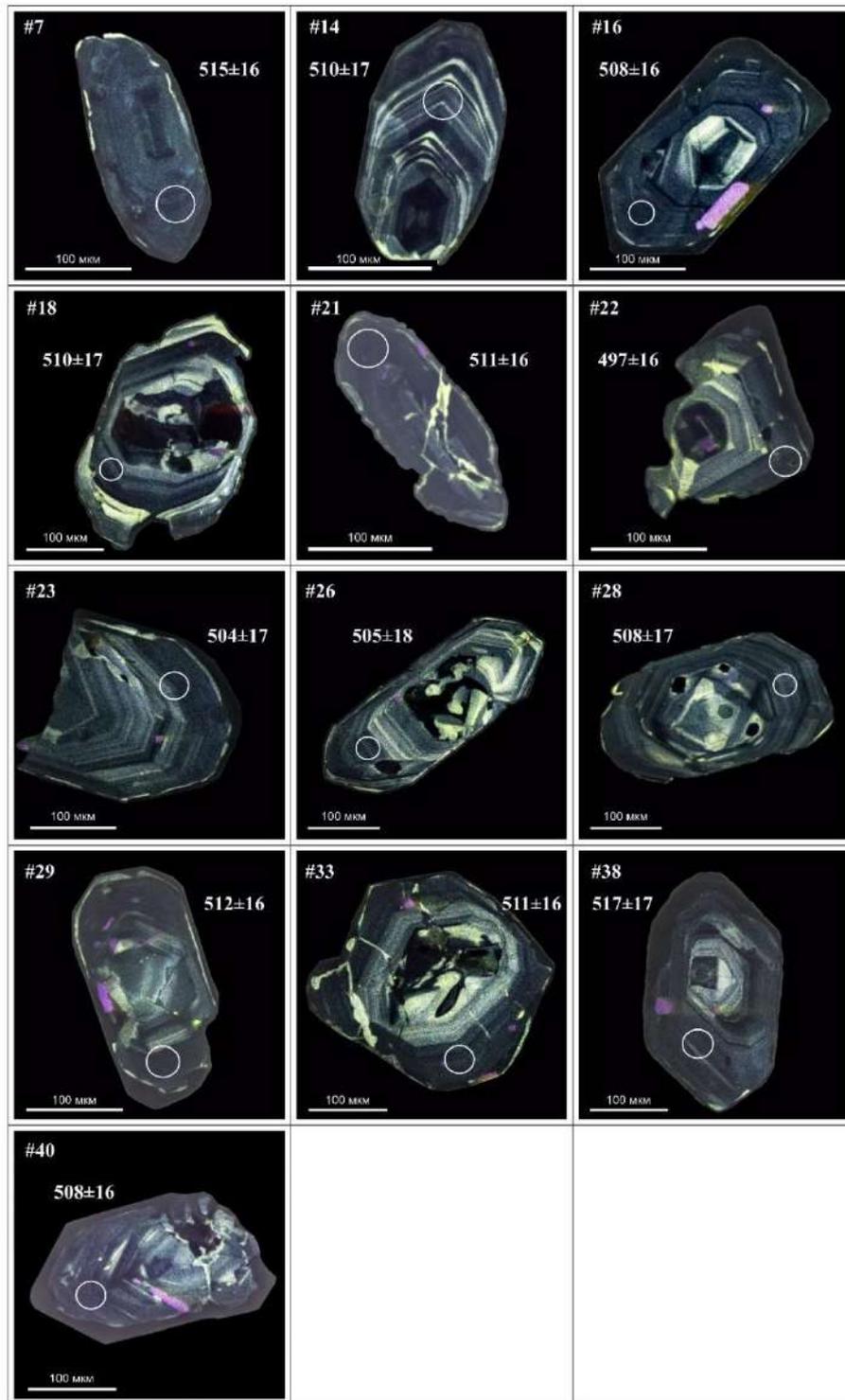


Рисунок 5.3. Католюминесцентные изображения представительных зерен циркона из гранитов минглинг-дайки, участок Тавыт-Даг, Матутский массив (образец ER-02-15). Номера точек анализа с  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возрастом соответствуют таблицы Приложения 8. Погрешность приведена на уровне  $2\sigma$ .

*Микрорентгеноспектральный анализ химического состава центральных частей цирконов с осцилляторной зональностью*

По данным микрорентгеноспектрального анализа (таблица в Приложении 5) участки цирконов с ростовой зональностью (промежуточная зона) характеризуются составом, стехиометричным цирконового (Zr - 48.77 мас.%, Si - 15.40 мас.%, O - 34.87 мас.%). Из элементов-примесей определяются Y (до 0.24 мас.%), Hf (до 1.57 мас.%), Th (до 0.17 мас.%), U (до 1.16 мас.%), P (до 0.05 мас.%), в единичных анализах - Yb (0.10 мас.%), S (0.04 мас.%), Ca (0.04 и 0.06 мас.%).

Измеренное содержание кислорода O и рассчитанное стехиометрическое –  $O_{ст}$  (34.80 мас.%) также практически совпадают между собой, отклонение от стехиометрии по кислороду и, соответственно, гидратация матрицы минимальны: среднее  $O_{изб} = 1.04$  мас.%.

*Микрорентгеноспектральный анализ химического состава темных краевых частей цирконов без осцилляторной зональности*

Внешняя темная в КЛ часть также соответствует составу цирконов (Si - 14.86 мас.%, Zr - 47.21 мас.%, O - 35.63 мас.%). Состав примесных элементов: Y (до 0.79 мас.%), Th (до 0.34 мас.%), U (до 1.40 мас.%), P (до 0.08 мас.%), Yb (в единичных точках анализа до 0.15 мас.%), Hf (до 1.62 мас.%) отличается в сторону небольшого увеличения содержания анализируемых элементов. Следует отметить присутствие таких неформульных примесных элементов, как Cl и F (в единичных точках анализа до 0.03 и 0.09 мас.% соответственно), Ca (до 0.75 мас.%), Fe (1.13 мас.%), Al (до 0.20 мас.%), Mg (до 0.09 мас.%). Среднее значение  $O_{изб} = 2.07$  мас.%, что говорит хоть и о незначительной гидратации матрицы, но в отдельных проанализированных участках величина  $O_{изб}$  доходит до 6.41 мас.%.

*Микрорентгеноспектральный анализ химического состава метамиктных частей циркона.* Центральная метамиктная часть циркона близка к стехиометричному по основным элементам: Si - 16.17 мас.%, Zr-37.06 мас.%, O - 37.91 мас.%). В состав примесных элементов входят повышенные содержания: Y (до 1.10 мас.%), Th (3.63 мас.%), U (1.47 мас.%), P (0.2 мас.%), Yb (в единичных точках анализа до 0.19), а также Hf (до 1.38 мас.%). Для данных участков также

характерно присутствие неформульных примесных элементов: Cl (до 0.08 мас.%), F (0.15 мас.% и 2.98 мас.% в единичных анализах), S (до 0.07 мас.%), Ca (до 4.11 мас.%), K (до 3.58 мас.%), Fe (до 11.83 мас.%), Al (до 4.58 мас.%), Mg (до 1.46 мас.%). По рассчитанному стехиометричному содержанию кислорода (среднее - 35.33 мас.%) гидратация матрицы составляет в среднем 4.85 мас.%, в некоторых анализах достигает значения 15.84 мас.%, что говорит о существенной гидратации. Присутствие таких неформульных элементов, а также существенная степень гидратации матрицы циркона является признаком участия флюидов.

*Микрорентгеноспектральный анализ химического состава светлых в КЛ частей циркона*

Материал ярких в КЛ трещин также имеет цирконовый состав по основным элементам: Si - 15.24 мас.%, Zr - 49.21 мас.%, O - 34.50 мас.%. По составу примесных элементов исследуемые зоны также характеризуются более чистым составом: в низких содержаниях определяются Hf (до 1.21 мас.%), P (0.03 мас.%) и в Ув единичных анализах до 0.11 мас.%. Концентрация других примесных элементов ниже пределов их обнаружения. По рассчитанному стехиометричному содержанию кислорода гидратация матрицы минимальна ( $O_{изб} = 0.34$  мас.%).

*Исследование циркона методом рамановской спектроскопии*

Для целей рамановской спектроскопии в образце ER-02-15 было отобрано представительное зерно циркона (#33, рис. 5.4 б). Для него была проведена оценка степени кристалличности (разупорядочения) структуры циркона. Ширина линии  $\nu_3(\text{SiO}_4)$  варьирует в диапазоне от 2 до 20  $\text{см}^{-1}$ , что соответствует степени метамиктности от слабой до средней. Холодными цветами на рисунке 5.4 б показаны участки со слабой степенью метамиктности ( $\nu_3$  от 2 до 7  $\text{см}^{-1}$ ), теплыми – с высокой ( $\nu_3$  от 8 до 20  $\text{см}^{-1}$ ).

Максимальная степень поврежденности структуры циркона наблюдается в центральной части зерна, она имеет сложную форму и представляет фрагмент циркона, вокруг которого сформировалась срединная часть кристалла с осциллирующей ростовой зональностью и оформленными гранями роста. Темная в КЛ изображении краевая часть зерна находится в состоянии средней степени

метамиктности ( $v_3$  от 14 до 20  $\text{см}^{-1}$ ), что аналогично центральному фрагменту. Минимальная степень метамиктности циркона наблюдается для промежуточной зональной части циркона и ярких в КЛ трещин, секущих циркон.

*Метод дифракции отраженных электронов (EBSD)* был использован для построения фазовых и ориентационных карт. В каждой точке анализа одновременно регистрировался характеристический рентгеновский спектр и ориентационные карты, по которым определялся состав и пространственная группа (ориентировка кристаллитов), соответственно. На основании построенных карт были определены участки цирконов с максимальным нарушением ориентации кристаллической решетки, возникающей в условиях деформации породы и отдельных минеральных зерен (Замятин, 2017). Ориентационные карты демонстрируют блочное строение кристалла с малоугловым разбросом ориентаций, достигающем  $6^\circ$  (рис. 5.5 в,г).

Вдоль границ блоков циркона с различной ориентацией наблюдаются секущие зерно яркие в КЛ прожилки, характеризующиеся слабой степенью метамиктности ( $v_3$  от 3 до 6  $\text{см}^{-1}$ ). Последнее позволяет предполагать, что они сформировались в результате заполнения трещин на границах разориентированных блоков, которые образовались как результат деформирования кристалла в условиях наложенных значимых термальных событий. Кроме того, следует обратить внимание на трещины, образовавшиеся на более поздних «холодных» стадиях растрескивания породы, в том числе в результате радиационного «разбухания» циркона. Центральный фрагмент зерна отличается по ориентации от остальных участков зерна на угол более  $1^\circ$  (рис. 5.4 в,г), что может быть объяснено возникновением напряжений и компенсационных сдвигов при локальном радиационном увеличении объема в зерне циркона.

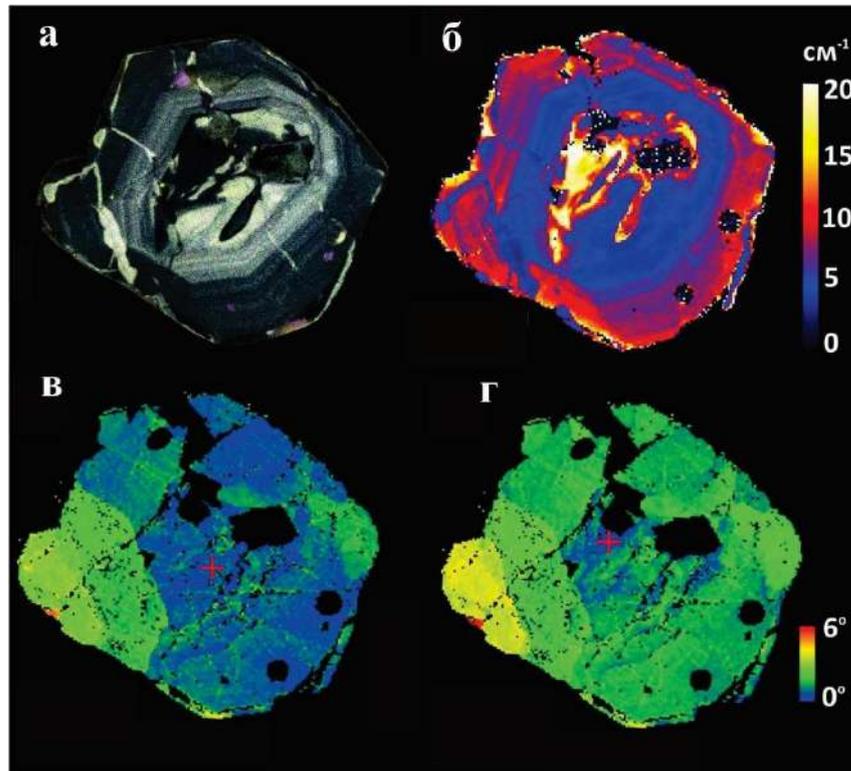


Рисунок 5.4. Результаты рамановского и EBSD исследования представительного зерна циркона из гранитов Матутского массива (образец ER-02-15, участок Тавыт-Даг): а – катодолуминесцентное изображение, б - картирование циркона по параметрам рамановской линии  $\nu_3(\text{SiO}_4)$ , в,г - ориентационные карты с результатами индексации атомных плоскостей.

Результаты проведенных детальных исследований внутреннего строения, степени метамиктности и деформаций зерен цирконов из нижнекоровых гранитоидов Матутского массива (Западный Сангилен, ЮВ Тува), отобранных в 1 метре от контакта с дайкой базитов, могут быть интерпретированы следующим образом.

Существуют признаки деформационного воздействия на зерна цирконов образца ER-02-05 с появлением трещин растяжения (нарушение сплошности), секущих ростовую зональность. В последнем случае трещины «залечиваются» в процессе рекристаллизации цирконом с малой степенью метамиктности, что говорит о динамических и достаточно высокотемпературных геологических процессах. Поскольку образец отбирался вблизи от синтектонических базитовых

даек, внедрение и становление которых происходило в ниже-, среднекоровых условиях, то деформации и наложенные тепловые процессы наиболее логично связать с внедрением базитовых минглинг-даек. Появление участков средней метамиктности во внешних оторочках зерен, как и в ранее изученных цирконах из гранитов Матутского массива (см. Глава 4) может указывать на поздние тепловые события.

*Результаты датирования цирконов с ростовой зональностью*

Для установления возраста цирконов были продатированы участки с ростовой зональностью без видимых дефектов поверхности (диаметр лазерного луча составлял 30 мкм). Точки лазерного отбора указаны на рисунке 5.3.

Результаты U-Pb датирования приведены в таблице Приложения 8. Проанализированные цирконы характеризуются содержаниями  $^{206}\text{Pb}$  (5-90 г/т), U (56-1025 г/т) и Th/U (0.02-2.06). Согласно полученным геохронологическим данным гранит образца ER-02-15 имеет возраст –  $508 \pm 3$  млн лет (СКВО = 0.33, n = 32) (рис. 5.5).

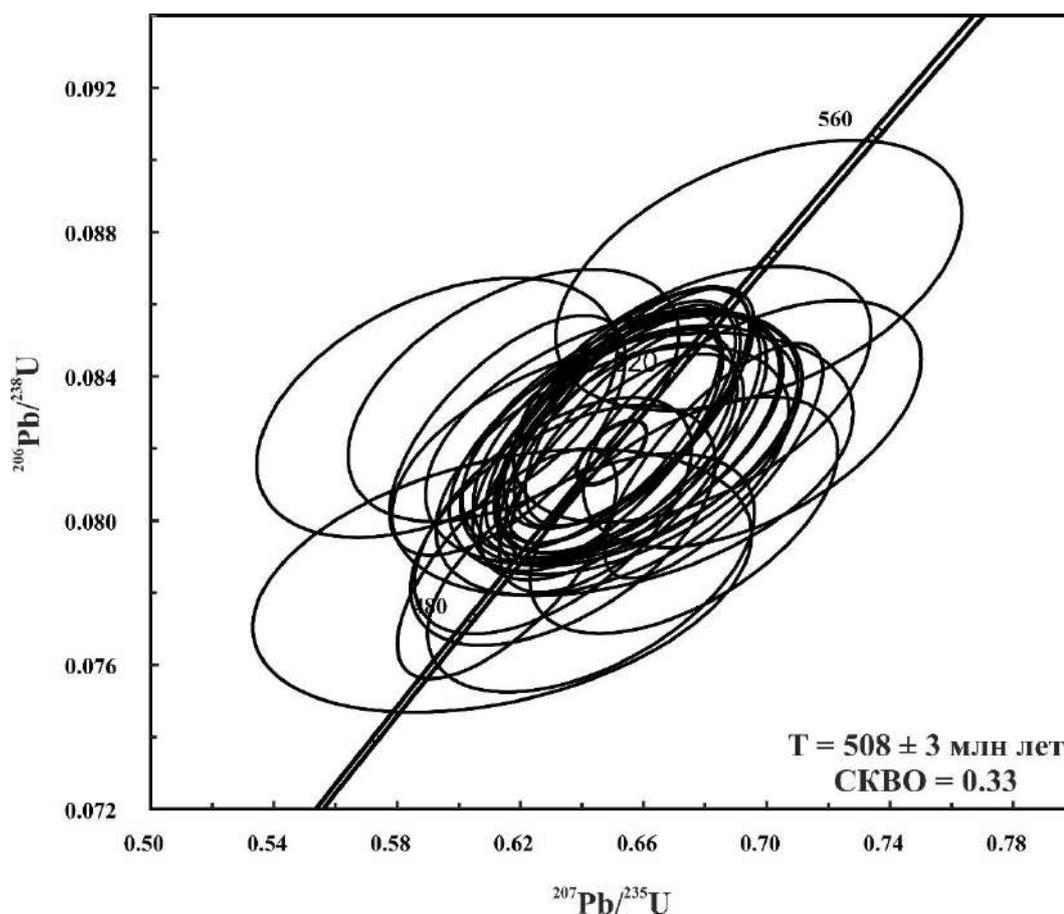


Рисунок 5.5. Диаграмма с конкордией для цирконов из гранитов Матутского массива (участок Тавыт-Даг, проба ER-02-15). Эллипсы и значения U-Pb возраста соответствуют  $2\sigma$ , включая погрешность констант распада.

### 5.2.2 Проба КТ-1252-1 (базиты минглинг-дайки, участок Тавыт-Даг)

Проба КТ-1252-1 взята из базитов центральной части комбинированной габбро-гранитной дайки (рис. 5.6). В петрографических шлифах можно видеть, что базиты пронизаны тонкими гранитными жилами (рис. 5.6, 5.7, 5.8). Габброиды мезократовые, мелкозернистые с директивностью (магматическое течение) за счет ориентировки Pl и Hbl (рис. 5.8). Гранитные жилы имеют четкие, но не тектонические контакты с базитами (рис. 5.8). Минеральный состав гранитных жил отвечает гранитному, структуры гранобластовые. При выделении монофракции цирконов гранитные жилки в базитах (рис. 5.7, 5.8) были удалены.

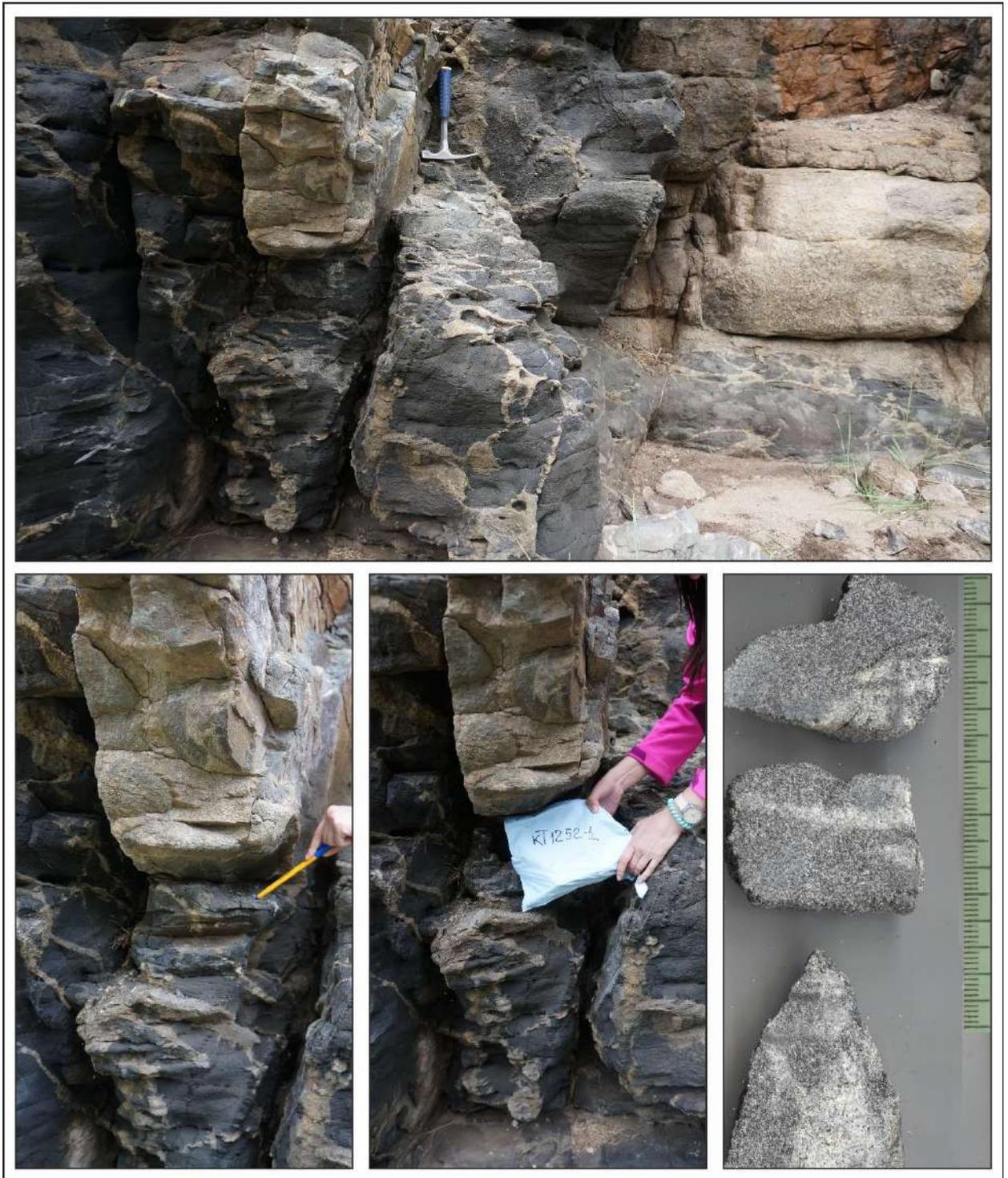


Рисунок 5.6. Место отбора пробы КТ-1252-1 из базитов минглинг дайки, секущей гранитоиды Матутского массива на участке Тавыт-Даг. Географические привязки места отбора пробы приведены в таблице 5.1. Скальное обнажение (вверху), пластинки гранитов (справа внизу).



Рисунок 5.7. Проба КТ-1252-1 из базитов минглинг дайки, секущей гранитоиды Матутского массива на участке Тавыт-Даг. Микрофотография петрографического шлифа в скрещенных николях (А) и в проходящем свете (Б). Номера в окружностях: 1 – базитовая часть минглинг дайки; 2 – гранитные жилы минглинг дайки.

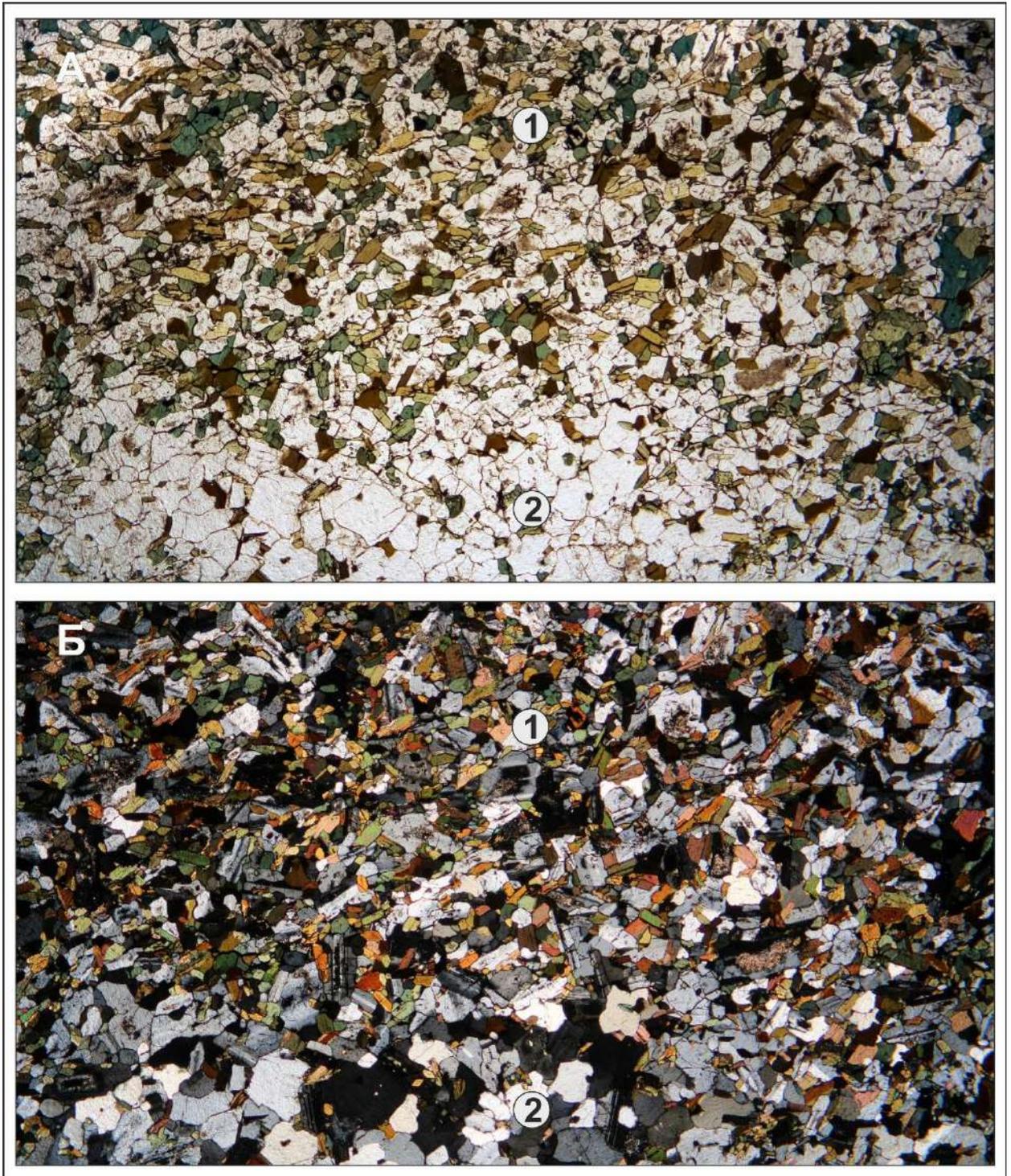


Рисунок 5.8. Проба КТ-1252-1 из базитов минглинг дайки, секущей гранитоиды Матутского массива на участке Тавыт-Даг. Микроструктуры пород минглинг-дайки с контактом кислой и базитовой частей. Микрофотография петрографического шлифа в скрещенных николях (А) и в проходящем свете (Б). Номера в окружностях: 1 – базитовая часть минглинг дайки; 2 – гранитные жилы минглинг дайки.

### *Характеристика цирконов пробы КТ-1252-1*

Циркон из пробы КТ-1252-1 представлен разнообразными по форме кристаллами. Большинство кристаллов и их осколков - длинные, вытянутые, неправильной формы с неровными гранями. Размеры кристаллов мелкие от 80 до 120 мкм в длину. Встречаются единичные длиннопризматические кристаллы с резорбированными гранями. В катодолюминесцентном изображении цирконы из образца КТ1252-1 характеризуется сложной морфологией и внутренним строением (рис. 5.9). По данным КЛ изображений цирконы из образца КТ1252-1 можно разделить на три группы.

Первая группа представлена цирконами с сохраненной первичной ростовой зональностью (например, #12, #16, #20 на рис. 5.9). По краям кристаллов наблюдаются участки (от светлых до ярких в КЛ) без признаков зональности. Также ростовая зональность цирконов прерывается и размывается в местах дефектов кристаллической структуры циркона.

#### *Рентгеноспектральный микроанализ цирконов с осцилляторной зональностью (группа 1)*

По результатам микроанализа цирконы с ростовой зональностью характеризуются составом, стехиометричным цирконовому (таблица в Приложении 3). Из элементов-примесей определяются Y (до 0.56 мас.%), Hf (до 2.35 мас.%), Th (до 0.15 мас.%), U (до 0.31 мас.%), P (до 0.45 мас.%), Er (до 0.1 мас.%), Yb (до 0.16 мас.%). Краевая часть кристаллов также соответствует составу циркона. Состав примесных элементов отличается от состава циркона с ростовой зональностью. Содержания примесных элементов немного увеличено по Y (до 0.82 мас.%), Th (0.63 мас.%), U (0.56 мас.%), P (0.54 мас.%), Yb (0.19 мас.%). Содержание гафния, наоборот, ниже (до 1.52 мас.%). Следует отметить присутствие таких неформульных примесных элементов, как Cl (до 0.07 мас.%), Ca (до 0.44 мас.%), Fe (0.46 мас.%), Al (до 0.25 мас.%), Mg (до 0.07 мас.%), что может свидетельствовать о присутствии флюидов в расплаве.

Вторую и третью группу цирконов объединяют общие признаки нарушения внутренней структуры циркона. Под признаками нарушения внутренней структуры

понимается появление специфических участков циркона со сложным внутренним строением, которые сильно отличаются от первичного циркона на катодолюминесцентных изображениях (например, #1, 2, 5, 10, 18 на рис. 5.9). Внутренне строение таких цирконов отличается появлением извилистых зон, прожилок, затеков, срезающих первичную ростовую зональность, появление пористых и богатых включениями участков циркона. По данным ряда авторов подобное строение цирконов является результатом процессов перекристаллизации/замещения в цирконе протекающих в присутствии водных флюидов и/или флюидонасыщенных расплавов (Каулина, 2010, Rubbato 2017).

Вторая группа характеризуется кристаллами неправильной формы. При этом следует отметить, что по внешнему облику цирконов, а именно по форме граней (частично развитые, нечеткие, «оплавленные») можно сделать вывод, что форма данных цирконов – это результат условий среды их кристаллизации и последующих наложенных преобразований. По внутреннему строению цирконы характеризуется конволютной зональностью с признаками локальной рекристаллизации, проявленной вероятно в результате вторичных преобразований циркона (Corfu, 2003). В пределах одного кристалла присутствуют фрагменты со слабовыраженной ростовой зональностью, прерывающейся светлыми участками аморфного вида, которые не имеют признаков выраженной зональности (например, #1, #2, #18 на рис. 5.9).

*Рентгеноспектральный микроанализ цирконов с признаками перекристаллизации (группа 2)*

По данным микроанализа участки с сохраненной зональностью имеют цирконовый состав и идентичны составу зональных цирконов первой группы: Y (до 0.59 мас.%), Hf (до 1.89 мас.%), Th (до 0.18 мас.%), U (до 0.14 мас.%), P (до 0.13 мас.%), Yb (до 0.14 мас.%).

Участки с признаками перекристаллизации циркона также характеризуются составом, стехиометричным цирконовому. По содержанию примесных элементов они обеднены, по сравнению с зональными участками: Hf (до 2.03 мас.%), Y (до

0.19 мас.%), U (до 0.1 мас.%), P (0.07 мас.%), Th (до 0.06 мас.%), остальные элементы на уровне предела обнаружения.

Третья группа включает зерна из «переработанного исходного циркона». Они имеют как признаки перекристаллизации, так и признаки химического растворения циркона. Последние, как правило, преобладают по размерам над участками перекристаллизации и ростовой зональности, либо полностью ее замещают (см. #01\*, #02\* на рис. 5.9).

*Рентгеноспектральный микроанализ цирконов с признаками химического растворения (группа 3)*

Несмотря на то, что по данным КЛ-изображений кристаллы утратили цирконовый облик, по содержанию основных элементов они характеризуются составом близким к стехиометрии циркона (таблица в Приложении 3). Участки с признаками химического растворения циркона характеризуются наличием целого ряда примесных элементов – Y (до 1.63 мас.%), Cl (до 0.19 мас.%), Ca (до 3.20 мас.%), Hf (до 1.98 мас.%), Fe (2.21 мас.%), Th (1.04 мас.%), U (0.89 мас.%), K (0.51 мас.%), Al (2.33 мас.%), Mg (0.79 мас.%), P (1.22 мас.%), Yb (0.38 мас.%). Наличие таких примесных элементов как Ca, Cl, K и т.д. указывает на участие водного флюида при вторичных преобразованиях циркона, т.е. на процесс химического растворения циркона (например, (Geisler et al. 2003; Rayner et al. 2005; Hoskin, 2003)).

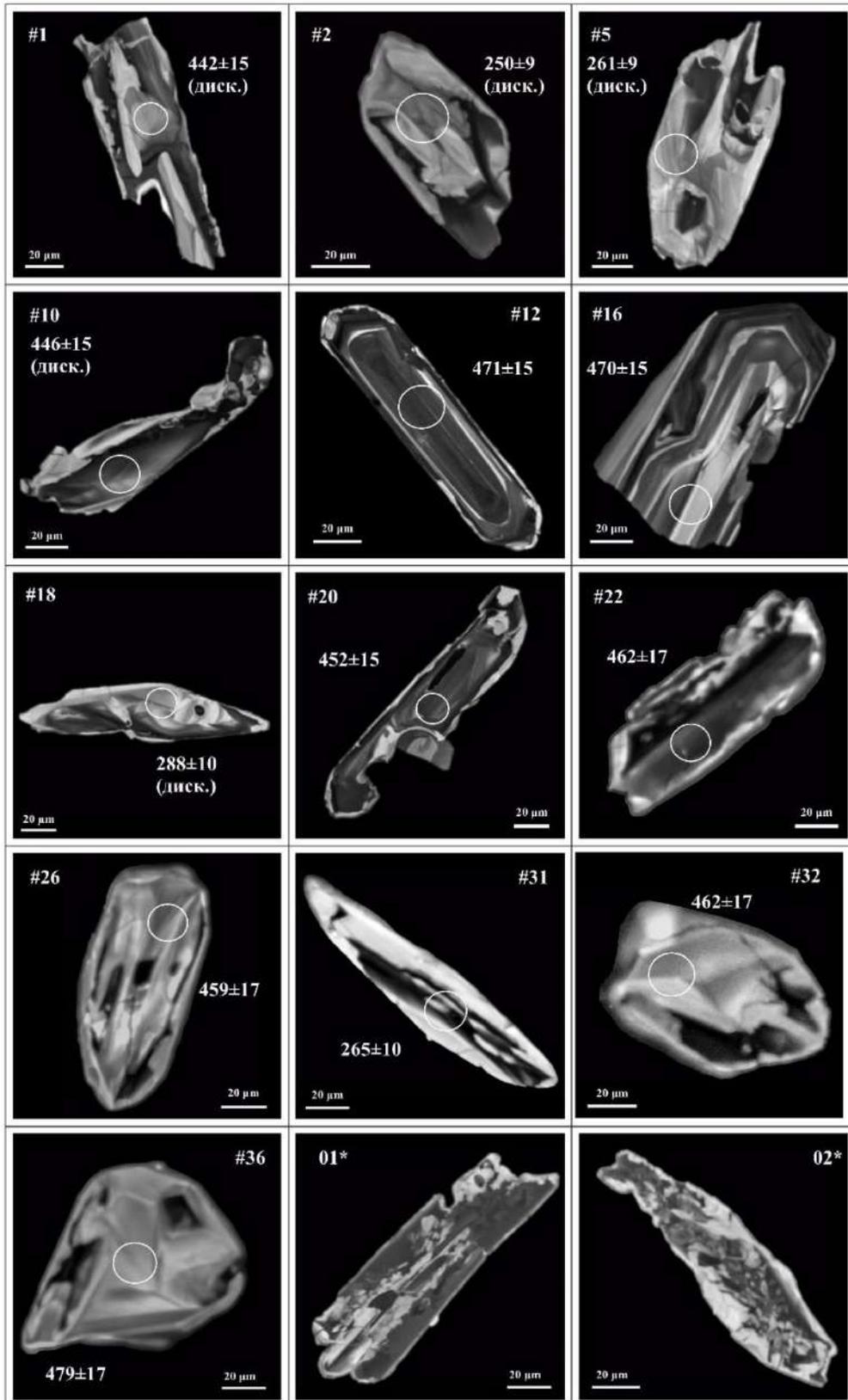


Рисунок 5.9. Катодолуминесцентные изображения представительных зерен циркона из базитов минглинг-дайки, участок Тавыт-Даг (проба КТ-1252-1). Номера точек анализа с  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возрастом соответствуют таблице в Приложении 9. Погрешность приведена на уровне  $2\sigma$ .

### *Состав элементов-примесей в цирконах*

Участки с сохраненной ростовой зональностью характеризуются сильно дифференцированным спектром распределения РЗЭ ( $(Yb/La)_N = 75-3583$ ) с выраженной положительной Се-аномалией ( $Se/Se^* = 2-14$ ) и отрицательной Eu-аномалией ( $Eu/Eu^* = 0.24-0.61$ ) (рис. 5.10а, табл. 5.2). Подобное распределение РЗЭ характерно для циркона магматического происхождения. По содержанию Ti (3.5-11.0 г/т) оценена температура кристаллизации, которая составила 683-789°C. Температурная оценка 917°C вероятно может быть некорректна, т.к. для этого анализа получены высокие содержания Ti (33.1 г/т, анализ # 1 в табл. 5.2) (Fu et al., 2008). Для этого анализа также получены самые высокие содержания примесных элементов (Ba = 10.0 г/т, Nb = 11.6 г/т, P = 1011 г/т, Th = 592 г/т, U = 921 г/т), что может быть связано с некорректным лазерным пробоотбором в результате которого был проанализирован материал из другой зоны циркона, что также говорит о некорректности рассчитанной температуры. Содержания гафния варьируют в широком диапазоне 7762-12973 г/т. Содержания тория и урана также варьируют в широком диапазоне 90-592 г/т и 321-921 г/т, при значениях Th/U 0.23-0.71, что также указывает на магматическое происхождение. Содержания других примесных элементов в целом невелики: Ba (до 1.7 г/т), Sr (до 2.1 г/т), Nb (до 5.7 г/т).

Для участков с признаками перекристаллизации циркона характерен иной более пологий спектр распределения РЗЭ ( $(Yb/La)_N = 6-45$ ) с редуцированным Се максимумом ( $Se/Se^* = 1.3-3$ ) и сохранением Eu-аномалии ( $Eu/Eu^* = 0.39-0.61$ ) (табл. 5.2, рис. 5.10 б). Подобное распределение РЗЭ не характерно для магматического циркона и свидетельствует о значительных преобразованиях. Содержание легких РЗЭ повышено по сравнению с участками ростовой зональности ( $(Yb/La)_N = 6-45$ ). Содержания примесных элементов также заметно выше (Ba до 7.1 г/т, Sr до 14.3 г/т, P до 3871 г/т, Nb до 19.2 г/т). Содержание гафния, напротив, находится в том же интервале значений 8252-11121 г/т. Содержания тория и урана заметно выше, чем в цирконах первой группы и варьируют в широком диапазоне 130-1234 г/т и 359-1183 г/т, соответственно. Значения Th/U отношения находятся в тех же

пределах, что и в участках с ростовой зональностью, 0.31-0.86, за исключением данных единичного анализа (анализ #16 в табл. 5.2), для которого получено высокое содержание Th. Температура по Ti-термометру составляет 690-879°C, за исключением двух анализов с высоким содержанием титана (анализ #12 - 31 г/т, анализ #17 – 30.7 г/т, табл. 5.2).

Участки с признаками химического осаждения имеют пологий спектр распределения РЗЭ ( $(Yb/La)_N = 2-20$ ,  $(Yb/Gd)_N = 2-12$ ) с исчезновением Ce-аномалии и слабой отрицательной Eu-аномалией ( $Eu/Eu^* = 0.43-0.52$ ) (табл. 5.2, рис. 5.10 в). Для данных участков характерно самое высокое содержание РЗЭ (2489-11547 г/т) и Y (до 6825 г/т), в особенности легких РЗЭ (908-6951 г/т). По другим проанализированным элементам также наблюдается существенное увеличение содержания: Ba = 917.5-151.4 г/т, Sr = 15.1-135.3 г/т, P = 276-1595 г/т, Nb = 4.9-40.6 г/т. Содержания гафния варьируют в диапазоне 6671-9844 г/т, что, в целом, не отличается от значений в цирконах других групп. Содержание Ti в анализируемых участках циркона слишком высокое для вычисления температур кристаллизации циркона. Кроме того, использование Ti-термометра, учитывая природу анализируемых цирконов, будет некорректно. Для проанализированных участков наблюдается сильное обогащение U (1233-6533 г/т) и Th (1300-11553 г/т). Значения Th/U демонстрируют широкий разброс от 0.35 до 2.89, но, в целом, значительно выше 1, что может быть связано с наличием твердых микровключений (Tomaschek et al., 2003).

Учитывая полученные результаты, можно сделать вывод, что изменение первичного циркона происходило при температурах достигающих 870°C при активном участии флюида, что обеспечило протекание процессов замещения/перекристаллизации и изменение химического состава уже существующего циркона. Подобные преобразования циркона привели к уничтожению «магматических» меток в полученных РЗЭ-спектрах. Экспериментальные исследования и изучение природного циркона показали, что процессы изменения первичного циркона проходят путем протекания двойного процесса растворения-переосаждения (dissolution-reprecipitation) при

взаимодействии с водным флюидом и/или флюидонасыщенным расплавом (Каулина, 2010; Geisler et al., 2007; Rubatto, 2017). Водные фазы проникают внутрь и «катализируют» структурную перестройку циркона. Появляются наноразмерные поры (зерна 01\*, 02\* на рис. 5.9). Прореагировавшие области получают значительные количества катионов растворителя, например, Ca, Al, Fe, которые могут достигать нескольких массовых процентов (Geisler et al. 2003, 2007; Rayner et al. 2005).

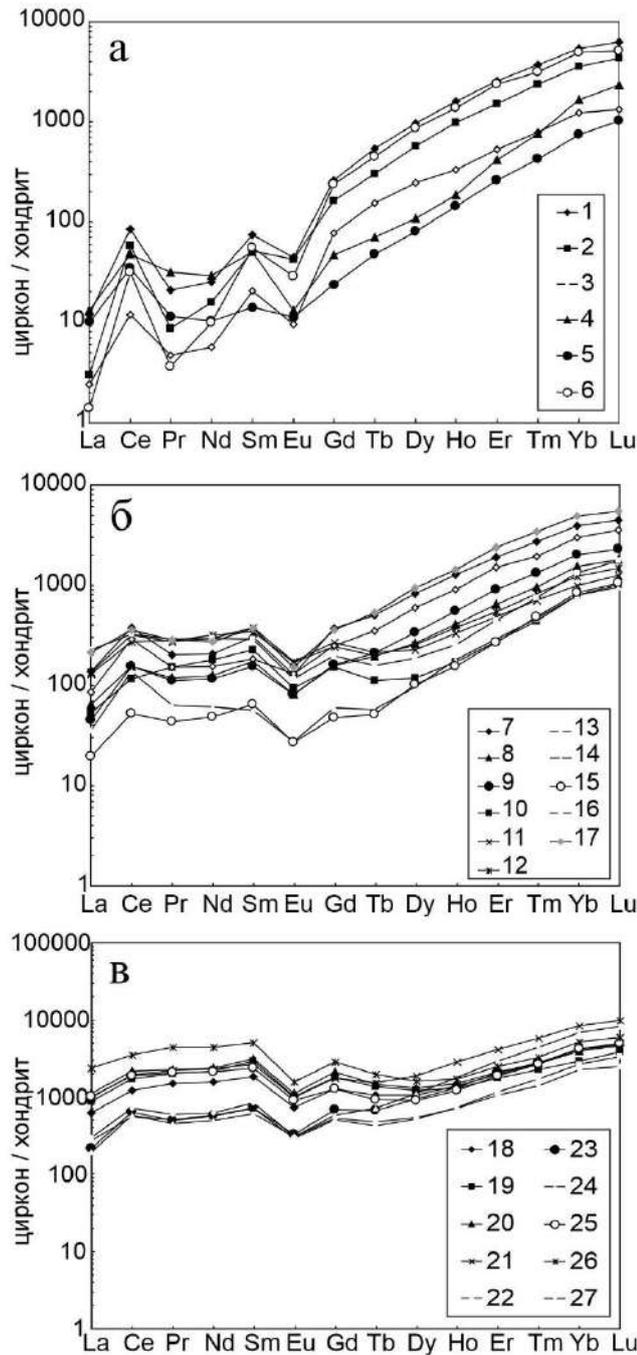


Рисунок 5.10. Спектры распределения РЗЭ в цирконе из базитов минглингдайки, участок Тавыт-Даг, Матутского массива (образец КТ-1252-1): а – участки с ростовой зональностью (неизмененный циркон, группа 1); б – участки с признаками рекристаллизации циркона (группа 2); и – участки с признаками химического растворения (группа 3). Нумерация точек соответствует номерам точек анализа в таблице 5.2.

Таблица 5.2. Концентрация элементов-примесей в цирконе из базитовой составляющей комбинированной дайки, участок Тавыт-Даг (проба КТ-1252-1).

Элемент	цирканы, группа 1						цирканы, группа 2		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
La	3.7	0.9	0.7	4.1	3.1	0.4	42.8	19.9	14.0
Ce	68.4	47.5	9.6	38.5	27.9	25.6	307.4	124.7	126.1
Pr	2.6	1.1	0.6	3.9	1.4	0.4	24.8	14.4	13.8
Nd	15.1	9.4	3.4	17.5	6.2	5.9	124.5	76.0	70.4
Sm	14.6	10.0	4.0	9.8	2.8	10.7	59.7	33.9	30.4
Eu	3.3	3.2	0.7	1.0	0.8	2.1	9.6	6.0	6.0
Gd	68.3	42.1	20.2	12.0	6.2	61.3	95.9	41.4	42.0
Tb	25.7	14.5	7.3	3.4	2.3	21.2	24.1	9.3	10.0
Dy	314.4	186.3	80.4	35.1	25.8	280.5	266.0	85.5	108.7
Ho	114.8	70.8	24.1	13.5	10.3	99.8	92.4	29.5	39.8
Er	539	322	112	88	55	499	406	136	190
Tm	120	77	25	24	14	102	90	32	43
Yb	1138	757	256	345	156	1036	835	327	429
Lu	200	139	43	75	33	165	145	58	74
P	1011	442	224	188	607	623	614	3874	262
Ti	33.6	6.6	3.5	11.0	5.1	5.5	21.0	15.0	15.3
Sr	2.0	0.8	0.5	1.7	2.1	1.1	3.8	14.3	2.9
Y	3671	2028	818	496	325	2939	2942	929	1276
Nb	11.6	5.4	3.1	5.7	2.1	4.0	19.2	3.3	4.8
Ba	10.0	0.3	0.3	1.7	0.6	b.d.l.	4.7	3.2	2.7
Hf	7762	8513	10009	12973	10253	9656	8962	9270	8958
Th	592	340	237	195	90	342	630	327	375
U	921	479	793	848	321	761	782	555	642
Th/U	0.64	0.71	0.30	0.23	0.28	0.45	0.81	0.59	0.58
Eu/Eu*	0.32	0.47	0.24	0.27	0.61	0.25	0.39	0.49	0.52
Ce/Ce*	5	11	4	2	3	14	2	2	2
$\Sigma$ REE	2627	1680	587	672	344	2311	2523	993	1198
$\Sigma$ LREE	90	59	14	64	39	32	500	235	224
$\Sigma$ HREE	2519	1608	568	597	302	2265	1954	718	937
Yb/Lan	456	1206	514	126	75	3583	29	24	45
Yb/Gdn	21	22	16	36	31	21	11	10	13
T, °C	917	740	683	789	716	723	859	822	824

Таблица 5.2. Продолжение.

Элемент	цирконы, группа 2							
	10	11	12	13	14	15	16	17
La	16.6	41.8	40.9	26.5	11.2	6.0	70.3	66.1
Ce	93.9	259.9	221.8	233.8	112.7	42.5	264.0	291.7
Pr	18.5	33.5	34.1	18.6	7.8	5.3	35.5	34.7
Nd	107.6	178.9	192.0	93.4	36.5	29.0	176.5	166.0
Sm	44.1	74.7	67.4	35.9	10.9	12.7	57.3	73.2
Eu	7.0	12.9	12.6	9.6	2.0	2.0	8.7	11.2
Gd	39.4	69.3	64.1	65.3	15.5	12.3	51.6	93.8
Tb	5.4	10.3	9.4	16.6	2.7	2.5	7.5	25.6
Dy	38.4	73.0	81.4	194.4	31.3	33.0	60.1	303.4
Ho	12.4	23.7	27.3	65.6	12.9	11.1	18.4	103.3
Er	57	102	115	322	61	56	95	504
Tm	14	23	27	63	15	16	25	112
Yb	166	209	260	639	168	177	279	1049
Lu	33	40	48	115	31	34	57	179
P	140	233	329	578	132	184	465	963
Ti	15.7	24.8	31.0	15.8	4.7	3.8	19.0	30.7
Sr	4.7	5.9	5.2	5.2	2.2	2.1	3.8	5.4
Y	405	721	913	2091	361	351	556	2687
Nb	1.4	2.4	3.0	5.8	2.0	2.0	2.1	18.8
Ba	4.7	7.1	6.3	6.8	3.1	1.1	4.3	5.1
Hf	10844	9093	9592	8252	9617	11121	8461	9442
Th	160	278	345	687	143	130	1234	619
U	520	678	609	798	360	359	903	1183
Th/U	0.31	0.41	0.57	0.86	0.40	0.36	1.37	0.52
Eu/Eu*	0.51	0.55	0.59	0.61	0.47	0.49	0.49	0.41
Ce/Ce*	1.3	1.7	1.4	3	3	2	1.3	1.5
$\Sigma$ REE	654	1152	1201	1899	518	439	1206	3013
$\Sigma$ LREE	237	514	489	372	168	83	546	559
$\Sigma$ HREE	366	551	633	1481	337	342	594	2370
Yb/Lan	15	7	9	36	22	44	6	24
Yb/Gdn	5	4	5	12	13	18	7	14
T, °C	826	879	907	827	708	690	848	905

Таблица 5.2. Окончание.

Элемент	цирконы, группа 3									
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
La	197	283	353	317	86	68	62	318	749	94
Ce	1000	1412	1777	1610	456	530	482	1553	2924	596
Pr	189	255	282	275	63	62	56	255	551	74
Nd	967	1333	1460	1438	358	348	308	1289	2728	386
Sm	365	588	622	532	142	142	120	472	1018	169
Eu	55	77	83	75	22	25	23	68	120	23
Gd	335	481	563	462	133	182	154	339	760	142
Tb	51	67	70	74	21	33	35	44	96	23
Dy	351	404	427	624	171	314	365	297	523	181
Ho	103	95	111	207	54	99	131	89	126	53
Er	428	378	458	891	249	445	620	408	539	227
Tm	90	75	91	195	57	92	148	89	109	47
Yb	850	627	845	1791	566	906	1471	895	1110	482
Lu	152	126	166	323	111	153	272	164	196	81
P	809	848	1132	1081	415	562	1012	1165	1595	276
Ti	95	179	316	71	52	45	48	166	103	56
Sr	43	57	73	116	17	24	17	71	135	15
Y	3456	3127	3651	6825	1784	3301	4061	2971	4072	1376
Nb	12.3	6.2	12.5	26.9	9.4	40.6	30.1	11.8	13.6	4.9
Ba	44	65	70	151	17	23	22	53	130	18
Hf	7763	7809	8254	6690	6675	6891	7190	6671	9844	8873
Th	2086	1605	3416	5871	1769	11028	6393	1300	11553	560
U	1233	1732	2457	3916	1324	3811	3313	3698	6533	1491
Th/U	1.69	0.93	1.39	1.50	1.34	2.89	1.93	0.35	1.77	0.38
Eu/Eu*	0.48	0.44	0.43	0.46	0.49	0.47	0.52	0.52	0.42	0.45
Ce/Ce*	1.2	1.3	1.4	1.3	1.5	2	2	1.3	1.1	2
ΣREE	5132	6202	7308	8815	2489	3400	4247	6279	11547	2579
ΣLREE	2353	3283	3872	3641	963	1009	908	3415	6951	1151
ΣHREE	2358	2254	2731	4567	1362	2225	3196	2324	3458	1236
Yb/Lan	6	3	4	8	10	20	35	4	2	8
Yb/Gdn	3	2	2	5	5	6	12	3	2	4
T, °C	1066	1178	1295	1022	975	955	964	1164	1080	985

*Результаты U-Pb датирования цирконов.*

U/Pb-датирование цирконов образца КТ1252-1 проводилось как по участкам с ростовой зональностью, так и по участкам с признаками перекристаллизации циркона (см. рис. 5.9, таблица в Приложении 9).

Возраст, полученный по верхней точке пересечения с конкордией, составил  $486 \pm 16$  (СКВО = 7.8, N = 45) (рис. 5.11 а). Большинство из проанализированных зерен циркона (25 из 45) располагается под и вдоль конкордии в диапазоне от 250 до 452 млн лет. Наиболее дискордантные значения возраста получены для участков с признаками перекристаллизации циркона.

На рисунке 5.11 б представлен возраст, рассчитанный по точкам анализа участков с ростовой зональностью. Так, по 20 конкордантным и субконкордантным точкам, т.е. точкам, пересекающим конкордию в пределах погрешности единичного измерения, получен средневзвешенный возраст  $469 \pm 5$  млн лет (СКВО = 5.0).

Несмотря на то, что полученные оценки возраста цирконов  $486 \pm 16$  и  $469 \pm 5$  млн лет пересекаются в пределах погрешностей, следует отметить серьезную разницу в полученных значениях. В ряде работ по исследованию циркона упоминается, что, помимо прироста катионов растворителя, циркон может терять Zr, Si, Hf, REE, U, Th и радиогенный Pb (Pidgeon et al. 1966, 1995; Geisler et al. 2003). При этом отмечается, что в экспериментах, проведенных при температурах флюида выше  $600^\circ\text{C}$ , U-Pb возраст циркона показывал конкордантные значения (например Geisler et al., 2003). Однако экспериментально измененные домены обычно сохраняли только память об их U-Pb изотопном составе, что приводило на диаграмме конкордии к линейному массиву точек данных (дискордии), указывающих на время события потери Pb. Основываясь на данной информации, можно сделать вывод, что оценка возраста, рассчитанная по верхнему пересечению с конкордией ( $486 \pm 16$  млн лет) является более достоверной.

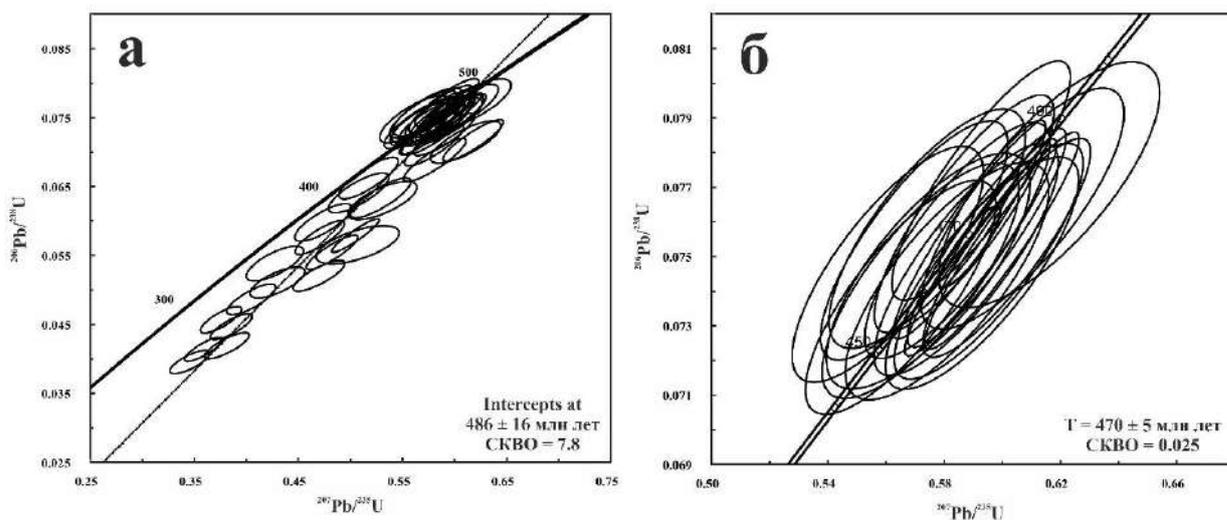


Рисунок 5.11. Диаграмма с конкордией для цирконов из базитов минглинг-дайки, участок Тавыт-Даг (проба КТ-1252-1). Эллипсы и значения U-Pb возраста соответствуют  $2\sigma$ , включая погрешность констант распада. Пояснения в тексте.

В результате исследования цирконов из базитовой составляющей комбинированной дайки выявлены особенности внутреннего строения циркона, которые являются свидетельствами его преобразований. Помимо группы цирконов с сохраненной ростовой зональностью, определены две группы измененных цирконов с нарушенной зональностью и внутренней структурой циркона. В измененном цирконе наблюдается частичное или полное нарушение первичного внутреннего строения циркона с появлением участков, контрастно различающихся в КЛ изображениях и отличающихся химическим составом.

Изменение первичного циркона происходило в результате воздействия процессов замещения/перекристаллизации, заключающихся в изменении химического состава (обогащение неформульными элементами-примесями, в т.ч. легкими РЗЭ, Cl, Ca, K, Al, Fe, Mg) уже существующего циркона и протекавших при активном участии флюида или флюидонасыщенного расплава при температурах, достигающих  $870^{\circ}\text{C}$ . Кроме того, под действием флюидов активно протекал вынос радиогенного свинца, что отразилось на U-Pb возрасте анализируемых цирконов –  $486 \pm 16$  млн лет по верхнему пересечению с дискордией.

### 5.2.3 Проба КТ-1252-4

(граниты минглинг-дайки, участок Тавыт-Даг)

Проба КТ-1252-4 взята из гибридизированного гранита из зоны контакта минглинг дайки с гранитами Матутского гранитоидного массива (рис. 5.12).

Непосредственно в обнажении в зоне контакта (рис. 3.6, 5.12) наблюдаются признаки пластических деформаций, отражающих взаимодействие базитовых и кислых магм. Однако на микроуровне в петрографических шлифах признаки деформаций и других наложенных процессов отсутствуют (рис. 5.12). Порода плотная со слабой полосчатостью. Структуры – мелкозернистые полнокристаллические равномернозернистые гипидиоморфнозернистые гранитовые (рис. 5.13)

Отсутствие признаков деформаций может быть объяснено синкинематическим характером магматических структур.



Рисунок 5.12. Место отбора пробы КТ-1252-4 в эндоконтакте минглинг дайки (участок Тавыт-Даг). Географические привязки места отбора пробы приведены в таблице 5.1. Скальное обнажение (вверху), пластинки гранитов (слева внизу) и микрофотография петрографического шлифа в скрещенных николях (справа внизу).

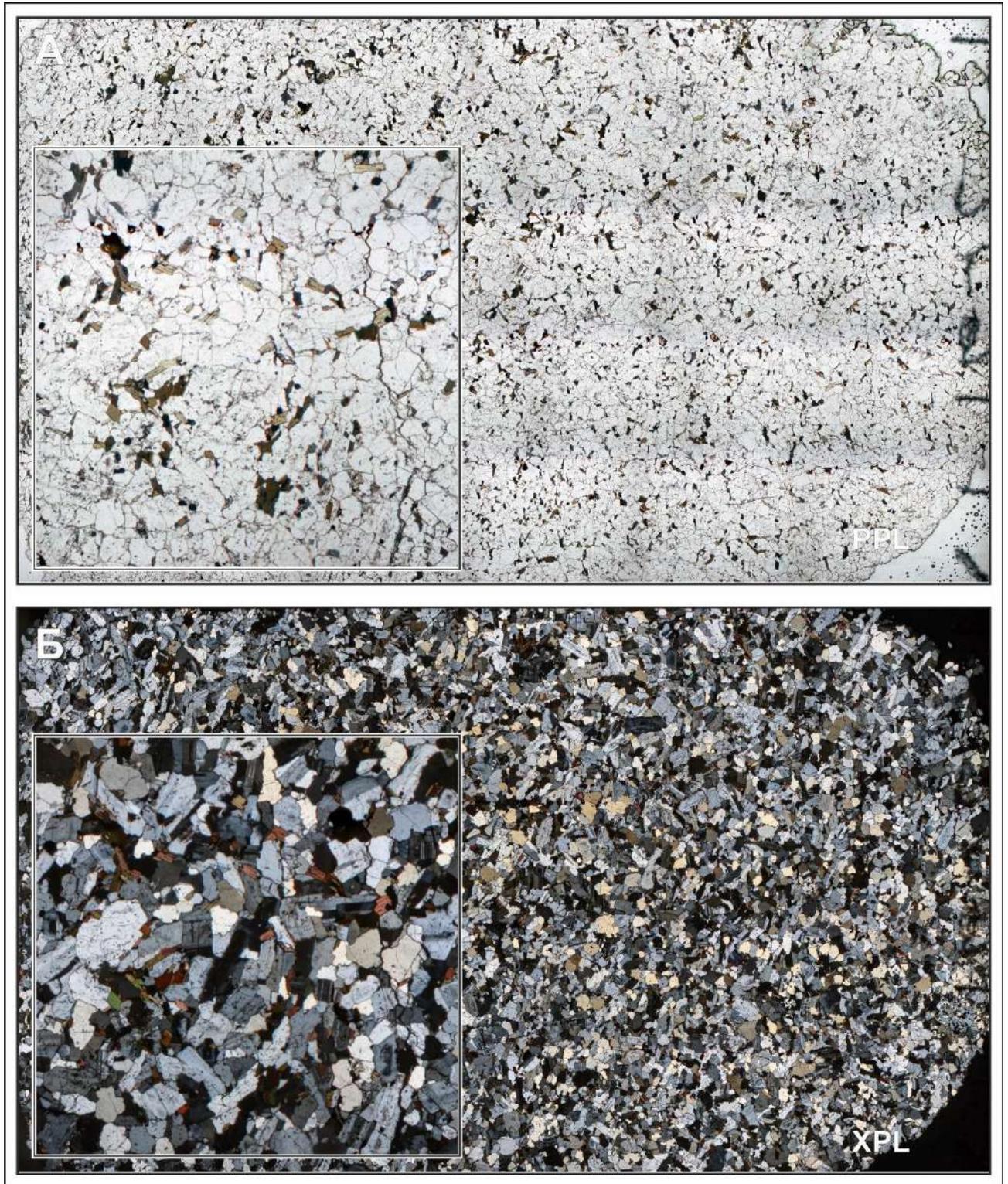


Рисунок 5.13. Проба КТ-1252-4 из эндоконтакта минглинг дайки (участок Тавыт-Даг). Микрофотография петрографического шлифа в скрещенных николях (А) и в проходящем свете (Б).

*Характеристика цирконов пробы КТ-1252-4*

Циркон из образца КТ-1252-4 представлен призматическими кристаллами, различными по морфологии и строению, которые условно можно разделить на две группы (рис. 5.14, 5.15). К первой группе относятся длиннопризматические кристаллы размером 150-300 мкм с коэффициентом удлинения 2-4.5. Ко второй группе относятся призматические, короткопризматические кристаллы размером от 150 до 300 мкм с коэффициентом удлинения 1.5-2. По данным катодолюминесценции цирконы имеют различия в строении. В целом, для цирконов обеих групп характерна осцилляторная магматическая зональность и неравномерное обрастание темной в КЛ каймой (размером не более 10 мкм).

Цирконы первой группы обладают менее ярким свечением в КЛ и характеризуются однородным строением внутренней зоны кристаллов (#1, #2, #14-16, #24, #25 на рис. 5.14). Внешняя часть в большинстве кристаллов представлена незональной темной каймой. В пределах кристалла наблюдаются участки с нарушенной зональностью, находящиеся на границе внутренней зональной части циркона и внешней темной каймы.

Цирконы второй группы также характеризуются сложным строением (#3, #4, #13, #17, #26, #29 на рис. 5.15). Для них характерно наличие нескольких зон в пределах кристалла, различающихся по характеру зональности и степени свечения. В строении цирконов второй группы, в целом, циркон характеризуется осцилляторной зональностью, которая прерывается участками с нарушенной зональностью и внешней, незональной, темной в КЛ каймой. Нередко темная кайма имеет дефекты поверхности. В целом, цирконы второй группы схожи по строению с цирконами из гранитов Матутского массива (пробы КТ-1324, КТ-1070, КТ-1256), но имеют явные признаки дефектов кристаллической структуры циркона. Исходя из места отбора пробы, можно предположить, что это захваченные цирконы из вмещающих гранитов Матутского массива.

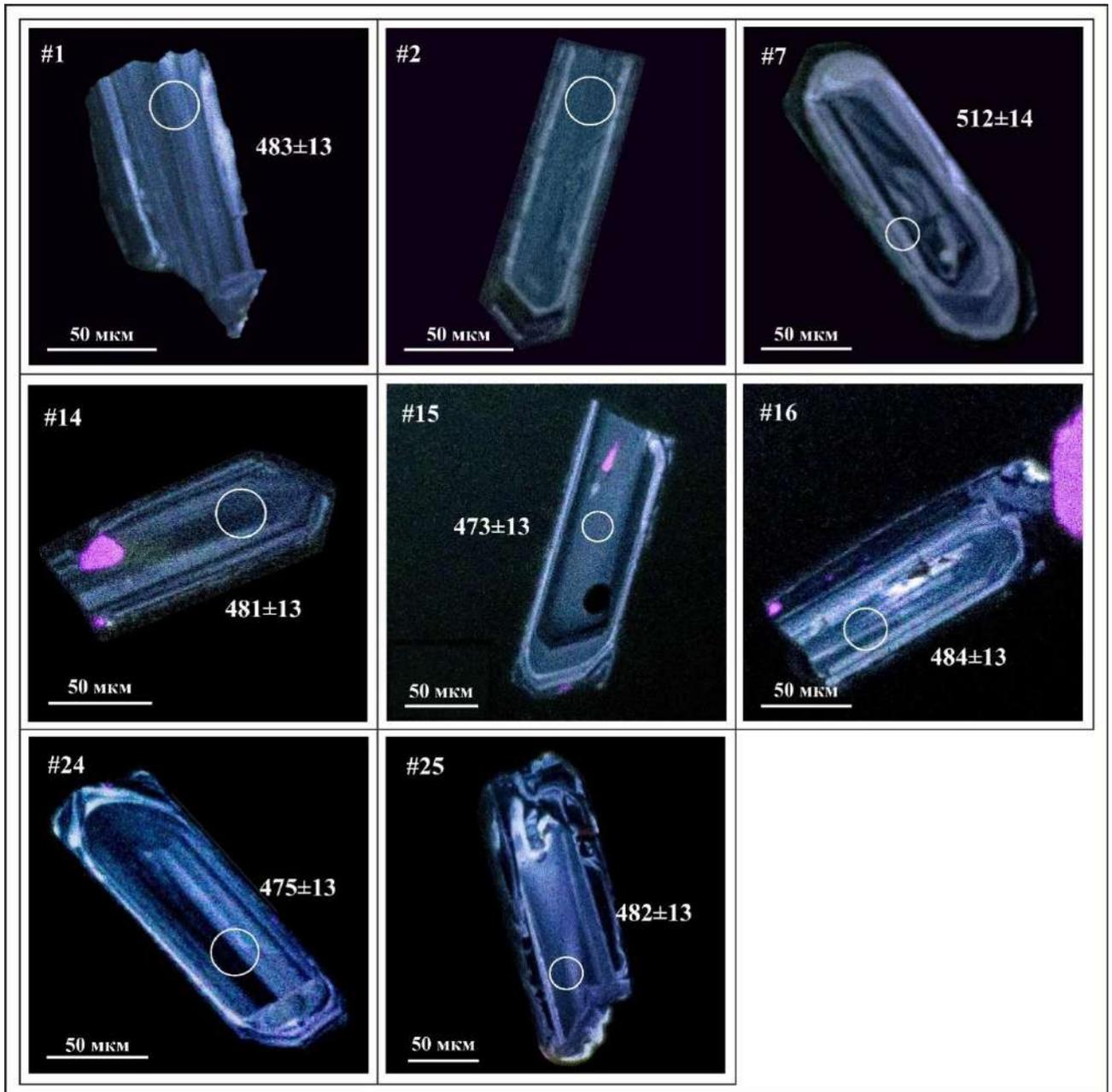


Рисунок 5.14. Катодоллюминесцентные изображения представительных зерен циркона 1-й группы из гранитов минглинг-дайки, участок Тавыт-Даг, Матутский массив (образец КТ-1252-4). Номера точек анализа с  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возрастом соответствуют таблице Приложения 11. Погрешность приведена на уровне  $2\sigma$ .

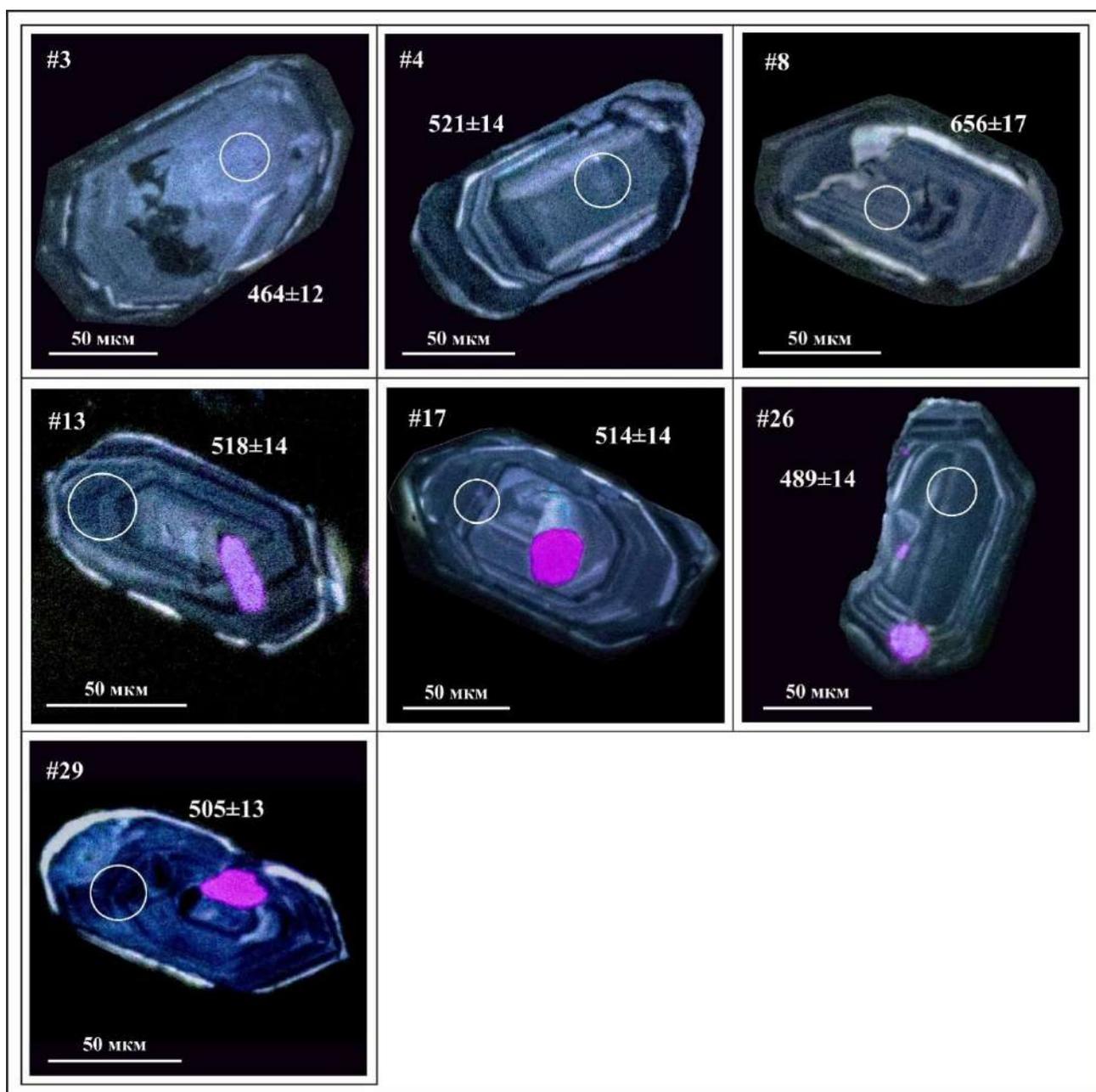


Рисунок 5.15. Катодоллюминесцентные изображения представительных зерен циркона 2-й группы из гранитов минглинг-дайки, участок Тавыт-Даг, Матутский массив (образец КТ-1252-4). Номера точек анализа с  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возрастом соответствуют таблице Приложения 11. Погрешность приведена на уровне  $2\sigma$ .

#### *Рентгеноспектральный микроанализ цирконов первой группы*

Участки с осцилляторной зональностью характеризуются цирконовым составом (таблица в Приложении 10). Среди примесных элементов определяются:

Hf (до 1.57 мас.%), Y (до 1.26 мас.%), P (0.52 мас.%), Yb (0.40 мас.%), Th (0.31 мас.%), U (0.67 мас.%), остальные элементы на уровне предела обнаружения.

Темная кайма цирконов также соответствует цирконовому составу по основным элементам. Среди элементов-примесей определяются Hf (до 1.48 мас.%), Y (до 0.88 мас.%), P (0.13 мас.%), Yb (0.24 мас.%), Th (0.32 мас.%), U (0.31 мас.%). Среди нетипичных примесных элементов в небольших содержаниях определяются Cl (до 0.03 мас.%), Ca (до 0.18 мас.%), Fe (0.12 мас.%), K (0.08 мас.%), Al (до 0.04 мас.%), Mg (0.03 мас.%). Наличие этих примесных элементов указывает на участие водного флюида при вторичных преобразованиях циркона, т.е. на процесс химического растворения циркона.

*Рентгеноспектральный микроанализ цирконов второй группы.*

Участки цирконов с осцилляторной зональностью без видимых в КЛ дефектов характеризуются цирконовым составом. По содержанию примесных элементов определяются типичные для циркона - Hf (до 1.40 мас.%), в единичных зернах встречается Y (до 0.31 мас.%), P (0.13 мас.%), Yb (0.15 мас.%). Содержания U и Th также, в основном, на уровне предела обнаружения метода: до 0.1 мас.% и до 0.06 мас.%, соответственно. Содержания редкоземельных элементов в единичных зернах редко превышают предел обнаружения. Химический состав внешней темной каймы цирконов также стехиометричен цирконовому по основным элементам. По остальным элементам также не наблюдается явных отличий от состава зональной части зерен цирконов - Hf (до 1.41 мас.%), в единичных зернах встречается Y (до 0.10 мас.%), P (0.05 мас.%), Yb (0.15 мас.%), U (до 0.13 мас.%) и Th (до 0.08 мас.%).

Участки с нарушенной зональностью для цирконов обеих групп характеризуются следующим составом: Hf (до 1.17 мас.%), Y (до 2.25 мас.%), P (до 0.30 мас.%), Yb (до 0.45 мас.%), Th (до 1.00 мас.%), U (до 0.27 мас.%), а также повышенными содержаниями неформульных элементов-примесей: Ca (до 2.56 мас.%), Fe (до 1.11 мас.%), Al (до 0.92 мас.%), Mg (до 0.24 мас.%), Mn (до 0.08 мас.%), F (до 0.23 мас.%), что также указывает на участие водного флюида при вторичных преобразованиях циркона.

### *Результаты U-Pb датирования цирконов*

Для установления возраста цирконов были продатированы участки с ростовой зональностью без видимых дефектов поверхности (диаметр лазерного луча составлял 35 мкм). Точки лазерного отбора указаны на рисунках 5.14, 5.15. Результаты U-Pb датирования приведены в таблице Приложения 11.

По результатам датирования большинство проанализированных зерен циркона распределились на два разновозрастных кластера (рис. 5.16). Три точки были исключены из рассмотрения: две точки (#6, #22, таблица Приложения 11) имеют высокую степень дискордантности, еще одна точка (#8, таблица Приложения 11) с  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  возрастом  $656 \pm 17$  млн лет не попадает ни в одну возрастную группу. Поскольку это единичный анализ с таким возрастом в исследуемой выборке, то он исключен из рассмотрения.

Для цирконов первой группы получен возраст  $482 \pm 4$  млн лет (СКВО = 4.6, N = 17, рис. 5.16 б), что совпадает с возрастом цирконов пробы КТ-1252-1 и, следовательно, подтверждает одновозрастность базитовой и салической составляющей минглинг дайки. По содержанию измеряемых элементов  $^{206}\text{Pb} = 24\text{-}197$  г/т, U = 353-2820 г/т и Th/U = 0.1-0.85 они также не отличаются от цирконов из базитов минглинг-дайки (проба КТ-1252-1). Для анализа #25 получено высокое содержание U = 16081 г/т. Три анализа (#3, #5, #26), отвечающие цирконам, попадающим по морфологическим признакам во вторую группу, также дают близкий возраст ( $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  возраст):  $464 \pm 12$ ,  $487 \pm 13$ ,  $489 \pm 14$  млн лет соответственно.

Другой кластер составляют цирконы из второй группы. Хотя для датирования этих цирконов выбирались участки с сохраненной зональностью, тем не менее для большинства цирконов получен возраст с высокой степенью дискордантности. Цирконы, образующие второй кластер, имеют содержания  $^{206}\text{Pb} = 10\text{-}131$  г/т, U = 143-1643 г/т и Th/U = 0.22-1.47. Возраст кластера составил  $519 \pm 7$  млн лет (СКВО = 12, n = 8) при нулевой вероятности конкордантности (рис. 5.16 в). Средневзвешенный возраст, рассчитанный по  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  отношению составил  $512 \pm 9$  млн лет (СКВО = 3.2, n = 9). Учитывая, что проба отобрана из зоны контакта

минглинг дайки и гранитов Матутского массива, а также схожесть внутреннего строения циркона из проб КТ-1324, КТ-1070, вероятнее всего считать, что это цирконы из вмещающих гранитов Матутского массива. Дискордантное значение возраста (и более молодой  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возраст, по сравнению с возрастом гранитов Матутского массива) может быть результатом нарушения устойчивости U-Pb изотопной системы, вследствие непосредственного теплового воздействия со стороны базитовой интрузии, что косвенно подтверждается особенностями внутреннего строения цирконов и данными микроанализа.

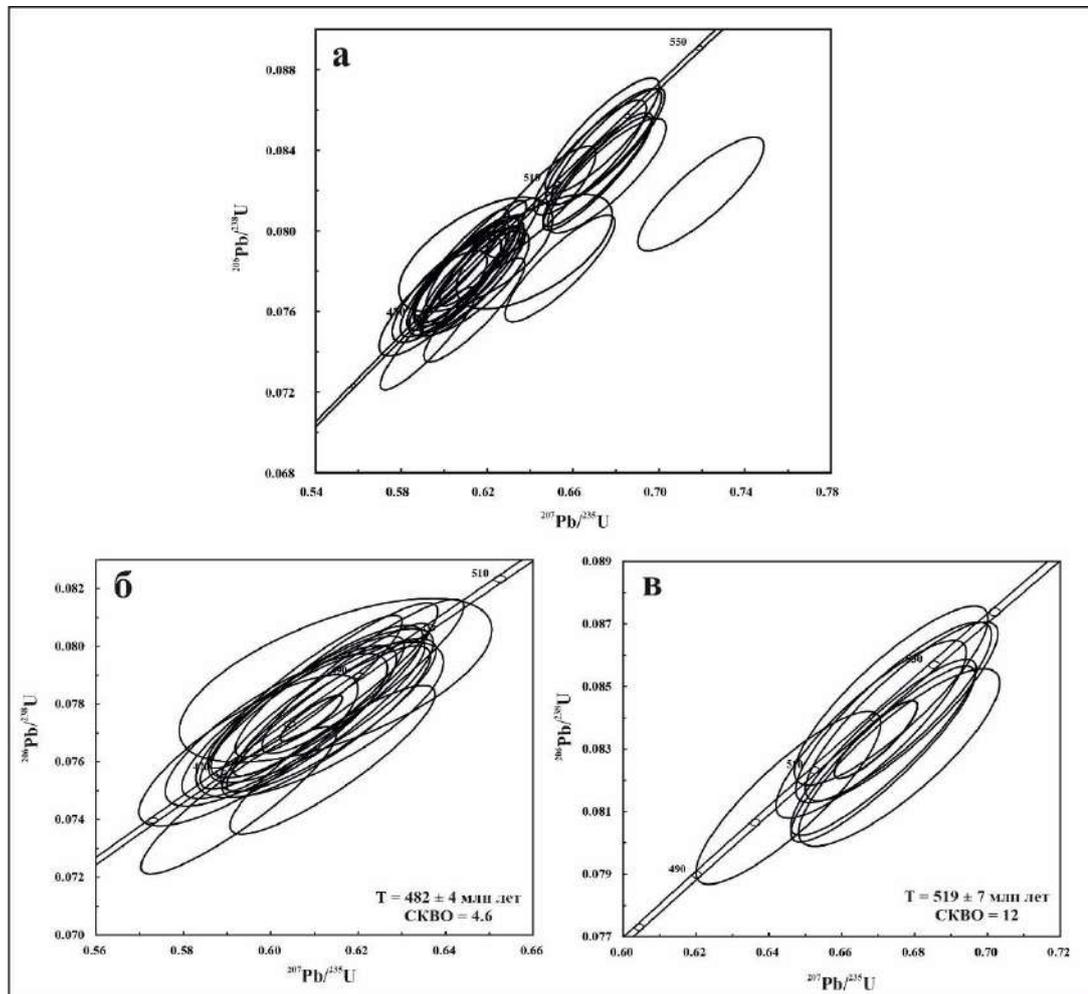


Рисунок 5.16. Диаграмма с конкордией для цирконов из гранитов минглинг-дайки, участок Тавыт-Даг, Матутский массив (образец КТ-1252-4): а – общее расположение точек датирования, б – возраст цирконов первой группы, в – возраст цирконов второй группы. Эллипсы и значения U-Pb возраста соответствуют  $2\sigma$ , включая погрешность констант распада.

#### **5.2.4 Проба КТ-1252-5 (граниты Матутского массива в 15 см от контакта с минглинг дайкой, участок Тавыт-Даг)**

Проба КТ-1252-5 отобрана в гранитоидах Матутского массива на расстоянии до 15 см от контакта с комбинированной габбро-гранитной дайкой (рис. 5.17). Породы с ясной полосчатостью в скальном обнажении и в пластинках гранитов (рис. 5.17), плотные с вкрапленниками полевого шпата, незначительно выделяющиеся на фоне зернистости матрикса породы.

В петрографических шлифах можно наблюдать полнокристаллические, крупно- и среднезернистые, порфировидные, гипидиоморфнозернистые гранитовые структуры (рис. 5.18).

В породе наблюдается типичная для гранитоидов Матутского массива приуроченность меланократовых минералов к границам полосчатости – в данном случае к контакту между зонами 1 (крупно- и среднезернистые минеральные агрегаты с вкрапленниками Fsp) и 2 (средне- и мелкозернистые минеральные агрегаты) (рис. 5.19).



Рисунок 5.17. Место отбора пробы КТ-1252-5 в гранитоидах Матутского массива на расстоянии до 15 см от контакта с комбинированной габбро-гранитной дайкой (участок Тавыт-Даг). Географические привязки места отбора пробы приведены в таблице 5.1. Скальное обнажение (вверху), пластинки гранитов (слева внизу) и фотография образца из пробы КТ-1252-5 (справа внизу).

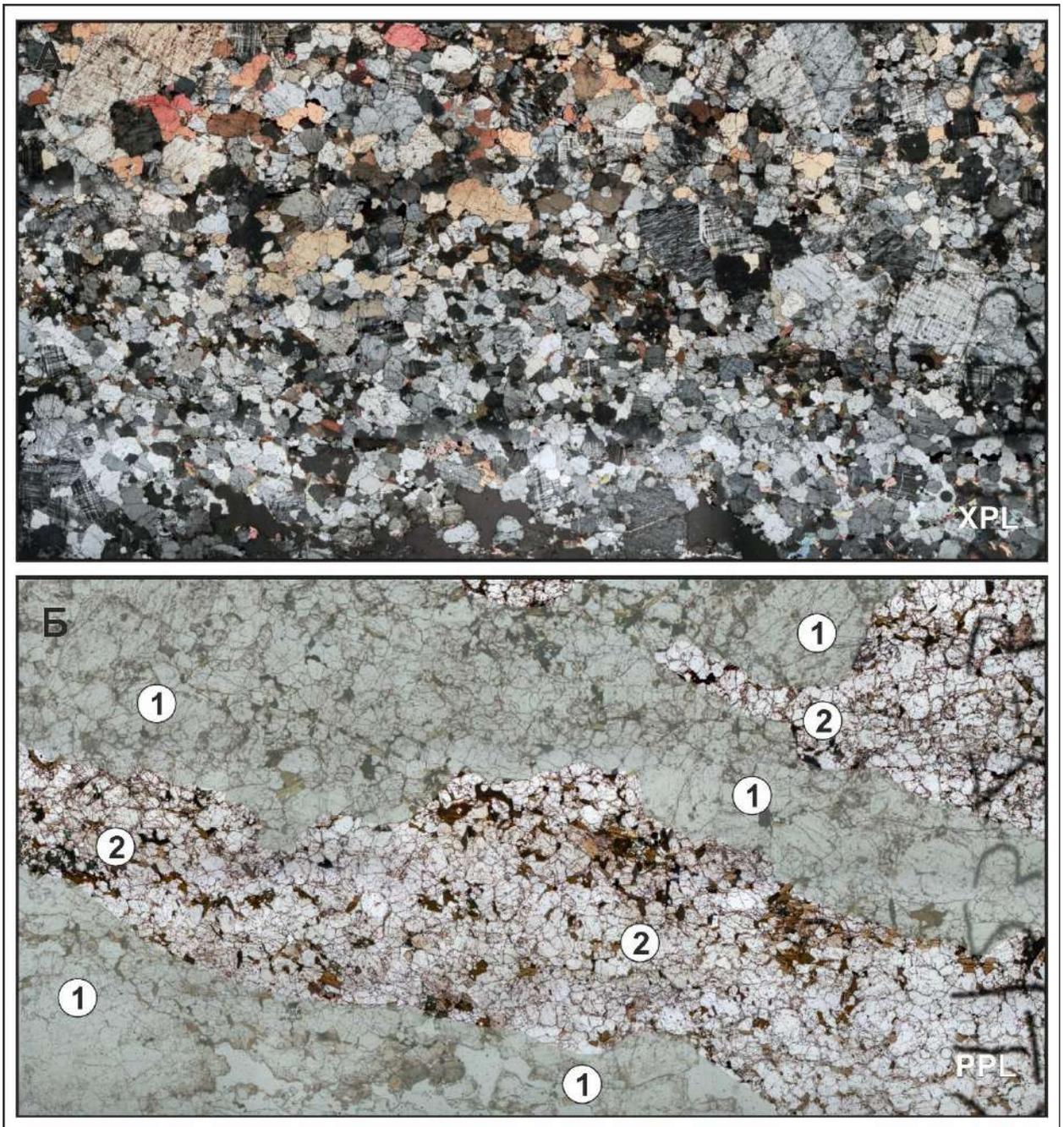


Рисунок 5.18. Проба КТ-1252-5 из гранитоидов Матутского массива на расстоянии до 15 см от контакта с комбинированной габбро-гранитной дайкой (участок Тавыт-Даг). Микрофотография петрографического шлифа в скрещенных николях (А) и в проходящем свете (Б). Номера в окружностях: 1 – крупно- и среднезернистые минеральные агрегаты с вкрапленниками Fsp; 2 – средне- и мелкозернистые минеральные агрегаты.

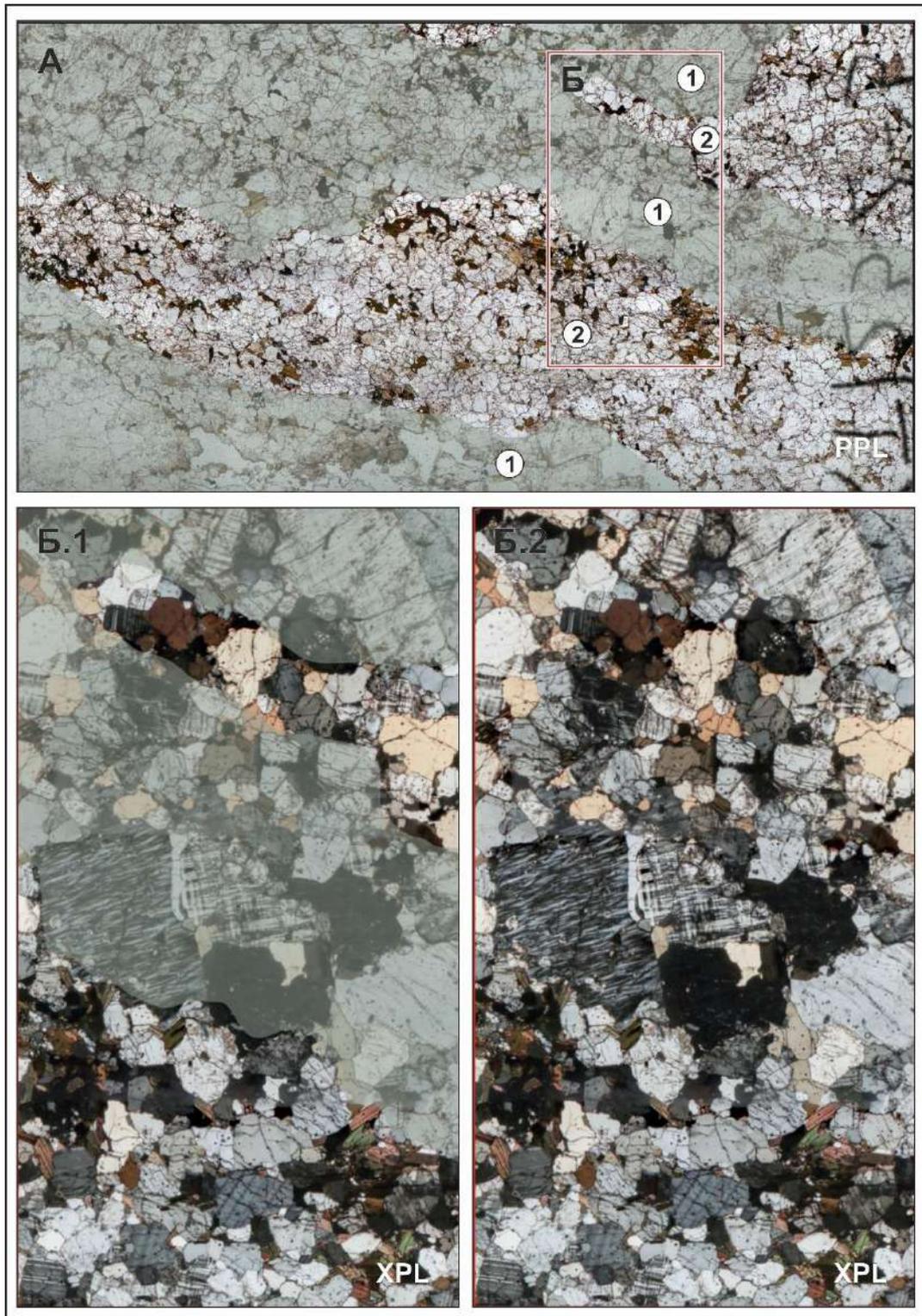


Рисунок 5.19. Проба КТ-1252-5 из гранитоидов Матутского массива на расстоянии до 15 см от контакта с комбинированной габбро-гранитной дайкой (участок Тавыт-Даг). Фрагмент полосчатости в гранитах: 1 – крупно- и среднезернистые минеральные агрегаты с вкрапленниками Fsp; 2 – средне- и мелкозернистые минеральные агрегаты. Б1-Б2 – положение деформированных Kfs вкрапленников в зоне (1).

### *Характеристика цирконов пробы КТ-1252-5*

Кристаллы циркона пробы КТ-1252-5 имеют призматический и короткопризматический габитус ( $K_{удл} = 1.5-3.0$ ) с резорбированными гранями. Исследование кристаллов катодолюминесцентным методом показало, что они характеризуются ярко выраженной осцилляторной зональностью (рис. 5.20).

Для большинства исследованных зерен наблюдается обрастание темной в КЛ каймой, размеры которой в основном не превышают 20 мкм. В большинстве зерен кайма отделена от центральной части циркона тонкой, яркой в КЛ полосой (см., например, #4, #12, #20 на рис. 5.20). В большинстве цирконов наблюдаются дефекты: твердые включения, трещины, секущие зональность (яркие в КЛ). В целом, морфологические особенности строения исследованных цирконов указывают на его магматическое происхождение. По данным КЛ изображений цирконы имеют внутреннее строение, схожее с цирконами из других образцов гранитов Матутского массива (проба КТ-1324, КТ-1070).

### *Рентгеноспектральный микроанализ цирконов пробы КТ-1252-5*

По данным рентгеноспектрального анализа цирконы характеризуются стехиометричным составом по основным элементам (таблица в Приложении 10). Среди примесных элементов определяются типичные для циркона - Hf (до 1.44 мас.%), Y (до 0.77 мас.%), P (до 0.08 мас.%), Yb (до 0.25 мас.%), Th (до 0.35 мас.%), U (до 0.30 мас.%), остальные элементы на уровне предела обнаружения.

Участки с темной каймой также характеризуются цирконовым составом. Примесные элементы определяются в меньших концентрациях, чем для участков с ростовой зональностью: Hf (до 1.62 мас.%), остальные элементы на уровне предела обнаружения Y (до 0.04 мас.%), Yb (до 0.03 мас.%), Th (до 0.05 мас.%), U (до 0.43 мас.%).

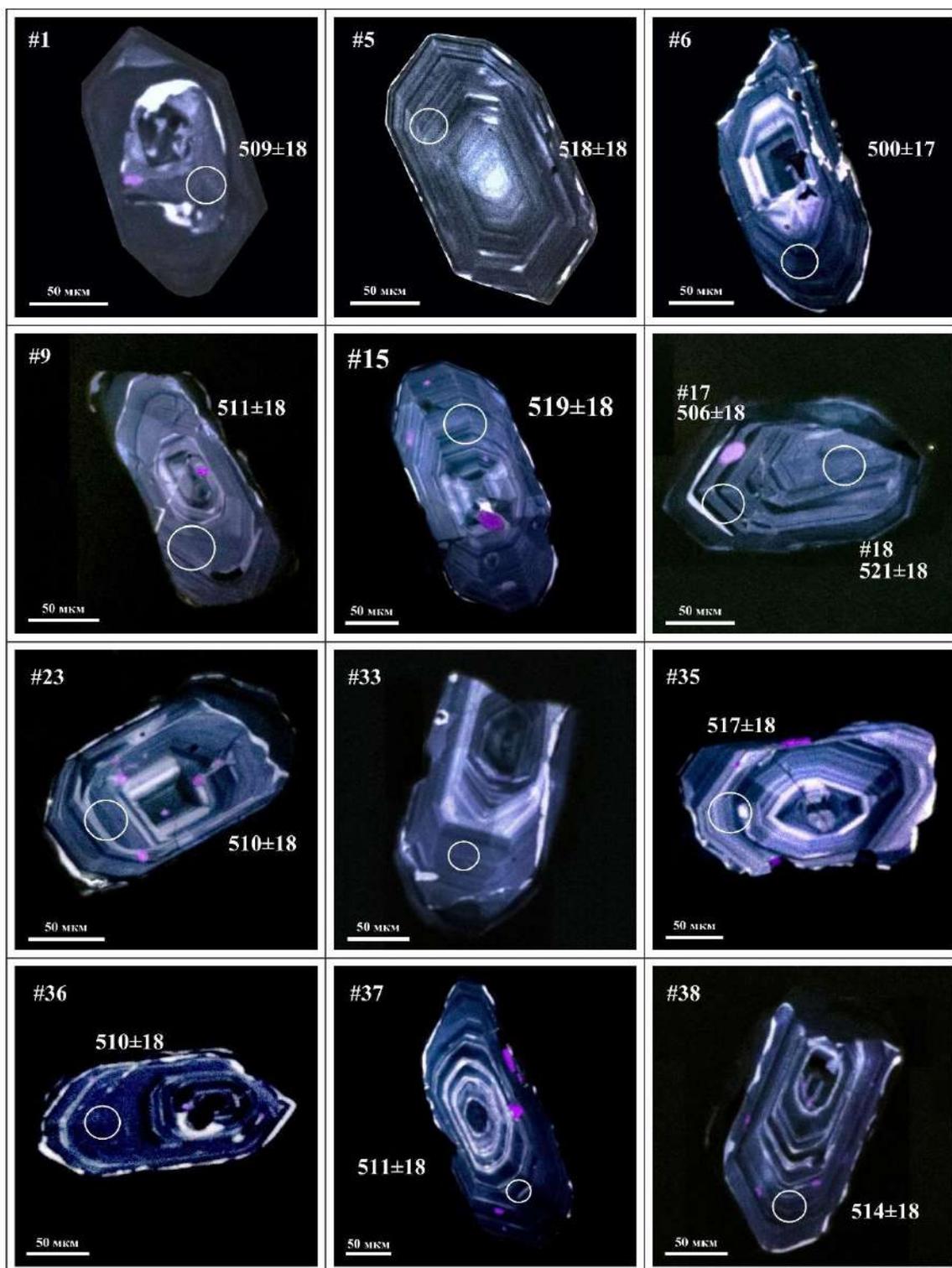


Рисунок 5.20. Катодоллюминесцентные изображения представительных зерен циркона из гранитоидов Матутского массива на расстоянии до 15 см от контакта с комбинированной габбро-гранитной дайкой, участок Тавыт-Даг (образец КТ-1252-5). Номера точек анализа с  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возрастом соответствуют таблице Приложения 12. Погрешность приведена на уровне  $2\sigma$ .

### Результаты U-Pb датирования цирконов

Для установления возраста цирконов были продатированы участки с ростовой зональностью без видимых дефектов поверхности (диаметр лазерного луча составлял 35 мкм). Точки лазерного отбора указаны на рисунке 5.20. Результаты U-Pb датирования приведены в таблице Приложения 12.

Проанализированные цирконы характеризуются содержаниями  $^{206}\text{Pb}$  (21-221 г/т), U (273-3021 г/т), Th/U (0.1-1.68). Три аналитические точки (#25, #26, #31, таблица Приложения 12) с высокими значениями Th/U отношения 4.67, 5.62, 3.69 соответственно и высокой дискордантностью не учитывались при построении диаграммы с конкордией и расчета возраста цирконов. Согласно полученным геохронологическим данным возраст (по пересечению с конкордией) составил  $516 \pm 4$  млн лет (СКВО = 0.31, N = 36) (рис. 5.21).

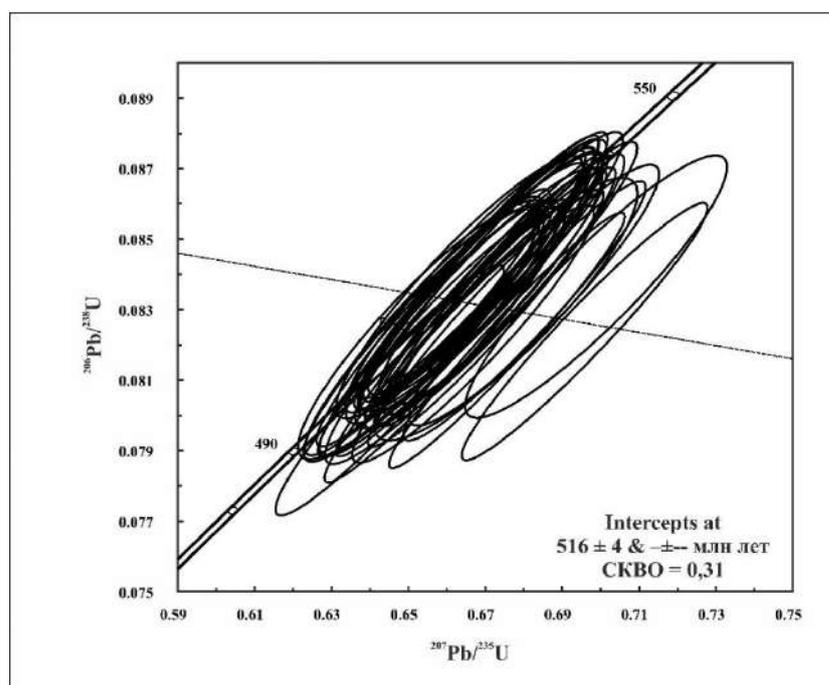


Рисунок 5.21. Диаграмма с конкордией для цирконов из гранитоидов Матутского массива на расстоянии до 15 см от контакта с комбинированной габбро-гранитной дайкой, участок Тавыт-Даг (образец КТ-1252-5). Эллипсы и значения U-Pb возраста соответствуют  $2\sigma$ , включая погрешность констант распада.

### *Состав редких элементов в цирконах*

Наблюдаемые особенности строения циркона в разных зонах в пределах одного зерна отражаются и в их химическом составе. Для участков с ростовой зональностью характерен дифференцированный спектр распределение РЗЭ ( $(Yb/Gd)_N = 9-43$ ,  $(Yb/La)_N = 56-3915$ ) и характеризуется значимой положительной Се-аномалией ( $Se/Se^* = 4-76$ ) и слабовыраженным Eu минимумом ( $Eu/Eu^* = 0.37-0.62$ ) (табл. 5.3, рис. 5.22 а), что, в целом, свойственно для циркона магматического происхождения (Hoskin, Schaltegger, 2003). Следует отметить, что в некоторых анализах (анализы #3, 4 в табл. 5.3) для исследуемых участков цирконов характерно незначительное обогащение легкими лантаноидами (152-176 г/т), что нетипично для цирконов магматического генезиса (Belousova et al., 2002). Возможно, это связано с некорректным лазерным пробоотбором, в ходе которого были захвачены микровключения или области, обогащенные легкими РЗЭ. Такое предположение может быть оправдано, поскольку по данным катодолюминесценции внутреннее строение цирконов характеризуется наличием дефектов. Однако в исследуемых участках не обнаружены повышенные содержания других неформульных элементов, например, Ва = 0.2-1.1 г/т, Sr = 0.5-2.3 г/т. Кроме того, данная проба отобрана в непосредственной близости от контакта с минглинг-дайкой (см. рис. 5.18), где для цирконов из базитов установлено действие флюидов, в т.ч. обогащение легкими РЗЭ. Содержания Th и U варьируют в небольшом диапазоне (289-623 г/т) и (205-536 г/т) соответственно, при этом для Th/U значений характерен широкий диапазон вариаций 0.89-2.10). По содержанию Ti оценена температура кристаллизации циркона, которая составила 720-854°C.

Иной график распределения РЗЭ наблюдается в краевых участках циркона (темная кайма) (рис. 5.22 б). Спектр РЗЭ в темной кайме слабо дифференцирован ( $(Yb/La)_N = 15-28$ ). Отмечается значительное увеличение содержания легких РЗЭ (суммарное содержание легких РЗЭ увеличивается до 483 г/т по сравнению с ростовой зональностью, где максимальное содержание легких РЗЭ составляет 176 г/т) с исчезновением максимума Се и сохранением отрицательной Eu аномалии ( $Eu/Eu^* = 0.32-0.41$ ). Содержание гафния варьирует в узком диапазоне 11234-12467

г/т, но, в целом, повышено по сравнению с участками ростовой зональности. Суммарное содержание РЗЭ составляет 744-1844 г/т и находится в диапазоне значений, полученных для участков с ростовой зональностью, при этом содержание Y заметно ниже (до 1298 г/т). Содержание других примесных элементов заметно выше, чем в участках с ростовой зональностью. Так, содержание несовместимых Ba и Sr достигает 7.4 и 10.1 г/т соответственно, Nb - до 19.6 г/т. Для темной каймы также характерны высокие содержания Ti (до 172.9 г/т), что делает некорректным использование Ti-термометра. Наблюдается повышенные содержания U (428-1258 г/т) и Th (324-1294 г/т) по сравнению с участками с ростовой зональностью, однако диапазон вариаций Th/U значений (0.5-1.03) совпадает с таковым для участков с ростовой зональностью и характерен для магматического циркона.

Подобное значительное обогащение циркона несовместимыми элементами (легкие РЗЭ, Ba, Sr, Ti) характерно для цирконов из базитов минглинг-дайки (проба КТ-1252-1), в которых, по совокупности данных исследования, есть признаки воздействия флюидов на кристаллическую структуру циркона. Учитывая, что проба КТ-1252-5 отобрана в непосредственной близости от контакта с минглинг-дайкой (15 см), можно ожидать «следы» участия флюидов в кристаллической структуре цирконов. Основываясь на полученных данных (результаты микрозондового и ЛА-ИСП-МС анализов) влияние флюидов было проявлено в меньшей степени, поскольку по данным микрозондового анализа не зафиксировано примесных элементов в структуре циркона (в пределах возможностей метода), которые являются индикаторами флюидного режима (K, Ca, Cl и т.д.). Тем не менее, судя по РЗЭ-спектрам циркона из внешней зоны (темная кайма) действие флюидов привело к распределению РЗЭ элементов, несвойственному магматическому циркону, а, скорее, схожему со спектрами гидротермального циркона (Hoskin, Schalteger, 2003). Для центральной части цирконов такое влияние было проявлено в меньшей степени и выразилось в увеличении содержания легких РЗЭ. В ряде исследований показано, что деформации циркона приводят к образованию микроструктур (в т.ч. трещин), действующих как быстрые пути

диффузии, и способствуют изменению химии циркона (редкоземельные элементы, U и Th) (Reddy et al. 2006; Timms et al. 2006). Такие дефекты особенно чувствительны к действию флюидов, даже в условиях низкотемпературных гидротермальных условий (Geisler et al., 2002; Pidgeon, 2014).

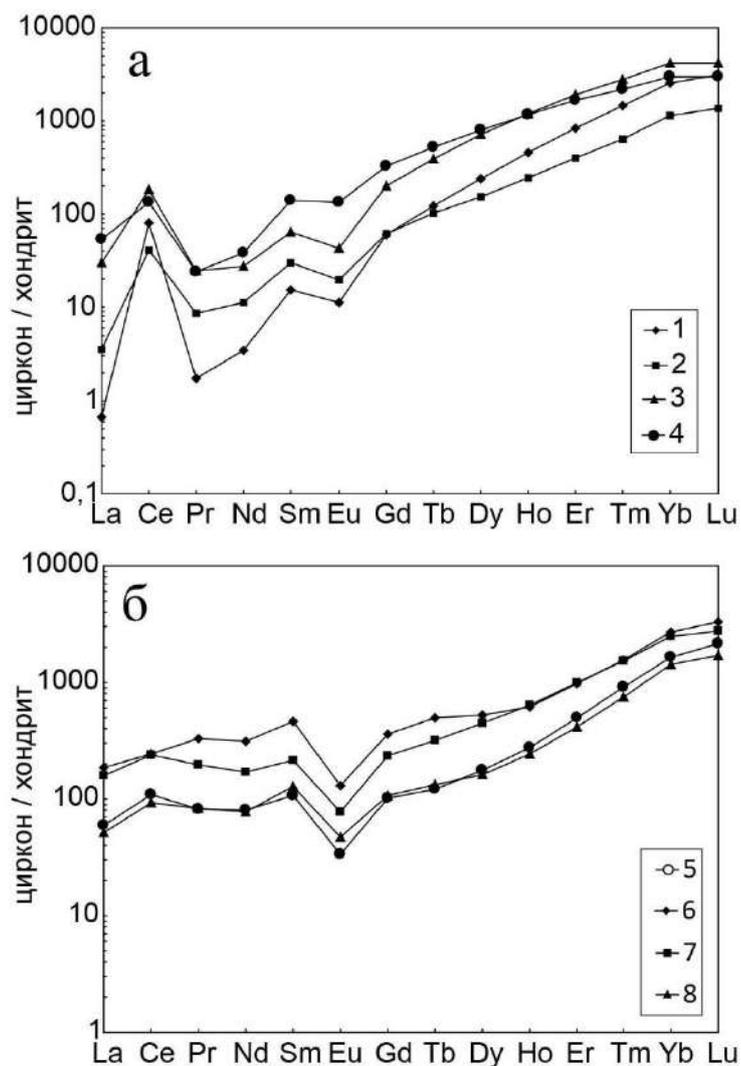


Рисунок 5.22. Спектры распределения РЗЭ в цирконе из гранитов Матутского массива в 15 см от контакта с минглинг-дайкой, участок Тавыт-Даг (образец КТ-1252-5): а – участки с ростовой зональностью (неизмененный циркон); б – краевая часть. Нумерация точек соответствует номерам точек анализа в таблице 5.3.

Таблица 5.3. Концентрация элементов-примесей в цирконе из гранитов Матутского массива, участок Тавыт-Даг (проба КТ-1252-5).

Элемент	ростовая зональность				темная кайма			
	1	2	3	4	5	6	7	8
La	0.2	1.1	9.4	16.5	18.5	57	49.3	15.9
Ce	65.6	33.6	147.0	109.4	87.6	198	194.8	74.9
Pr	0.2	1.1	3.0	3.0	10.0	40	24.1	10.1
Nd	2.1	6.8	16.6	22.9	48.0	187	101.9	46.9
Sm	3.0	5.9	12.6	27.2	20.8	90.5	42.2	25.2
Eu	0.8	1.5	3.2	9.9	2.5	9.7	5.7	3.5
Gd	15.5	15.8	51.9	85.8	26.3	92.7	61.2	27.6
Tb	5.8	4.9	18.5	25.0	5.8	23.5	15.2	6.3
Dy	78	49	230	259	57	169	143	52
Ho	32.8	17.8	86.6	83.3	19.8	43.9	45.6	17.3
Er	175	85	405	354	104	207	211	88
Tm	47	21	91	72	30	50	50	24
Yb	538	239	877	618	342	569	516	297
Lu	101	44	133	96	69	106	88	55
P	162	111	1078	210	509	484	1783	287
Ti	b.d.l.	8.1	5.3	20.1	25.6	172.9	62.1	60.0
Sr	0.5	0.7	2.3	2.1	3.8	10.1	8.1	4.0
Y	1074	533	2552	2380	665	1282	1289	567
Nb	5.4	3.5	7.9	4.6	8.0	19.6	9.0	8.0
Ba	0.2	0.4	0.6	1.1	1.9	7.4	3.1	2.5
Hf	11743	9408	8219	5978	12157	12467	11234	12220
Th	479	289	623	430	324	1294	626	355
U	536	251	483	205	644	1258	936	428
Th/U	0.89	1.15	1.29	2.10	0.50	1.03	0.67	0.83
Eu/Eu*	0.37	0.46	0.38	0.62	0.32	0.32	0.34	0.41
Ce/Ce*	76	7	7	4	2	1.0	1.4	1.4
ΣREE	1065	526	2085	1782	841	1844	1548	744
ΣLREE	68	43	176	152	164	483	370	148
ΣHREE	993	476	1893	1593	653	1262	1130	568
Ybn/Lan	3915	320	139	56	27	15	16	28
Yb/Gdn	43	19	21	9	16	8	10	13
T		758	720	854	883	1171	1001	996

### **5.2.5 Проба КТ-1252-8 (граниты Матутского массива в 60 см от контакта с минглинг дайкой, участок Тавыт-Даг)**

Проба КТ-1252-8 отобрана в гранитоидах Матутского массива (участок Тавыт-Даг) приблизительно в 60 см от контакта с комбинированной габбро-гранитной дайкой мощностью около 2 метров (рис. 5.23). Гранитоиды полосчатые с вкрапленниками  $F_{sp}$  (рис. 5.23). Однако в петрографическом шлифе полосчатость не наблюдается (рис. 5.24), что в данном случае объясняется неправильным (продольным) срезом штуфа для изготовления петрографического шлифа. Признаки деформаций (механическое двойникование, изломы, фрагментация) наблюдаются только во вкрапленниках (рис. 5.24). Следует обратить внимание, что деформированные вкрапленники были подвержены резорбированию и/или растворению внешних граней, что можно объяснить наложенными термальными процессами (плавление, растворение, рекристаллизация). На относительно высокие температуры наложенных процессов указывают признаки пластических деформаций  $F_{sp}$  (рис. 5.24).



Рисунок 5.23. Место отбора пробы КТ-1252-8 (помечено окружностью) в гранитоидах Матутского массива на расстоянии до 60 см от контакта с комбинированной габбро-гранитной дайкой (участок Тавыт-Даг). Географические привязки места отбора пробы приведены в таблице 5.1. Скальное обнажение (вверху), образец гранитов (внизу) с положением штуфа (проба КТ-1252-8) в месте его отбора.

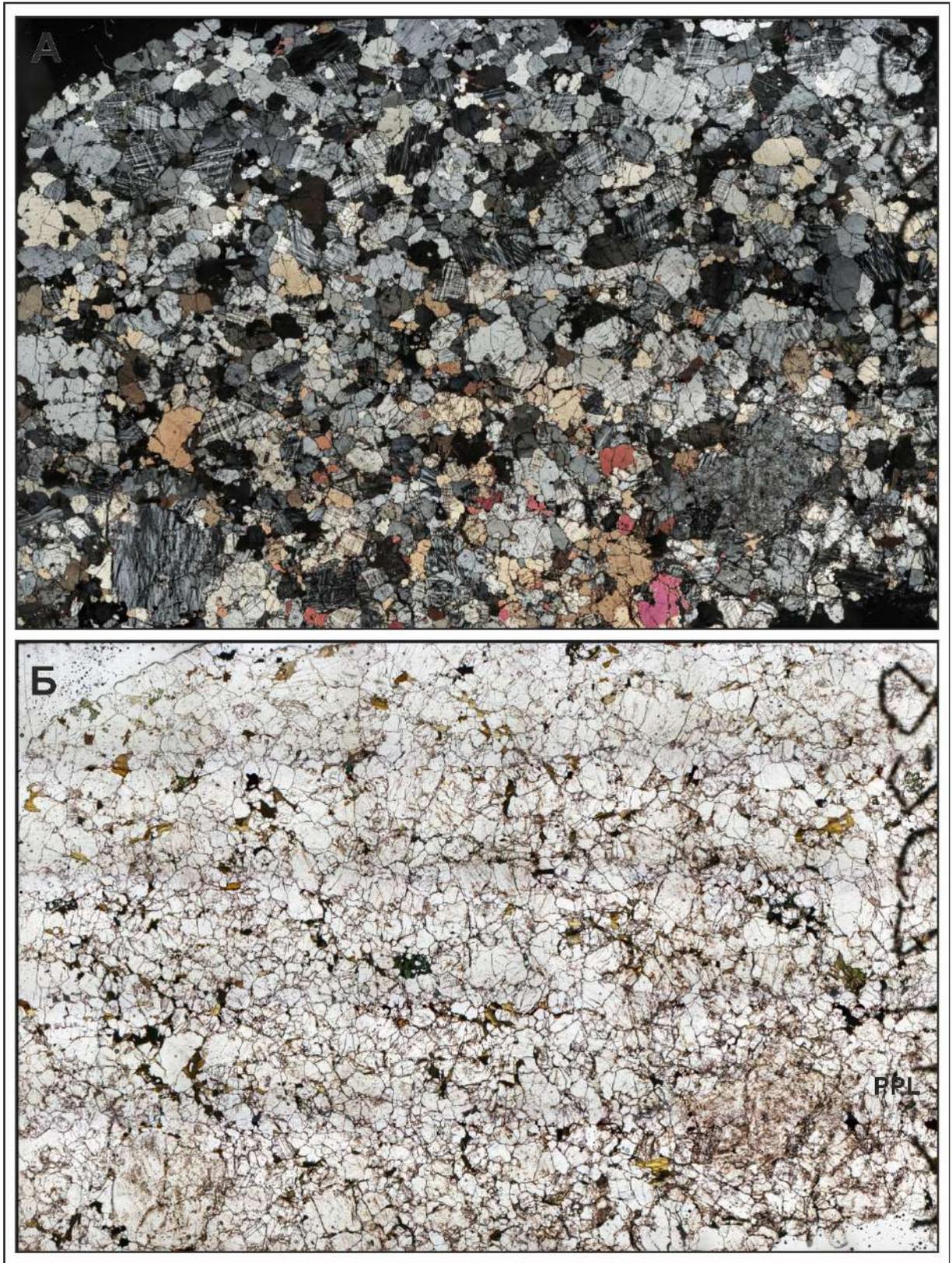


Рисунок 5.24. Проба КТ-1252-8 гранитоидов Матутского массива на расстоянии до 60 см от контакта с комбинированной габбро-гранитной дайкой (участок Тавыт-Даг). Микрофотография петрографического шлифа в скрещенных николях (А) и в проходящем свете (Б).

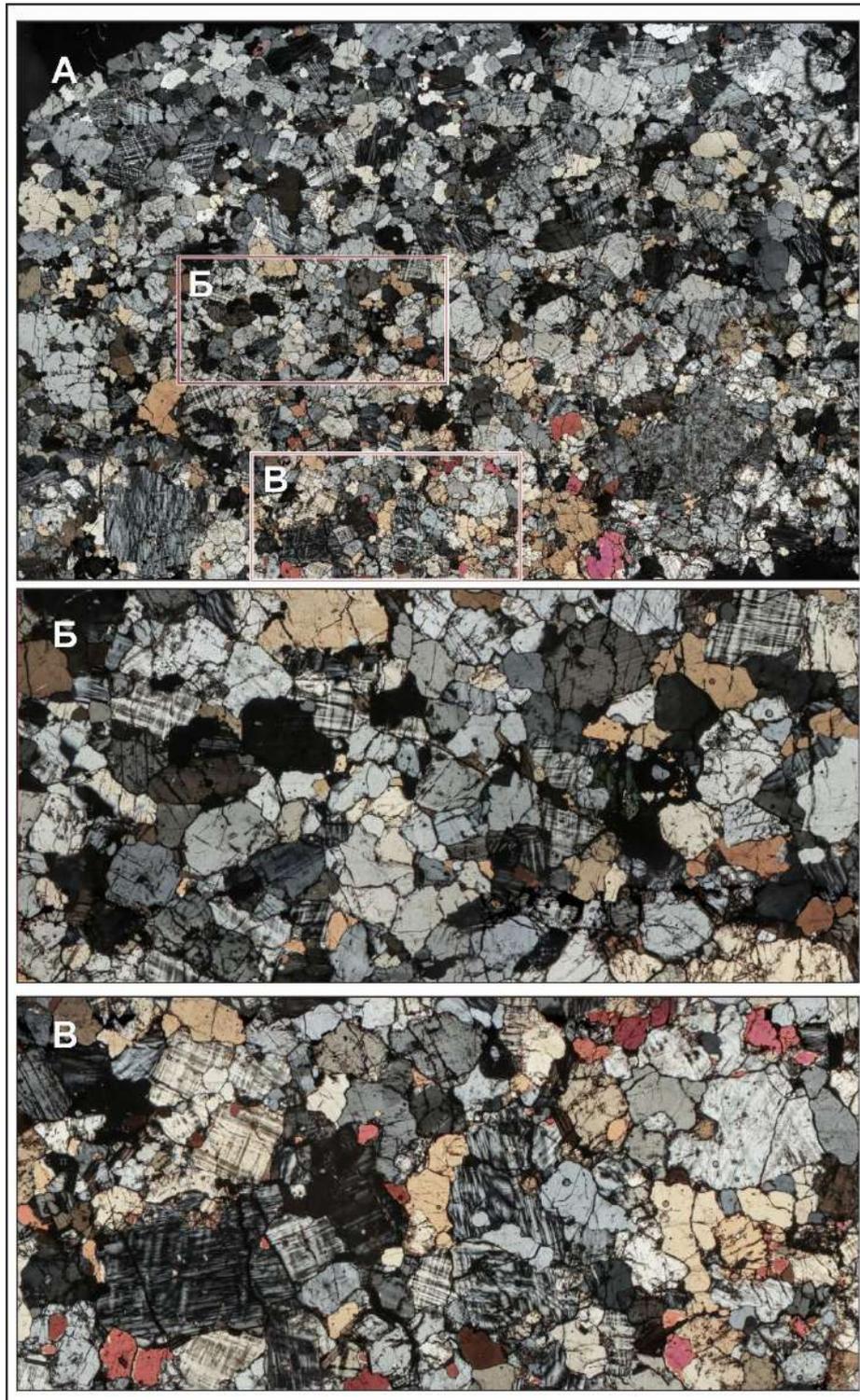


Рисунок 5.25. Проба КТ-1252-8 гранитоидов Матутского массива на расстоянии до 60 см от контакта с комбинированной габбро-гранитной дайкой (участок Тавыг-Даг). Микрофотография петрографического шлифа в скрещенных николях: **А** – панорама шлифа; **Б** – типичный среднезернистый гранит; **В** – деформированные включения  $F_{sp}$ .

*Характеристика цирконов пробы КТ-1252-8*

Циркон из образца КТ-1252-8 представлен призматическими и короткопризматическими кристаллами ( $Kудл = 1.5-3.0$ ). По данным КЛ-изображений исследуемые цирконы характеризуются ярко выраженной тонкой осцилляторной зональностью (рис. 5.26). Для большинства исследованных зерен характерно обрастание темной в КЛ каймой, размеры которой не превышают 10 мкм. В целом, цирконы из пробы КТ-1252-8 не отличаются от цирконов из гранитов Матутского массива (пробы КТ-1324, КТ-1070) и цирконов из гранитов участка Тавыт-Даг (пробы КТ-1252-5).

*Рентгеноспектральный микроанализ цирконов пробы КТ-1252-8*

По данным микрозондового анализа исследованные зерна имеют цирконовый состав по основным элементам (таблица в Приложении 10). Среди примесных элементов определяются типичные для циркона - Hf (до 1.58 мас.%), Y (до 0.66 мас.%), P (до 0.25 мас.%), Yb (до 0.17 мас.%), Th (до 0.49 мас.%), U (до 0.28 мас.%), остальные элементы находятся на уровне предела обнаружения. Материал темной каймы также соответствует цирконовому составу. По содержанию примесных элементов циркон темной каймы содержит Hf (до 1.59 мас.%) и обеднен другими элементами: Yb (0.04 мас.%), Th (0.08 мас.%), U (0.25 мас.%), P (до 0.04 мас.%).

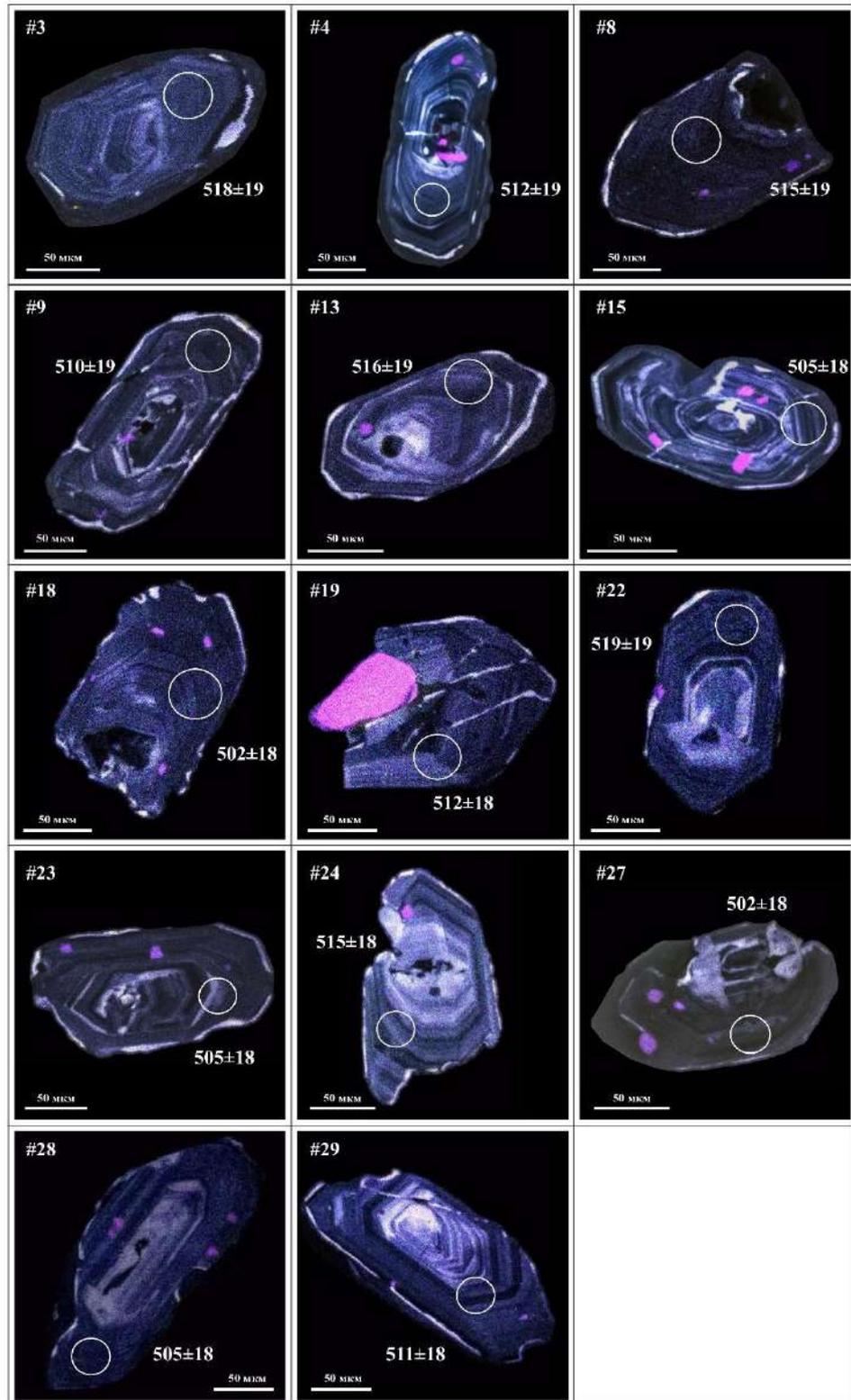


Рисунок 5.26. Катодоллюминесцентные изображения представительных зерен циркона из гранитоидов Матутского массива на расстоянии до 60 см от контакта с комбинированной габбро-гранитной дайкой, участок Тавыт-Даг (образец КТ-1252-8). Номера точек анализа с  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возрастом соответствуют таблице Приложения 13. Погрешность приведена на уровне  $2\sigma$ .

### Результаты U-Pb датирования цирконов

Для установления возраста цирконов были продатированы участки с ростовой зональностью без видимых дефектов поверхности (диаметр лазерного луча составлял 35 мкм). Точки лазерного отбора указаны на рисунке 5.26. Результаты U-Pb датирования приведены в таблице Приложения 13. Проанализированные цирконы характеризуются содержаниями  $^{206}\text{Pb}$  (27-155 г/т), U (365-2128 г/т), Th/U (0.49-1.58). Согласно полученным геохронологическим данным гранит образца КТ-1252-8 имеет возраст (по пересечению с конкордией) –  $511 \pm 5$  млн лет (СКВО = 0.42, N = 27) (рис. 5.27).

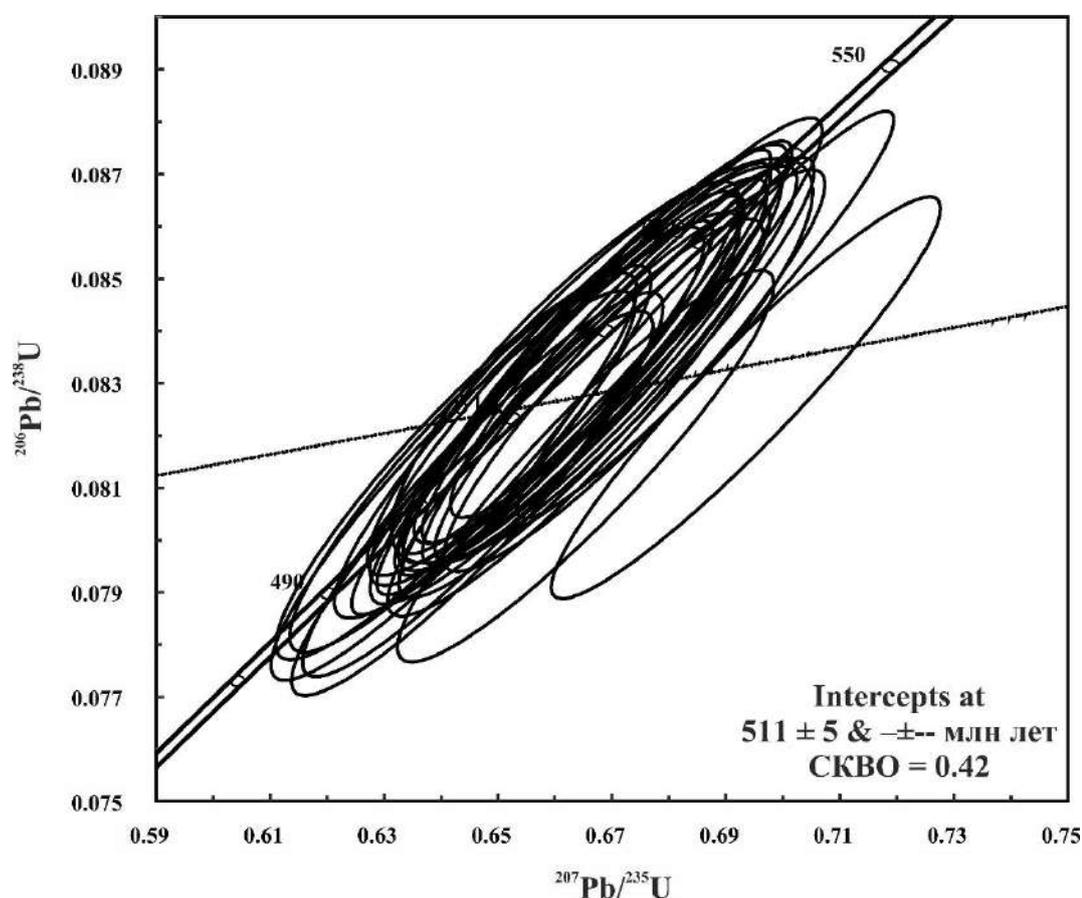


Рисунок 5.27. Диаграмма с конкордией для цирконов из гранитоидов Матутского массива на расстоянии до 60 см от контакта с комбинированной габбро-гранитной дайкой, участок Тавыт-Даг (образец КТ-1252-8). Эллипсы и значения U-Pb возраста соответствуют  $2\sigma$ , включая погрешность констант распада.

#### **5.4. U-Pb датирование циркона из гранитов ухадагского комплекса (участок Восточный)**

Участок Восточный расположен в зоне проникающего тектонического нарушения в восточном обрамлении Матутского гранитоидного массива. Здесь мы можем наблюдать как гранитоиды ухадагского комплекса с признаками течения и комбинированные габбро-гранитные дайки «запечатывают» область растяжения, оказывая тепловое воздействие на вмещающие метаморфические породы и, возможно, гранитоиды Матутского массива.

Помимо гранитоидов ухадагского комплекса и серии минглинг-даек в тектонической зоне растяжения наблюдаются пегматоидные жилы. По характеру взаимоотношений и структурным признакам все породные разности (гранитов, минглинг-дайки и пегматоидных жил) можно отнести к одновозрастным.

Выбранная для изучения проба КТ-1201 из гранитов ухадагского комплекса была отобрана в тектонической зоне вблизи серии комбинированных габбро-гранитных даек (рис. 5.28). Географические привязки места отбора пробы приведены в таблице 5.1.

Проба КТ-1201 отобрана с целью уточнения основных рубежей тектоно-термального воздействия на раннеколлизионные гранитоиды Матутского массива.

Граниты пробы КТ-1201 крупнозернистые, неравномернотернистые с крупными вкрапленниками  $Fsp$  и гипидиоморфнотернистыми структурами. В обнажении можно видеть, что вкрапленники полевого шпата определяют полосчатость в гранитах. На микроуровне фиксируются признаки деформирования вкрапленников полевого шпата (механическое двойникование, нарушение сплошности и трещиноватость с залечиванием кварцем, плагиоклазом и лейстами биотита, мирмекиты вдоль трещин  $Kfs$ ). Признаки деформирования отмечены также в кварце, плагиоклазах и  $Kfs$  матрикса породы (волнистое погасание, механическое двойникование, резорбирование краевых зон минералов) (рис. 5.29).



Рисунок 5.28. Место отбора пробы КТ-1201 (помечено окружностью) в гранитах ухадагского комплекса, прорывающие метаморфические породы эрзинского комплекса. Скальное обнажение (вверху), образец гранитов (внизу) с положением штуфа (проба КТ-1201).

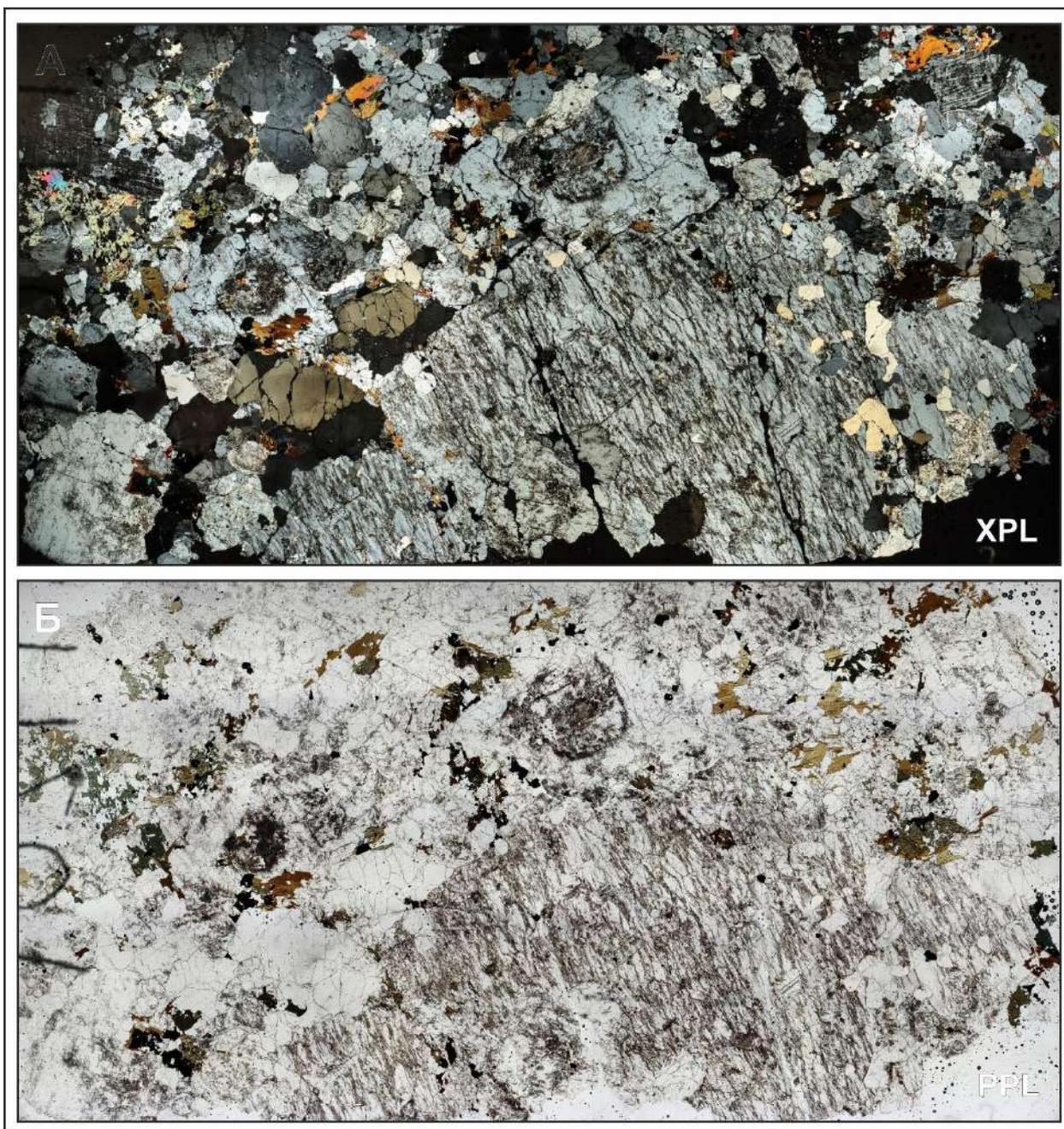


Рисунок 5.29. Проба КТ-1201 из гранитов ухадагского комплекса, прорывающих метаморфические породы эрзинского комплекса. Микрофотография петрографического шлифа в скрещенных николях (А) и в проходящем свете (Б).

#### *Характеристика цирконов пробы КТ-1201*

Цирконы пробы КТ-1201 представлены преимущественно призматическими удлинёнными кристаллами с четкими, либо слабо резорбированными гранями, реже в виде обломков. Кристаллы крупные, размером от 300 до 650 мкм. По данным КЛ изображений циркон из образца КТ-1201 характеризуется ярко

выраженной осцилляторной магматической зональностью (рис. 5.30). Для многих зерен характерно наличие ксенокристаллического ядра, либо полностью, либо частично метамиктизированного (зерна #10, #20, #41, #45, рис. 5.30).

Внешняя зона кристаллов характеризуется менее ярким свечением в КЛ и слабовыраженной зональностью. Ее внутренние границы нечеткие, размытые. В пределах кристаллов наблюдаются участки с нарушенной «резорбированной» зональностью. Такие участки, как правило, располагаются вдоль трещин или в краевых зонах зерен на границе с внешней зоной (зерна #8, #41, #45 на рис. 5.30), что указывает на признаки локальных вторичных преобразований циркона.

#### *Рентгеноспектральный микроанализ цирконов*

По результатам микроанализа (см. таблицу Приложения 5) средние содержания основных элементов Zr, Si, O составляют 48.83, 15.21 и 34.75 мас.% для участков с регулярной магматической зональностью, что соответствует цирконовому составу. Измеренное содержание кислорода O и рассчитанное стехиометрическое – O<sub>ст</sub> практически совпадают между собой, т.е. отклонение от стехиометрии по кислороду и, соответственно, гидратация матрицы минимальны (максимум на 1.31%).

Из элементов-примесей фиксируется только Hf (до 1.35 мас.%), Y (до 0.26 мас.%), в единичных анализах U (0.15-0.20 мас.%). Концентрация других примесей ниже их пределов обнаружения.

Для центральной части (представляющее метамиктное ядро) цирконов характерны повышенные содержания неформульных элементов F (до 0.16 мас.%), Mg (до 0.09 мас.%), Al (до 1.27 мас.%), S (до 0.03 мас.%), K (0.03-0.04 мас.% в единичных анализах), Fe (до 6.5 мас.%), и H<sub>2</sub>O (до 13% мас.%), что указывает на участие водного флюида во вторичных преобразованиях циркона. Кроме того, для ядер характерны содержания Th (0.91 мас. %) и U (0.80 мас. %), что в среднем на порядок больше, чем содержание этих элементов в участках с регулярной зональностью. Для цирконов, в которых ядро имеет более высокое содержание U, расширение ядра, в конечном счете, вызвало разрыв более жесткой каемки (#1, рис. 5.30).

Химический состав внешней зоны также стехиометричен цирконовому по основным элементам (Zr - 49.11 мас.%, Si – 15.27 мас.%, O – 34.67 мас.%). Среди примесных элементов определяются Hf (до 1.24 мас.%), P (до 0.03 мас.%), степень гидратации матрицы незначительна - H<sub>2</sub>O (до 1.85 мас.%).

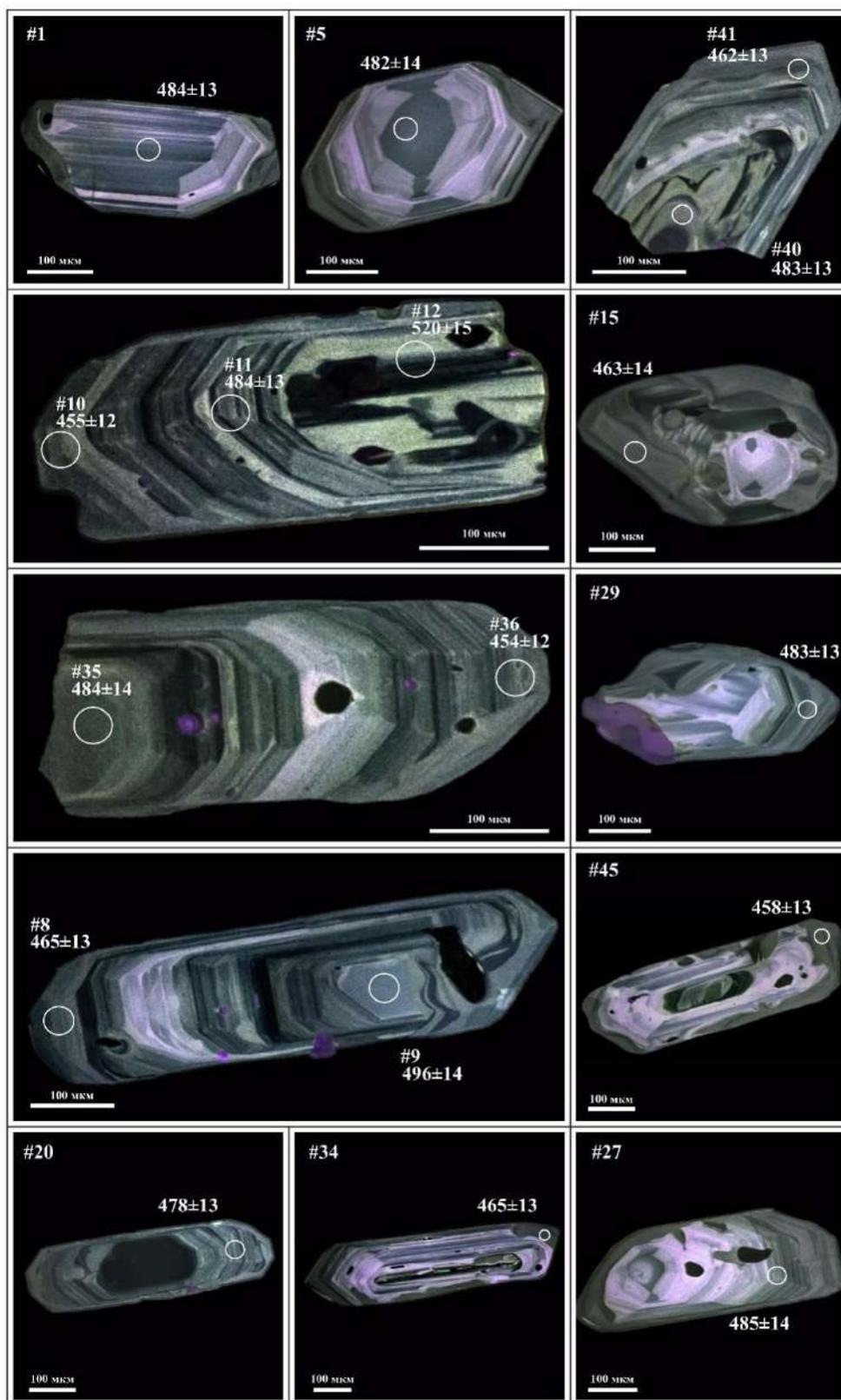


Рисунок 5.30. Катодоллюминесцентные изображения представительных зерен циркона из гранитов ухадагского комплекса, участок Восточный (образец КТ-1201). Номера точек анализа с  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возрастом соответствуют таблице Приложения 14. Погрешность приведена на уровне  $2\sigma$ .

*Исследование циркона методом рамановской спектроскопии*

По результатам рамановской спектроскопии было установлено, что спектры циркона образца КТ-1201 характеризуются слабой степенью разупорядочения структуры в участках с регулярной зональностью. Картирование по ширине рамановских линий для одного из зерен циркона приведено на рисунке 5.31.

В цирконе ширина линии  $\nu_3(\text{SiO}_4)$  варьирует в диапазоне 2-6  $\text{см}^{-1}$ , что соответствует слабой степени повреждения структуры (синие участки и оранжевые участки, рис. 5.31 а).

Максимальная степень поврежденности структуры циркона наблюдается в центральной части зерна, которая представляет ксенокристаллическое ядро циркона. Здесь ширина линии  $\nu_3(\text{SiO}_4)$  варьирует в диапазоне 25-33  $\text{см}^{-1}$ , что соответствует сильной степени повреждения структуры циркона, близкой к метамиктной (желтые и белые участки, рис. 5.31 а).

*Метод дифракции отраженных электронов (EBSD)* был использован для построения фазовых и ориентационных карт. Ориентационные карты демонстрируют монокристаллическое строение кристалла с разбросом ориентаций не более  $2^\circ$  (рис. 5.31 б).

Различную ориентацию блоков можно наблюдать лишь в небольшой части зерна и вдоль трещин, которые видимо образовались в результате радиационного «разбухания» циркона. Никаких других признаков деформаций не обнаружено.

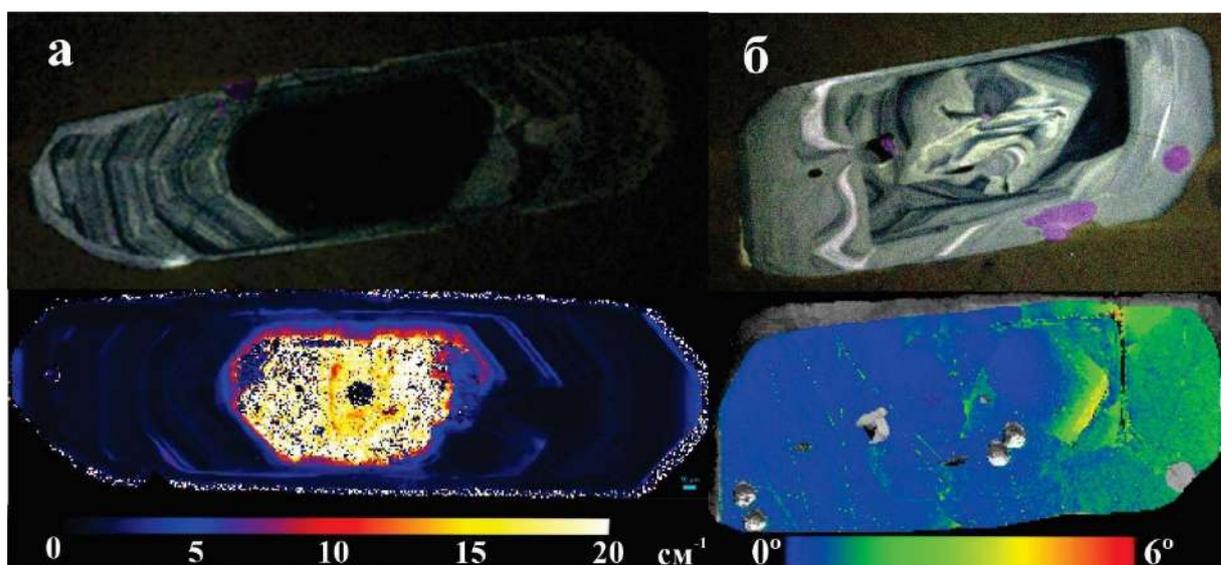


Рисунок 5.31. Результаты рамановского и EBSD исследования представительных зерен циркона из гранитов участка Восточный (образец КТ-1201): а – катодолуминесцентное изображение и картирование циркона по параметрам рамановской линии  $\nu_3(\text{SiO}_4)$ , б – катодолуминесцентное изображение и ориентационная карта с результатами индексации атомных плоскостей

#### *Результаты U-Pb датирования цирконов*

Для установления возраста цирконов были продатированы участки с ростовой зональностью без видимых дефектов поверхности (диаметр лазерного луча составлял 30 мкм). Точки лазерного отбора указаны на рисунке 5.30. Результаты U-Pb датирования приведены в таблице Приложения 14.

Проанализированные цирконы характеризуются содержаниями  $^{206}\text{Pb}$  (3-30 г/т), U (31-352 г/т), Th/U (0.28-0.84). Возраст центральной части (#12) имеет более древний возраст по сравнению с основной выборкой и составляет  $520 \pm 15$  млн лет (рис. 5.32 а). По содержанию анализируемых элементов отличий не выявлено (Pb – 10 г/т, U – 104 г/т, Th/U - 0.53).

Согласно полученным геохронологическим данным гранит пробы КТ-1201 имеет возраст  $483 \pm 2$  млн лет (СКВО = 0.48,  $n = 37$ ) (рис. 5.32 б). Учитывая магматическую природу, исследуемых цирконов, можно принять полученную оценку возраста за возраст гранитов ухадагского комплекса.

Для проведения U-Pb датирования внешней темной зоны в анализируемых цирконах и для точного лазерного отбора материала был использован диаметр луча 30 мкм. Пробоотбор осуществлялся на участках, где размеры темной каймы составляли не менее 40 мкм (рис. 5.30).

По результатам исследований темная кайма цирконов характеризуется следующими содержаниями:  $^{206}\text{Pb}$  (3-14 г/т), U (77-164 г/т) и узким диапазоном Th/U (0.35-0.51). Циркон краевой зоны не отличается от циркона с ростовой зональностью по содержанию свинца и урана, а также Th/U значению. Возраст темной каймы составил  $460 \pm 5$  млн лет (СКВО = 0.103, N = 7) (рис. 5.32 в). Полученная оценка возраста указывает на поздние термальные события, существовавшие на этом рубеже.

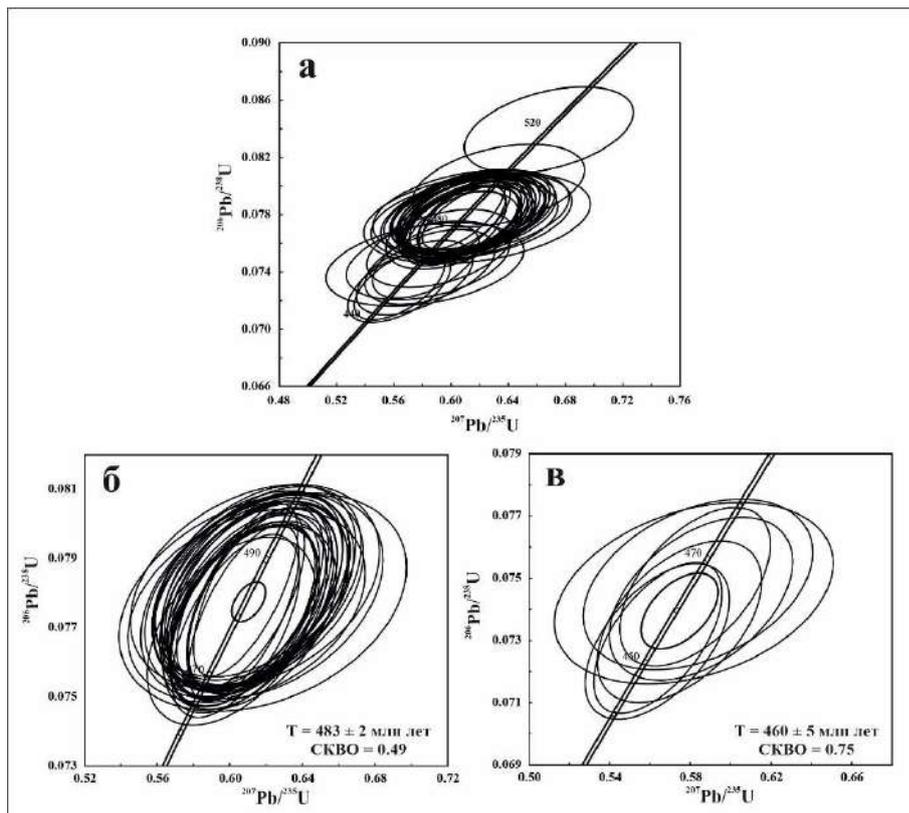


Рисунок 5.32. Диаграмма с конкордией для цирконов из гранитов ухадагского комплекса, участок Восточный (образец КТ-1201): а – общее расположение точек датирования, б – возраст цирконов (ростовая зональность), в – возраст цирконов (темная кайма). Эллипсы и значения U-Pb возраста соответствуют  $2\sigma$ , включая погрешность констант распада.

*Ar-Ar датирование биотита (проба КТ-1201)*

Для пробы КТ-1201 проведено Ar-Ar изотопные исследования биотита из гранитов ухадагского комплекса.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возраст составил  $459 \pm 6$  млн лет (рис. 5.35), что совпадает с U-Pb возрастом темной каймы цирконов и указывает на существование на этом рубеже поздних термальных событий, зафиксированное как в биотите, так и в цирконе.

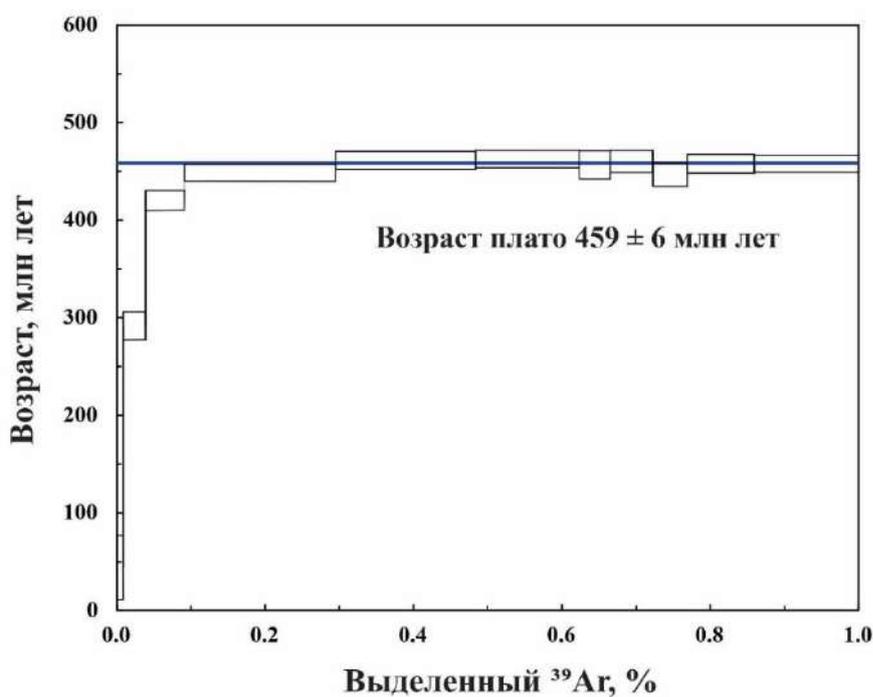


Рисунок 5.33.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возрастной спектр для биотита из гранитов ухадагского комплекса, участок Восточный (образец КТ-1201).

## 5.5 Характеристика наложенных тектоно-термальных событий на гранитоиды Матутского массива

Петрохронологический подход к анализу проб гранитоидов Матутского массива и ухадагского комплекса, габбро-гранитных даек, секущих Матутский массив, включающий изотопно-геохронологического исследования (U-Pb, циркон; Ar-Ar, биотит), изучение составов, структур и зональности циркона, позволил сделать следующие выводы.

### *Граниты Матутского массива*

В главе 4 было показано, что возраст гранитов Матутского массива отвечает рубежу 522 млн лет ( $520 \pm 3$  млн лет, проба КТ-1070;  $524 \pm 3$  млн лет, проба КТ-1324). Поздние термальные события в истории Матутского гранитоидного массива локально отразились как на гранитоидах, так и на кристаллической структуре цирконов, их составе и, как следствие, на оценках U-Pb изотопного возраста измененных гранитов. Как показало комплексное изучение цирконов на рубеже 480-485 млн лет наложенные термальные события привели к частичной рекристаллизации монокристаллов цирконов. Воздействие на цирконы связывается с высокотемпературными растворами с температурой до  $820^{\circ}\text{C}$ , которое идентифицировалось в появлении «подплавленных» границ первичного циркона, залечивании дефектов (трещин) и обрастании цирконов внешней каймой (см. глава 4). Исходя из геологической ситуации и положения точек отбора проб, термальное воздействие связывается с базитовыми дайками, секущими гранитоиды, и гранитами ухадагского комплекса.

### *Участок Тавыт-Даг (габбро-гранитные дайки)*

Ранее было установлено (разделы 5.2.2 и 5.2.3), что базитовая и гранитная составляющие комбинированной дайки одновозрастные -  $486 \pm 16$  (проба КТ-1252-1, базиты) и  $482 \pm 4$  млн лет (проба КТ-1252-4, граниты). Данный результат был ожидаемый, поскольку минглинг-структуры композитных даек предполагают сосуществование кислых и основных расплавов. Однако исследование внутреннего строения и химического состава цирконов выявило признаки вторичных преобразований циркона в результате термического воздействия с участием

флюидов. Иными словами, цирконы габбро-гранитной дайки также претерпели наложенные термальные события.

Наибольшая степень влияния высокотемпературных растворов установлена для цирконов из базитовой составляющей комбинированной дайки, которая, для некоторых изученных цирконов, привела к полной переработке циркона, его химического состава, а, следовательно, и U-Pb-возраста. В результате наложенных событий произошло раскрытие U-Pb изотопной системы.

*Участок Тавыт-Даг (гранитоиды Матутского массива)*

По результатам датирования цирконов из гранитов на удалении до 1 метра от базитовой дайки установлено, что возраст 522 млн лет (см. главу 4) гранитоидов Матутского массива омолаживается –  $516\pm 4$ ,  $511\pm 5$ ,  $508\pm 3$  млн лет (пробы КТ-1252-5, КТ-1252-8, ER-02-15 соответственно).

Учитывая специфику метода ЛА-ИСП-МС следует отметить, что данные оценки возраста пересекаются в пределах погрешности единичного измерения. Как следствие, можно допустить, что одним из объяснений различия полученных оценок возраста, может быть погрешность метода анализа (в сравнении с классическим методом U-Pb датирования ТИМС или «in situ» масс-спектрометрия вторичных ионов) или некорректный лазерный пробоотбор, затрагивающий несколько зон в цирконе, в т.ч. участки с дефектами. Тем не менее, разброс полученных оценок возраста не хаотичен, а направлен в сторону омоложения возраста циркона. Данную гипотезу подтверждают результаты исследования цирконов:

- изменение внутреннего строения циркона: признаки деформации структуры, проявленные в виде трещин, участки рекристаллизации характерны для цирконов из всех изученных проб;

- изменение химического состава циркона (обогащение неформульными элементами-примесями, в частности легкими РЗЭ), что указывает на несовершенство структуры циркона вследствие вторичных преобразований с участием флюида;

- данные рамановской спектроскопии и EBSD-анализа, которые подтверждают поврежденность структуры циркона (от слабой до средней) в местах деформаций кристаллической решетки;

В совокупности комплекс признаков позволяет утверждать, что термическое и деформационное влияние со стороны базитовой интрузии было отражено в структуре циркона вмещающих гранитов, что привело к перераспределению микроэлементов и частичному раскрытию U-Pb изотопной системы.

*Ухадагский гранитный комплекс (участок Восточный)*

По результатам исследования цирконов из гранитов ухадагского комплекса (проба КТ-1201) установлены два возрастных рубежа:  $483 \pm 2$  и  $460 \pm 5$  млн лет. Первый рубеж отвечает возрасту ухадагских гранитов и составляет  $483 \pm 2$  млн лет. Вторая оценка возраста получена по датированию внешних кайм, которые обрастают зерна циркона. По данным рентгеноспектрального микроанализа состав данных кайм соответствует цирконовому, что подтверждается результатами рамановской спектроскопии и EBSD-анализа – признаки существенных преобразований в структуре циркона отсутствуют. По результатам Ar-Ar датирования возраст биотита из гранитов ухадагского комплекса составляет  $459 \pm 6$  млн лет. Данный возрастной рубеж зафиксирован в биотите из гранитов Матутского массива ( $466 \pm 6$  млн лет, проба КТ-1070).

Таким образом, можно предполагать, что на рубеже 460-465 млн лет происходило повторное тепловое воздействие не только на граниты Матутского массива, но и на гранитоиды ухадагского комплекса в его обрамлении. Условия термального воздействия были выше температуры закрытия Ar-Ar изотопной системы в биотите ( $\geq 300^\circ\text{C}$ ) и ниже PT – параметров устойчивости U-Pb изотопной системы ( $\leq 700^\circ\text{C}$ ). Вторая группа возраста связана с термальными событиями при становлении Башкымугурского габбро-монцодиоритового массива (Козаков, 1999б; Шелепаев и др., 2018).

Корреляция геологических, структурно-петрологических и изотопно-геохронологических данных позволила предложить (В.Г. Владимиров,

Д.В. Семенова, ИГМ СО РАН) следующую структурную модель, включающую три основных тектоно-термальных этапа (рис. 5.34-5.36, таблица 3.1).

**Возрастной срез – 522 млн лет (рис. 5.34, таблица 3.1).**

Доминирование в регионе тектонических обстановок, отвечающих транспрессии. Заложение Эрзинской тектонической зоны с доминированием взбросовой кинематики тектонических движений. Синтектонический прогрев зоны с метаморфизмом пород M2, M2\* (таблица 3.1). Транспорт и консолидация кислых магм в форме гарполита (Матутский массив). Глубина становления Матутского массива ~ 25 км.

**Возрастной срез – 485 млн лет (рис. 5.35, таблица 3.1).**

Активизация и фрагментация Эрзинской тектонической зоны при смене обстановок транспрессии на транстенсию с доминированием левосторонней сдвиговой компоненты. Начинается коллапс орогенной структуры, сопровождаемый утонением литосферы за счет изостазии и сдвигового растяжения. Фрагментация Эрзинской тектонической зоны сопровождается инициацией глубинного базитового магматизма с прогревом вышележащих структур, в том числе происходит термальное воздействие на весь объем Матутского фрагмента, включая гранитоиды и его обрамление. В верхних уровнях коры за счет площадного прогрева в сочетании с обстановками растяжения получает развитие гранитоидный магматизм ухадагского типа. Фрагментация Эрзинской тектонической зоны сопровождается формированием систем локальных разрывных нарушений, благоприятных для транспорта базитовых расплавов с заложением базитовых и габбро-гранитных даек, «запечатывающих» зоны растяжения. Базитовые дайки оказывают локальное тепловое воздействие на вмещающие породы, включая гранитоиды Матутского массива. Позиция Матутского тектонического блока отвечает глубинам ~ 15 км.

**Возрастной срез – 465 млн лет (рис. 5.36, таблица 3.1).**

Активизация Западно-Сангиленской сдвиговой системы с левосторонней кинематикой тектонических движений. Доминирование сдвиго-раздвиговой

тектоники (транстенсия). Повторно инициируется глубинный базитовый магматизм с прогревом вышележащих структур и масштабным транспортом базитовых расплавов в локальные зоны растяжения Западно-Сангиленской сдвиговой системы с формированием крупного базитового тела габбро-монцодиоритов (Башкымугурский массив). Матутского фрагмент Эрзинской зоны расположен существенно южнее, однако он также затрагивается при общем термальном прогреве региона. Позиция Матутского тектонического блока отвечает глубинам ~ 10 км.

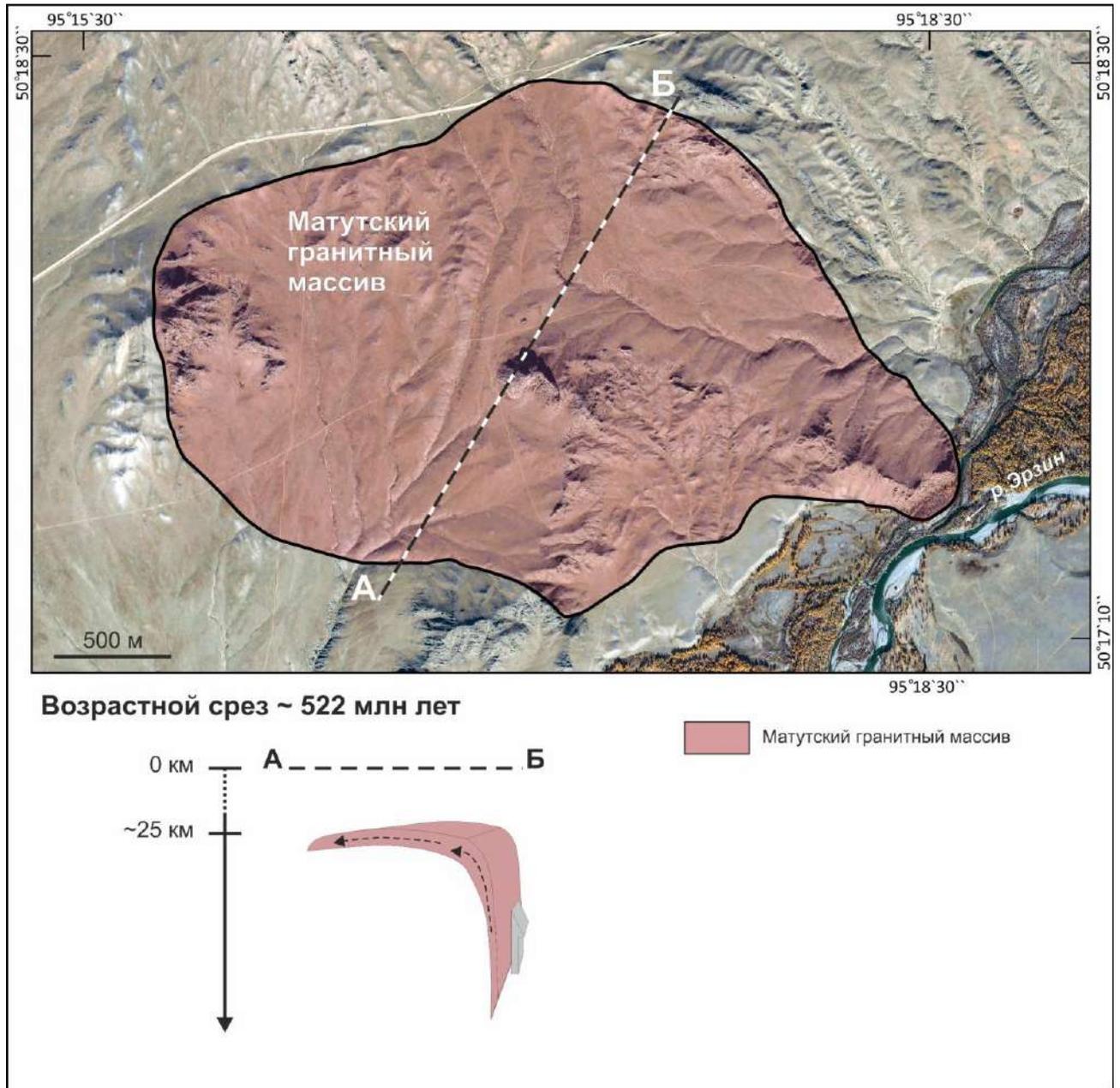


Рис. 5.34. Тектоно-термальная модель эволюции раннеколлизийных гранитоидов Матутского массива и пород обрамления в коллизийных структурах Западного Сангилене. Возрастной срез – 522 млн лет.

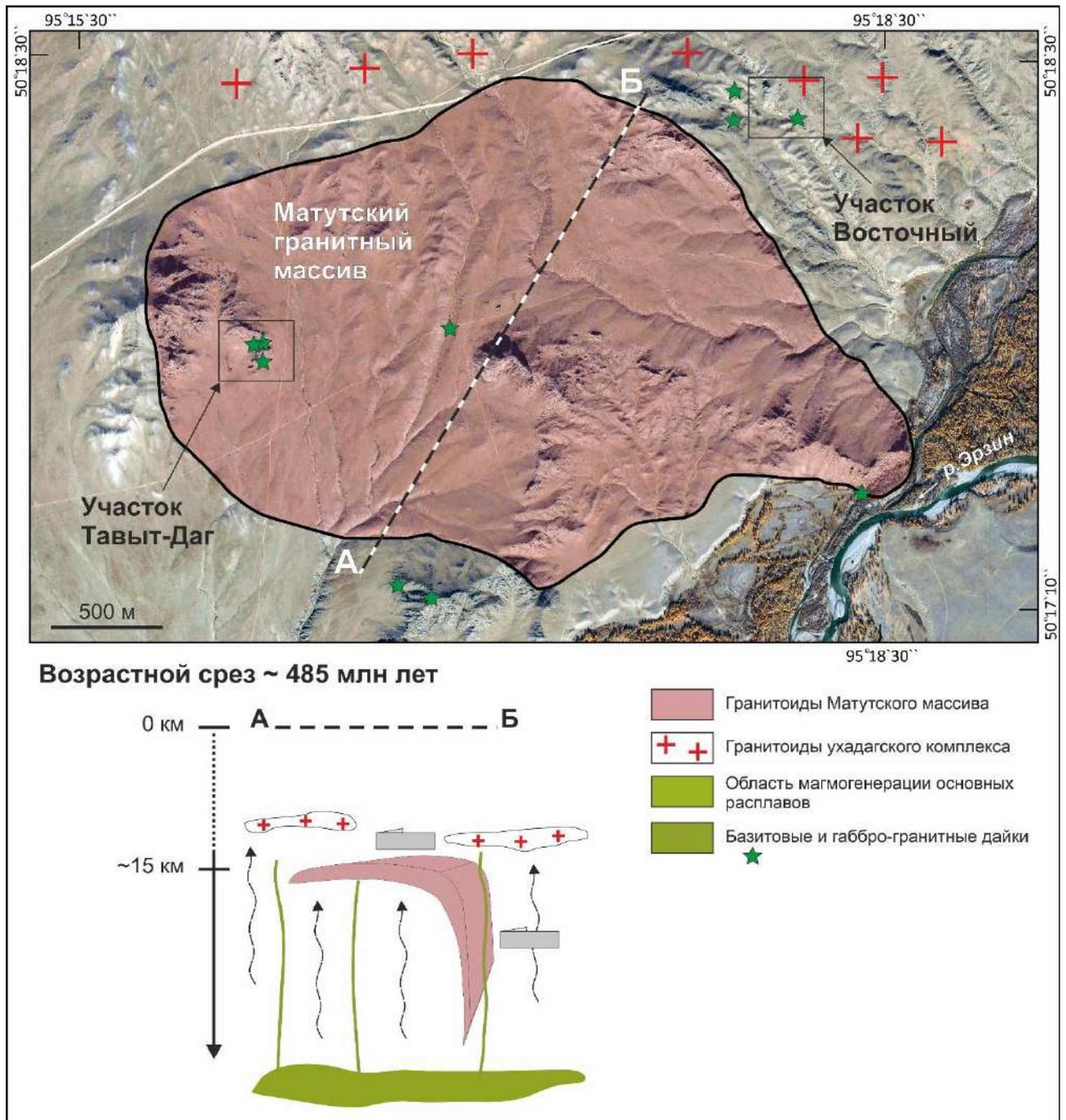


Рис. 5.35. Тектоно-термальная модель эволюции раннеколлизийных гранитоидов Матутского массива и пород обрамления в коллизийных структурах Западного Сангилене. Возрастной срез – 485 млн лет.

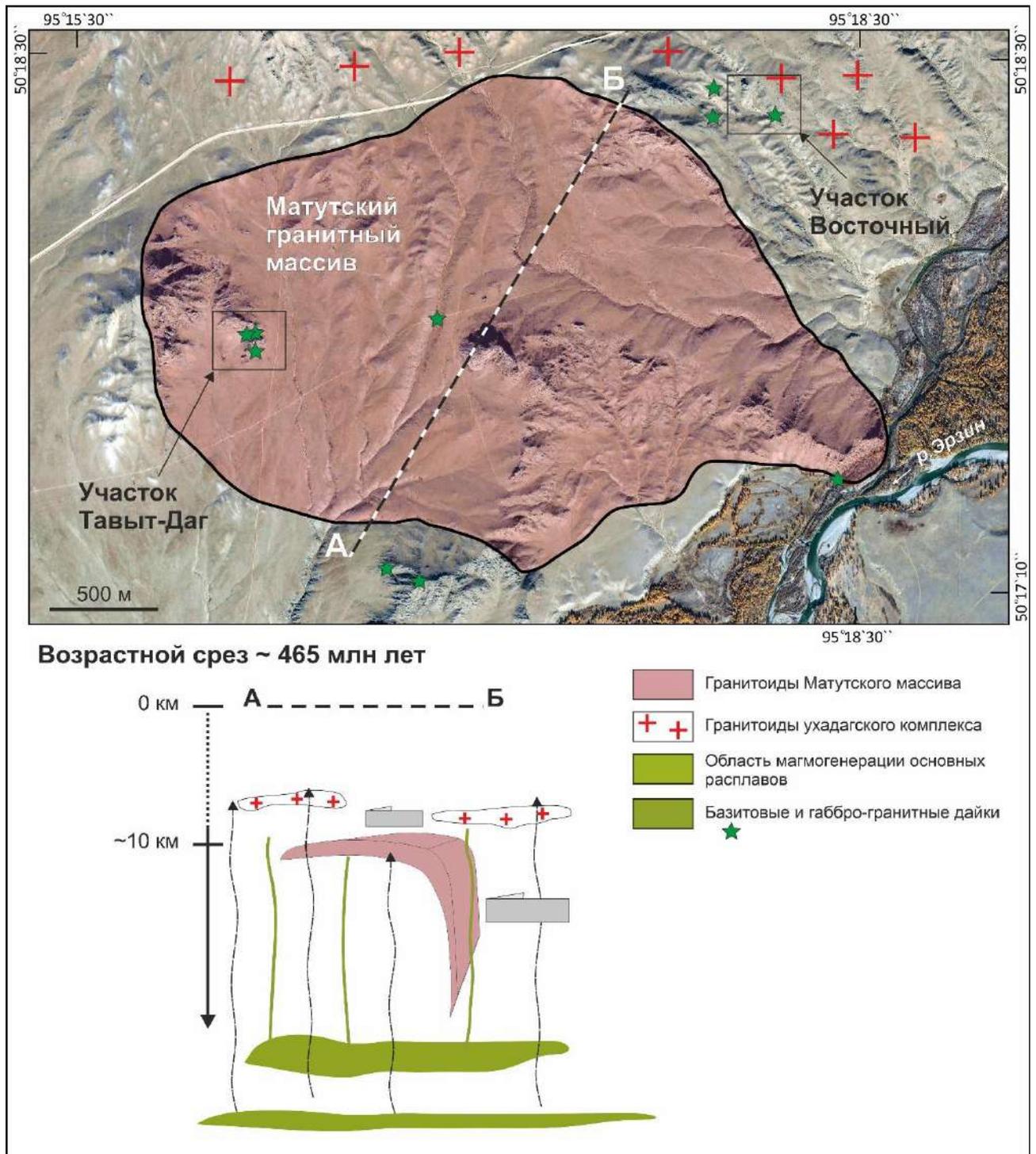


Рис. 5.36. Тектоно-термальная модель эволюции раннеколлизийных гранитоидов Матутского массива и пород обрамления в коллизийных структурах Западного Сангилене. Возрастной срез – 465 млн лет.

С учетом геологической ситуации проведен анализ возможных тепловых источников, с оценкой механизмов и характера наложенных тектоно-термальных процессов. Опираясь на петрохронологические подходы, были проанализированы пробы минглинг даек и гранитоидов обрамления Матутского массива. Полученные результаты позволили сформулировать второе и третье защищаемое положение.

**Второе защищаемое положение.** Тектоно-термальное преобразование гранитов Матутского массива было синхронно с внедрением базитовых минглинг-даек и гранитов ухадагского комплекса на рубеже 485 млн лет. Это событие привело к омоложению U-Pb изотопного возраста вследствие частичной твердофазной перекристаллизации циркона с очисткой от микропримесей и развитию под воздействием высокотемпературных флюидов (не менее 800°C) кайм, обогащенных U, легкими РЗЭ и неструктурными элементами-примесями.

**Третье защищаемое положение.** Поздние термальные события на Западном Сангилене зафиксированы в биотитах и цирконах из гранитов ухадагского комплекса, а также в биотитах из гранитов Матутского массива, с возрастом 465 млн лет. Длительность коллизионного магматизма в пределах Эрзинской тектонической зоны составляет не менее 70 млн лет.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе приведены результаты комплексного петрохронологического подхода при изучении геологических объектов. Данный подход позволяет получить расширенный набор данных о состоянии циркона (строение, дефектность, разупорядочение структуры, химический состав), широко используемого в качестве минерала-геохронометра.

На примере гранитоидов Матутского массива показано, что петрохронологический подход позволяет сделать выводы об истории формирования, вторичных преобразованиях и сохранности U-Pb изотопной системы в цирконе в обстановках воздействия поздних тектоно-термальных событий.

Установлено, что формирование гранитов Матутского массива связано с плавлением смешанного (тоналитового и метаграуваккового) источника. Кристаллизация расплава сопровождалась фракционированием амфибола, биотита и плагиоклаза. При фракционной кристаллизации происходило удаление аксессуарных фаз (монацит и ксенотим). Процесс фракционирования происходил в ходе перемещения магм и/или их внедрения.

Детальное изучение цирконов позволило выявить условия и последовательность тектоно-термальных событий, происходивших в истории Матутского гранитного массива.

Петрохронологический подход позволил предопределить корректный выбор проб для геохронологических исследований и тем самым получить новые данные и/или уточнить их.

На примере Матутского гранитного массива показано, что в пределах массива полученные оценки возраста могут отличаться. При этом для цирконов с характерными признаками дефектов структуры оценки возраста «омолаживались», несмотря на то что в петрографических шлифах признаки деформаций могли быть неявными.

По результатам комплексного изучения цирконов установлено два основных возрастных рубежа в истории Матутского гранитного массива, зафиксированных в структуре циркона – возраст становления (522 млн лет) и возраст позднего термального события (485 млн лет), а также выявлены геологические условия этих событий.

В сочетании с использованием дополнительного геохронологического метода - Ar-Ar датирования биотита был установлен еще один более поздний рубеж в истории Матутского массива (465 млн лет).

По данным изучения участка Тавыт-Даг установлено, что поздний рубеж, отразившийся на цирконах из гранитов Матутского массива, проходил одновременно с внедрением базитовых интрузий. Кроме того, детальное изучение цирконов на контакте с базитовой интрузией показало тенденцию омоложения возраста под действием температуры от базитового расплава и флюидов, сопровождавших процесс внедрения дайки.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Алфимова Н.А., Матреничев В.А., Зингер Т.Ф., Пресняков С.Л. Особенности химического и изотопного состава циркона из палеопротерозойской коры выветривания гранитоидов Куоляярвинской структуры (Северная Карелия) // Записки РМО, 2013, № 6., с. 18-31.
2. Аранович Л.Я., Зингер Т.Ф., Бортников Н.С., Шарков Е.В., Антонов А.В. Циркон из габброидов осевой зоны Срединно-Атлантического хребта (впадина Маркова, 6° с.ш.): корреляция геохимических особенностей с петрогенетическими процессами // Петрология, 2013, т. 21, № 1, с. 4-19.
3. Аранович Л.Я., Бортников Н.С., Зингер Т.Ф., Борисовский С.Е., В.А. Матреничев, Перцев А.Н., Шарков Е.В., Сколотнев С.Г. Морфология и элементы-примеси циркона из океанической литосферы и срединно-атлантического хребта (6°-13° с.ш.): свидетельства особенностей магматической кристаллизации и постмагматических преобразований // Петрология, 2017, т.5, № 4, с. 335-361.
4. Барабаш Н.В., Владимиров В.Г., Травин А.В., Юдин Д.С.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирование деформаций трансформно-сдвигового этапа эволюции ранних каледонид Западного Сангилен (Юго-Восточная Тува) // Докл. РАН, 2007, т. 414, № 2, с. 226-232.
5. Бурмакина Г.Н., Цыганков А.А., Хубанов В.Б., Владимиров В.Г., Кармышева И.В., Буянтуев М.Д. Комбинированные дайки Западного Сангилен, ЮВ Тува: изотопный возраст, состав, петрогенезис // Корреляция алтаид и уралид: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогения. Материалы Третьей международной научной конференции, Новосибирск. Изд-во СО РАН, 2016. с. 35–37.
6. Владимиров А.Г., Гибшер А. С., Изох А.Э., Руднев С.Н. Раннепалеозойские гранитоидные батолиты Центральной Азии: масштабы, источники и геодинамические условия формирования // ДАН, 1999, т. 369, № 6, с. 795-798.
7. Владимиров А.Г., Изох А.Э., Поляков Г.В., Бабин Г.А., Мехоношин

А.С., Крук Н.Н., Хлестов В.В., Хромых С.В., Травин А.В., Юдин Д.С., Шелепаев Р.А., Кармышева И.В., Михеев Е.И. Габбро-гранитные интрузивные серии и их индикаторное значение для геодинамических реконструкций. *Петрология*, 2013, т. 2, с. 177-201.

8. Владимиров В.Г., Яковлев В.А., Кармышева И.В. Механизмы магматического минглинга в композитных дайках: модели диспергирования и сдвиговой дилатации // *Геодинамика и Тектонофизика*, 2019, т. 10, с. 325-345.

9. Владимиров В.Г., Владимиров А.Г., Гибшер А.С., Травин А.В., Руднев С.Н., Шемелина И.В., Барабаш Н.В., Савиных Я.В. Модель тектоно-метаморфической эволюции Сангилен (Юго-Восточная Тува, Центральная Азия) как отражение раннекаледонского аккреционно-коллизийного тектогенеза // *Доклады РАН*, 2005, т. 405, № 1, с. 82-88.

10. Владимиров В.Г., Кармышева И.В., Яковлев В.А., Травин А.В., Цыганков А.А., Бурмакина Г.Н. Термохронология минглинг-даек Западного Сангилен (Юго-Восточная Тува): свидетельства развала коллизийной системы на северо-западной окраине Тувино-Монгольского массива // *Геодинамика и тектонофизика*. 2017, т. 8, № 2, с. 283–310.

11. Гибшер А.С., Владимиров А.Г., Владимиров В.Г. Геодинамическая природа раннепалеозойской покровно-складчатой структуры Сангилен (Юго-Восточная Тува) // *Доклады. РАН*, 2000, т. 370, № 4, с. 489-492.

12. Гибшер А.А., Мальковец В.Г., Травин А.В., Белоусова Е.А., Шарыгин В.В., Конц З. Возраст камптонитовых даек агардагского щелочно-базальтоидного комплекса Западного Сангилен на основании Ar/Ar и U/Pb датирования // *Геология и геофизика*, 2012, т.53, №8, с. 998-1013.

13. Гибшер А.С., Гибшер А.А., Мальковец В.Г., Шелепаев Р.А., Терлеев А.А., Сухоруков В.П., Руднев С.Н. Природа и возраст высокобарического (кианитового) метаморфизма Западного Сангилен (Юго-Восточная Тува) // «Геодинамические обстановки и

термодинамические условия регионального метаморфизма в докембрии и фанерозое»: Материалы V Российской конференции по проблемам геологии и геодинамики докембрия. СПб: ИГГД РАН, 2017. с. 52-53.

14. Гоникберг В.Е. Геологическое строение и тектоническая природа раннекаледонской окраины Сангиленского массива Тувы // Диссертация на соискание уч. ст. канд. геол.-мин. наук. Москва, 1995, 408 с..

15. Замятин Д.А. Кристаллохимия и спектроскопия циркона в решении вопросов его микронзондового химического U-Th-Pb датирования // Автореферат диссертации на соискание уч. ст. канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 2017, с. 22.

16. Зингер Т.Ф., Бортников Н.С., Шарков Е.В., Борисовский С.Е., Антонов А.В. Влияние пластических деформаций в цирконе на его химический состав (на примере габброидов из зоны спрединга Срединно-Атлантического хребта, впадина Маркова, 6° с.ш.) // ДАН, 2010, т. 433, № 6, с. 785-791.

17. Изох А.Э., Поляков Г.В., Мальковец В.Г., Шелепаев Р.А., Травин А.В., Литасов Ю.Д., Гибшер А.А. Позднеордовикский возраст камптонитов агардагского комплекса Юго-Восточной Тувы - свидетельство проявления плюмового магматизма при коллизионных процессах. Доклады РАН, 2001а, т. 379, № 5, с. 511-514.

18. Изох А.Э., Каргополов С. А., Шелепаев Р.А., Травин А.В., Егорова В.В. Базитовый магматизм кембро-ордовикского этапа Алтае-Саянской складчатой области и связь с ним метаморфизма высоких температур и низких давлений // «Актуальные вопросы геологии и минерагении юга Сибири»: Материалы научно-практической конференции. Новосибирск: Изд-во ИГиЛ СО РАН, 2001б, с. 68–73.

19. Кармышева И.В. Синкинематические граниты и коллизионно-сдвиговые деформации Западного Сангилена (ЮВ Тува): Автореферат диссертации на соискание уч. ст. канд. геол.-мин. наук. Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2012, 16 с..

20. Кармышева И.В., Владимиров В.Г., Владимиров А.Г. Синкинематический гранитоидный магматизм Западного Сангилена (ЮВ Тува) //

Петрология, 2017, т.25, №1, с. 92-118.

21. Кармышева И.В., Владимиров В.Г., Куйбида М.Л., Семенова Д.В., Яковлев В.А. Петрогенезис и тектонические обстановки образования высококалийевых гранитов (Западный Сангилен, Тувино-Монгольский массив) // Геосферные исследования, 2022, № 1, с. 6–32.

22. Каулина Т.В. Образование и преобразование циркона в полиметаморфических комплексах. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2010, 144 с..

23. Козаков И.К., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Бибилова Е.В., Ковач В.П., Кирнозова Т.И., Бережная Н.Г., Лыхин Д.А. Возраст метаморфизма кристаллических комплексов Тувино-Монгольского массива: результаты U-Pb геохронологических исследований гранитоидов // Петрология, 1999а, т. 7, № 2, с. 174-190.

24. Козаков И.К., Сальникова Е.Б., Бибилова Е.В., Кирнозова Т.И., Котов А.Б., Ковач В.П. О полихронности развития палеозойского гранитоидного магматизма в Тувино-Монгольском массиве: результаты U-Pb геохронологических датирований. Петрология, 1999б, т. 7, № 6, с. 631-643.

25. Козаков И.К., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Ковач В.П., Натман А., Бибилова Е.В., Кирнозова Т.И., Тодт В., Кренер А., Яковлева С.З., Лебедев В.И., Сугоракова А.М. Возрастные рубежи структурного развития метаморфических комплексов Тувино-Монгольского массива // Геотектоника, 2001, № 3, с. 22-43.

26. Козаков И.К., Ковач В.П., Ярмолюк В.В., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Загорная Н.Ю. Корообразующие процессы в геологическом развитии Тувино-Монгольского массива: Sm-Nd изотопные и геохимические данные по гранитоидам // Петрология, 2003, т. 11, № 5, с. 491-511.

27. Козаков И.К., Сальникова Е.Б., Анисимова И.В., Азимов П.Я., Ковач В.П., Плоткина Ю.В., Стифеева М.В., Федосеенко А.М. Тектоническая позиция метаморфических поясов позднего неопротерозоя – раннего палеозоя в структуре Тувино-Монгольского террейна Центрально-

Азиатского складчатого пояса // Петрология, 2019, т. 27, № 1, с. 47-64.

28. Козаков И.К., Ковач В.П., Сальникова Е.Б., Кренер А., Адамская Е.В., Азимов П.Я., Гороховский Б.М., Иванова А.А., Ойдуп Ч.К., Плоткина Ю.В. Возрастные рубежи и геодинамические обстановки формирования метаморфических комплексов юго-западной части Тувино-Монгольского террейна, Центрально-Азиатский складчатый пояс // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2021, т. 29, № 4, с. 3-26.

29. Костицын Ю.А., Белоусова Е.А., Силантьев С.А., Бортников Н.С., Аносова М.О. Современные проблемы геохимических и U-Pb геохронологических исследований циркона в океанических породах // Геохимия, 2015, № 9, с. 771-800

30. Кузьмичев А. Б. Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: ранебайкальский, позднебайкальский и раннекаледонский этапы. Москва: ПРОБЕЛ-2000, 2004, 192 с..

31. Лебедев В.И., Халилов В.А., Каргополов С.А., Владимиров А.Г., Гибшер А.С. U-Pb возраст высокотемпературного метаморфизма Сангилен (Юго-Восточная Тува) // Доклады АН СССР, 1991, т. 320, № 3, с. 682-686.

32. Левченков О.А., Ризванова Н.Г., Маслеников А.В., Макеев А.Ф., Безмен Н.И., Левский Л.К. Особенности кинетики потерь свинца и урана метамиктным цирконом при различных P-T-X-условиях // Геохимия, 1998, № 11, с. 1115-1122.

33. Мачевариани М.М. Типоморфные особенности циркона гранитоидов Верхнеурмийского массива (Приамурье) // Диссертация на соискание уч. ст. канд. геол. – мин. наук. Санкт-Петербург, СПГУ, 2015, 149 с..

34. Монгуш А.А., Гусев Н.И., Дружкова Е.К. Первые данные о U-Pb возрасте плагиогранитов Чон-Саирского офиолитового массива (Южная Тува) - свидетельство раннеордовикского этапа офиолитогенеза? // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири: Материалы 1-й научно-практической конференции. Новосибирск, СНИИГГиМС, 2014, т. 1, с. 105-109.

35. Петрова А.Ю. Rb-Sr изотопная система метаморфических и магматических пород Западного Сангилен (Юго-Восточная Тува) // Автореферат диссертации на соискание уч. ст. канд. геол.-мин. наук. Москва, ИМГРЭ, 2001, 26 с.

36. Петрова А.Ю., Костицын Ю.А. Сравнение U-Pb и Rb-Sr возрастов гранитоидов Западного Сангилен (Юго-Восточная Тува): полемический пересмотр опубликованных данных // Изотопное датирование геологических процессов: новые методы и результаты. Материалы Всероссийской конференции по изотопной геохронологии. Москва, 2001, с. 261—264.

37. Пономарева А.П., Каргополов С.А., Киреев А.Д. Гранитоидный магматизм Западного Сангилен (к вопросу о генезисе S- и A-гранитов) // Геология и геофизика, 2001, т. 42, № 6, с.937-950.

38. Ризванова Н.Г. Поведение U и Pb в системе циркон – раствор при различных P и T условиях // Автореферат диссертации на соискание уч. Ст. канд. геол. – мин. наук. Санкт-Петербург, ИГГД РАН, 1998, 20 с..

39. Руднев С.Н., Владимиров А.Г., Пономарева А.П., Крук Н.Н., Бабин Г.А., Борисов С.М. Раннепалеозойские гранитоидные батолиты Алтае-Саянской складчатой области (латерально-временная зональность, источники) // Доклады Академии Наук, 2004, т. 396, с. 369–373.

40. Травин А.В., Каргополов С.А., Лепезин Г.Г., Пономарчук В.А., Юдин Д.С. Возраст и термохронологические реконструкции полиметаморфического комплекса Западного Сангилен (Юго-Восточная Тува) // Изотопное датирование процессов рудообразования, магматизма, осадконакопления и метаморфизма: Материалы III Российской конференции по изотопной геохронологии. Москва: ГЕОС, 2006, т. 2, с. 350-355.

41. Травин А.В. Термохронология субдукционно-коллизионных, коллизионных событий Центральной Азии. Диссертация на соискание уч. ст. докт. геол. – мин. наук. Новосибирск, ИГМ СО РАН, 2016, 319 с..

42. Цыганков А.А., Бурмакина Г.Н., Яковлев В.А., Хубанов В.Б., Владимиров В.Г., Кармышева И.В., Буянтуев М.Д. Состав и U-Pb (LA-ICP-MS) изотопный возраст цирконов комбинированных даек Западного Сангилен (Тувинно-Монгольский массив) // Геология и геофизика, 2019, т. 60, № 1, с. 55 – 78.

43. Шелепаев Р.А. Эволюция базитового магматизма Западного

Сангилен (Юго-Восточная Тува). Автореферат диссертации на соискание уч. ст. канд. геол. - мин. наук. Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2006, 16 с..

44. Шелепаев Р.А., Егорова В.В., Изох А.Э., Зельтман Р. Эволюция базитового магматизма в ходе кембро-ордовикского коллизионного тектогенеза Центрально-Азиатского складчатого пояса (Западный Сангилен, Юго-Восточная Тува) // Геология и геофизика, 2018, т. 59, № 5, с. 653-672.

45. Яковлев В.А., Кармышева И.В., Владимиров В.Г. Петрохимическая характеристика пород магматического минглинга Западного Сангилена (ЮВ Тува) // Рудно-магматические системы. Магматизм, металлогения и тектоника Северной Азии. Сборник научных трудов по фундаментальным исследованиям Института геологии и минералогии СО РАН. Выпуск 1. Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2018, с. 34-44.

46. Ярмолук В.В., Козловский А.М., Мороз У.А., Никифоров А.В. Пикродолеритовые дайки бассейна р. Нарын: возраст, состав и положение в геологической истории юго-восточной Тувы // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле, 2024, т. 526, № 2, с. 531-542.

47. Altherr R., Holl, F., Hegner E., Langer C., Kreuzer H. High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides: northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany) // Lithos, 2000, v. 50, p. 51-73.

48. Appleby S. K., Gillespie M. R., Graham C. M., Hinton R. W., Oliver G. J. H., Kelly N. M. Do S-type granites commonly sample infracrustal sources? New results from an integrated O, U-Pb and Hf isotope study of zircon // Contrib. Mineral. Petrol., 2010, v. 160, p. 115-132.

49. Austrheim H., Corfu F. Formation of planar deformation features (PDFs) in zircon during coseismic faulting and an evaluation of potential effects on U-Pb systematics // Chemical Geology, 2009, v. 261, p. 25-31.

50. Baksi A.K., Archibald D.A., Farrar E. Intercalibration of  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating standards // Chemical Geology, 1996, v. 129, p. 307-324.

51. Belousova E., Griffin W., O'Reilly S.Y. Fisher N.I. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type // Contribution to Mineralogy

and Petrology, 2002, v. 143, p. 602-622.

52. Belousova E.A., Kostitsyn Y.A., Griffin W.L., Begg G.C., O'Reilly S.Y., Pearson N.J. The growth of the continental crust: Constraints from zircon Hf-isotope data // *Lithos*, 2010, v. 119, p. 457-466.

53. Black L.P., Kamo S.L., Allen C.M., Aleinikoff J.N., Davis D.W., Korsch R.J., Foudoulis C. TEMORA 1: A New Zircon Standard for Phanerozoic U-Pb Geochronology. *Chemical Geology*, 2003, v. 200, p. 155-170.

54. Black L.P., Kamo S.L., Allen C.M., Davis D.W., Aleinikoff J.N., Valley J.W., Mundil R., Campbell I.H., Korsch R.J., Williams I.S., Foudoulis C. Improved  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element-related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards // *Chemical Geology*, 2004, v. 205, p. 115–140.

55. Bogaerts M., Scaillet B., Vander Auwera J. Phase equilibria of the Lyngdal granodiorite (Norway): implications for origin of metaluminous ferroan granotoids // *Journal of Petrology*, 2006, v. 47, p. 2405–2431.

56. Chappell B.W., White A.J.R. Two Contrasting Granite Types. 25 Years Later // *Australian Journal of Earth Sciences*, 2001, v. 48, p. 489–499.

57. Cherniak D.J., Watson E.B. Pb diffusion in zircon // *Chemical Geology*, 2001, v. 172, p. 5-24.

58. Cherniak D.J., Watson E.B. Diffusion in zircon // *Zircon. Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 2003, v. 53, p. 113-143.

59. Corfu F. A century of U-Pb geochronology: The long quest towards concordance // *Geological Society of America Bulletin*, 2013, v. 125, p. 33–47.

60. Dodson M.H. Closure temperature in cooling geochronological and petrological systems // *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1973, v. 40, p. 259–274.

61. Dodson M.H. Closure profiles in cooling systems. In: *Materials Science Forum*. Switzerland: Trans Tech Publications, 1986, p. 145-153.

62. Frost B.R., Barnes C.G., Collins W.J., Arculus R.J., Ellis D.J., Frost C.D. A geochemical classification for granitic rocks // *Journal of Petrology*, 2001, v. 42, p. 2033–2048.
63. Fu B., Page F. Z., Cavosie A. J., Fournelle J., Kita N. T., Lackey J. S., Wilde S. A., Valley J. W. Ti-in-zircon thermometry: Applications and limitations // *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2008, v. 156, p. 197–215.
64. Geisler T. Isothermal annealing of partially metamict zircon: evidence for a three-stage recovery process // *Physics and Chemistry of Minerals*, 2002, v. 29, p. 420–429.
65. Geisler T., Trachenko K., Ríos S., Dove M.T., Salje E.K.H. Impact of self-irradiation damage on the aqueous durability of zircon (ZrSiO<sub>4</sub>): implications for its suitability as a nuclear waste form // *Journal of Physics, Condensed Matter*, 2003, v. 15, p. 597-605.
66. Geisler T., Schaltegger U., Tomaschek F. Re-equilibrium of zircon in aqueous fluids and melts // *Elements*, 2007, v. 3, p. 43-50.
67. Griffin W.L., Powell W.J., Pearson N.J., O'Reilly S.Y. GLITTER: Data Reduction Software for Laser Ablation ICP-MS // *Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current Practise and Outstanding Issues*. Mineralogical Association of Canada Short Courses Series, 2008, v. 40, p. 308-311.
68. Grimes C.B., Wooden J.L., Cheadle M.J., John B.E. “Fingerprinting” tectono-magmatic provenance using trace elements in igneous zircon // *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2015, v. 170, Article 46.
69. Hanchar J.M., Hoskin P.W.O. Zircon // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 2003, v. 53, p. 500.
70. Hanchar J.M., Westrenen W. Rare Earth Element Behavior in Zircon-Melt Systems // *Elements*, 2007, v. 3, p. 37–42.
71. Harley S.L., Kelly N.M. Zircon Tiny but Timely // *Elements*, 2007, v. 3, p. 13–18.
72. Hiess J., Condon D.J., McLean N., Noble S.R. <sup>238</sup>U/<sup>235</sup>U systematics in terrestrial uranium-bearing minerals // *Science*, 2012, v. 335, p. 1610–1614.

73. Hodges K.V. Geochronology and Thermochronology in Orogenic Systems // *Treatise on Geochemistry*, 2003, p. 263-292.
74. Hoskin P.W.O., Black L.P. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon // *Journal of Metamorphic Geology*, 2000, v. 18, p. 423–439.
75. Hoskin P.W.O., Schaltegger U. The Composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 2003, v. 53, p. 27-62.
76. Hoskin P.W.O. Trace-element composition of hydrothermal zircon and the alteration of Hadean zircon from the Jack Hills, Australia // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2005, v. 69, p. 637-648.
77. Jackson S.E., Pearson N.J., Griffin W.L., Belousova E.A. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in-situ U-Pb zircon geochronology // *Chemical Geology*, 2004, v. 211, p. 47-69.
78. Karmysheva I.V., Vladimirov V.G., Rudnev S.N., Yakovlev V.A., Semenova D.V. Syntectonic metamorphism of a collisional zone in the Tuva-Mongolian massif, Central Asian Orogenic belt: P-T conditions, U-Pb ages and tectonic setting // *Journal of Asian Earth Sciences*, 2021, v. 220, Article 104919.
79. Kelly N. M., Harley S. L. An integrated textural and chemical approach to zircon geochronology: Refining the Archaean history of the Napier Complex, east Antarctica // *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2005, v. 149, p. 57–84.
80. Kirkland C.L., Smithies R. H., Taylor R. J. M., Evans N., McDonald B. Zircon Th/U ratios in magmatic environs // *Lithos*, 2015, v. 212–215, p. 397–414.
81. Kohn M.J., Engi M., Lanari P. Petrochronology: Methods and Applications // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 2017, v. 83, 575 p..
82. Kovaleva E., Klötzli U., Habler G., Huet B., Guan Y., Rhede D. The effect of crystal-plastic deformation on isotope and trace element distribution in zircon: Combined BSE, CL, EBSD, FEG-EMPA and NanoSIMS study // *Chemical Geology*, 2017, v. 450, p. 183-198.

83. Kylander-Clark A.R.C., Hacker B.R., Cottle J.M. Laser-ablation split-stream ICP petrochronology // *Chemical Geology*, 2013, v. 345, p. 99-112.
84. Kuzmichev A. B., Bibikova E. V., Zhuravlev D. Z. Neoproterozoic (~800 Ma) orogeny in the Tuva-Mongolia Massif (Siberia): island arc–continent collision at the northeast Rodinia margin // *Precambrian Research*, 2001, v.110, p. 109–126.
85. Laurent O., Martin H., Moyen J.F., Doucelance R. The diversity and evolution of late-Archean granitoids: Evidence for the onset of «modern-style» plate tectonics between 3.0 and 2.5 Ga // *Lithos*, 2014, v. 205, p. 208-235.
86. Ludwig K.R. ISOPLOT/Ex: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, 2003, 74 p..
87. Miller C.F. Are strongly peraluminous sedimentary magmas derived from pelitic sources? // *Journal of Geology*, 1985, v. 93, p. 673–689.
88. Middlemost E.A.K. Naming materials in the magma/igneous rock system // *Earth-Science Reviews*, 1994, v. 37, p. 215–224.
89. Moser D.E., Cupelli C.L., Barker I.R., Flowers R.M., Bowman J.R., Wooden J., Hart J.R. New zircon shock phenomena and their use for dating and reconstruction of large impact structures revealed by electron nanobeam (EBSD, CL, EDS) and isotopic U–Pb and (U–Th)/He analysis of the Vredefort dome // *Canadian Journal of Earth Sciences*, 2011, v. 48, p. 117-139.
90. Nasdala L., Götze J., Hanchar J. M., Gaft M., Krbetschek M. R. Luminescence techniques in Earth Sciences // *EMU Notes Mineral*, 2004, v. 6, p. 43–91.
91. Nasdala L., Wenzel M., Vavra G., Irmer G., Wenzel T., Kober B. Metamictisation of natural zircon: accumulation versus thermal annealing of radioactivity-induced damage // *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2001, v. 141, p. 125-144.
92. Nasdala L., Lengauer C.L., Hanchar J.M., Kronz A., Wirth R., Blanc P., Kennedy A.K., Seydoux-Guillaume A.M. Annealing radiation damage and the recovery of cathodoluminescence // *Chemical Geology*, 2002, v. 191, p. 121–140.
93. Nasdala L., Zhang M., Kempe U., Panczer G., Gaft M., Andrut M., Plötze M. Spectroscopic methods applied to zircon // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*,

2003, v. 53, p. 428–467.

94. Nasdala L., Kronz A., Wirth R., Váczi T., Pérez-Soba C., Willner A., Kennedy A.K., The phenomenon of deficient electron microprobe totals in radiation-damaged and altered zircon // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2009, v. 73, p. 1637-1650.

95. Palenik C.S., Nasdala L., Ewing R.C. Radiation damage in zircon // *American Mineralogist*, 2003, v. 88, p. 770–781.

96. Paul A., Jung S., Romer R.L., Stracke A., Hauf F. Petrogenesis of synorogenic high-temperature leucogranites (Damara orogen, Namibia): constraints from U–Pb monazite ages and Nd, Sr and Pb isotopes // *Gondwana Research*, 2014, v. 25, p. 1614–1626.

97. Peccerillo A., Taylor S.R. Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey // *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1976, v. 58, p. 63–81.

98. Pfander J.A., Jochum K.P., Kozakov I., Kroner A., Todt W. Coupled evolution of back-arc and island arc-like mafic crust in the late Neoproterozoic Agardagh Tes-Chem ophiolite Central Asia: Evidence from trace element and Sr-Nd-Pb isotope data // *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2002, v. 143, p. 154–174.

99. Piazzolo S., Austrheim H., Whitehouse M. Brittle-ductile microfabrics in naturally deformed zircon: Deformation mechanisms and consequences for U-Pb dating // *American Mineralogist*, 2012, v. 97, p. 1544-1563.

100. Piazzolo S., La Fontaine A., Trimby P., Harley S., Yang L., Armstrong R., Cairney J.M. Deformation-induced trace element redistribution in zircon revealed using atom probe tomography // *Nature Communications*, 2016, v.7, Article 10490.

101. Piazzolo S., Belousova E., La Fontaine A., Corcoran C., Cairney J.M. Trace element homogeneity from micron- to atomic scale: Implication for the suitability of the zircon GJ-1 as a trace element reference material // *Chemical Geology*, 2017, v. 456, p. 10-18.

102. Pidgeon R.T. Zircon radiation damage ages // *Chemical Geology*, 2014, v. 367, p. 13-22.
103. Rayner N., Stern R.A., Carr D. Grain-scale variations in trace element composition of fluid-altered zircon, Acasta Gneiss Complex, northwestern Canada // *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2005, v. 148, p. 721-734.
104. Reddy S.M., Timms N.E., Trimby P., Kinny P.D., Buchan C., Blake K. Crystal-plastic deformation of zircon: A defect in the assumption of chemical robustness // *Geology*, 2006, v. 34, p. 257–260.
105. Reddy S.M., Timms N.E., Pantleon W., Trimby P. Quantitative characterization of plastic deformation of zircon and geological implications // *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2007, v. 153, p. 625–645.
106. Reddy S.M., Timms N.E., Eglington B.M. Electron backscatter diffraction analysis of zircon: A systematic assessment of match unit characteristics and pattern indexing optimization // *American Mineralogist*, 2008, v. 93, p. 187-197.
107. Reddy S.M., Timms N.E., Hamilton P.J., Smyth H. Deformation-related microstructures in magmatic zircon and implications for diffusion // *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2009, v. 157, p. 231–244.
108. Reddy S.M., Riessen A., Saxey D.W., Johnson T.E., Rickard W.D.A., Fougere D., Fischer S., Prosa T.J., Rice K.P., Reinhard D.A., Chen Y., Olson D. Mechanisms of deformation-induced trace element migration in zircon resolved by atom probe and correlative microscopy // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2016, v. 195, p. 158-170.
109. Reiners P.W., Ehlers T.A., Zeitler P.K. Past, Present, and Future of Thermochronology // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 2005, v. 58, p. 1–18.
110. Rubatto D., Gebauer D. Use of cathodoluminescence for U–Pb zircon dating by ion microprobe: some examples from the Western Alps. *Cathodoluminescence in Geosciences*. Springer: 2000, p. 373–400.
111. Rubatto D. Zircon: The Metamorphic Mineral // *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 2017, v. 83, p. 261-296.
112. Salnikova E.B., Kozakov I.K., Kotov A.B., Kroner A., Todt W., Bibikova

E.V., Nutman A., Yakovleva S.Z., Kovach V.P. Age of palaeozoic granites and metamorphism in the Tuvino-Mongolian Massif of the Central Asian Mobile Belt: loss of a Precambrian microcontinent // *Precambrian Research*, 2001, v. 110, p. 143-164.

113. Schaltegger U., Fanning C.M., Günther D., Maurin J.C., Schulmann K., Gebauer D. Growth, annealing and recrystallization of zircon and preservation of monazite in high-grade metamorphism: conventional and in-situ U-Pb isotope, cathodoluminescence and microchemical evidence // *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1999, v. 134, p. 186-201.

114. Simon I., Jung S., Romer R.L., Garbe-Schönberg D., Berndt J. Geochemical and Nd–Sr–Pb isotope characteristics of synorogenic lower crust-derived granitoids (Central Damara orogen, Namibia) // *Lithos*, 2017, v. 274-275, p. 397-411.

115. Sláma J., Košler J., Condon D.J., Crowley J.L., Gerdes A., Hanchar J.M., Horst-wood M.S.A., Morris G.A., Nasdala L., Norberg N., Schaltegger U., Schoene B., Tubrett M.N., Whitehouse M.J. Plešovice zircon – A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis // *Chemical Geology*, 2008, v. 249, p. 1-35.

116. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // In: A.D. Saunders, M.J. Norry (Eds), *Magmatism in the ocean basins*. Geological Society Special Publication, 1989, v. 42, p. 313-345.

117. Taylor R.J.M., Kirkland C.L., Clark C. Accessories after the facts: Constraining the timing, duration and conditions of high-temperature metamorphic processes // *Lithos*, 2016, v. 264, p. 239-257.

118. Tichomirowa M., Whitehouse M.J., Nasdala L. Resorption, growth, solid state recrystallisation, and annealing of granulite facies zircon—a case study from the Central Erzgebirge, Bohemian Massif // *Lithos*, 2005, v. 82, p. 25-50.

119. Timms N.E., Kinny P.D., Reddy S.M. Enhanced diffusion of uranium and thorium linked to crystal plasticity in zircon // *Geochemical Transactions*,

2006, v.7, Article 10.

120. Timms N.E., Kinny P.D., Reddy S.M., Evans K., Clark C., Healy D. Relationship among titanium, rare earth elements, U–Pb ages and deformation microstructures in zircon: Implications for Ti-in-zircon thermometry // *Chemical Geology*, 2011, v. 280, p. 33-46.

121. Tomaschek F., Kennedy A.K., Villa I.M., Lagos M., Ballhaus C. Zircons from Syros, Cyclades, Greece—Recrystallization and mobilization of zircon during high-pressure metamorphism. *Journal of Petrology*, 2003, v. 44, p. 1977-2002.

122. Udin D., Travin A.V., Vladimirov V.G., Prostyakov K., Barabach N.V. Age spectra of biotite indicator of deformation rate: evidence from microchemical, structural, step-heating and laser  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  analyses // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Special Supplement “Abstracts of the 12th Annual V.M.Goldschmidt Conference Davos, Switzerland August 18-23, 2002”, 2002, v. 66, p.A791.

123. Váczi T. A new, simple approximation for the deconvolution of instrumental broadening in spectroscopic band profiles // *Applied Spectroscopy*, 2014, v. 68, p. 1274-1278.

124. Van Achterbergh E., Ryan C.G., Jackson S.E., Griffin W.L. Data reduction software for LA-ICP-MS. In: P.J. Sylvester (Ed.), *Laser-ablation-ICPMS in the Earth sciences – principles and applications*. Mineralogical association of Canada, short course series, 2001, v. 29, p. 239-243.

125. Vielzeuf D., Montel J.M. Partial melting of metagreywackes. Part I. Fluid-absent experiments and phase relationships // *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1994, v. 117, p. 375–393.

126. Wang X., Griffin W. L., Chen J., Huang P., Li X. U and Th contents and Th/U ratios of zircon in felsic and mafic magmatic rocks: Improved zircon-melt distribution coefficients // *Acta Geologica Sinica*, 2011, v. 85, p. 164-174.

127. Warr L.N. IMA–CNMNC approved mineral symbols // *Mineralogical Magazine*, 2021, v. 85, p. 291–320.

128. Watson E.B., Wark D.A., Thomas J.B. Crystallization thermometers for zircon and rutile // *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2006, v.151, p.413–433.

129. Yuan H.-L., Gao S., Dai M.-N., Zong C.-L., Gunter D., Fontaine G.H., Liu X.-M., Diwu C.-R. Simultaneous determination of U-Pb age, Hf isotopes and trace element compositions of zircon by excimer laser-ablation quadrupole and multiple-collector ICP-MS // *Chemical Geology*, 2008, v. 247, p. 100-118.

130. Yudin D., Murzintsev N., Travin A., Alifirova T., Zhimulev E., Novikova S. Studying the Stability of the K/Ar Isotopic System of Phlogopites in Conditions of High T, P:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Dating, Laboratory Experiment, Numerical Simulation // *Minerals*, 2021, v. 11, Article 192.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

**Приложение 1.** Данные изотопно-геохронологических исследований магматических и метаморфических пород Западного Сангилена (ЮВ Тува) (по Владимиров и др., 2017 с дополнениями)

Геологическая привязка/комплекс	Анализируемая порода	Минерал, метод определения	Возраст, млн лет	Источник
Нарынский комплекс, правобережье р. Нарын. Комбинированная дайка.	Гранит	Zrn (U-Pb)	<b>439 ± 3</b>	Ярмолюк и др., 2024
Агардагский щелочно-базальтоидный комплекс. Щелочные габброиды. Дайка камптонитов.	Лампрофиры	Bt (Ar-Ar)	<b>441.3 ± 1.1</b>	Изох и др., 2001a
Мугурский метаморфический комплекс. Авто- и параавтохтонные гнейсограниты.	Grt-Crd гнейсограниты	Zrn (U-Pb)	<b>442.0 ± 21.0</b>	Лебедев и др., 1991
Камптонитовые дайки Агардагского комплекса	гломеросросток	Zrn (U-Pb)	<b>444 ± 7.5</b>	Гибшер и др., 2012
Агардагский щелочно-базальтоидный комплекс. Щелочные габброиды. Дайка камптонитов.	Лампрофиры	Amp	<b>447.6 ± 1.7</b>	Изох и др., 2001a
Таннуольский кварцдиорит-гранодиорит-гранитный комплекс	Qz-Bt-Hbl диориты	Zrn (U-Pb)	<b>457.0 ± 2.9</b>	Козаков и др., 2001
Мугурский метаморфический комплекс, участок Тарлашкинхемский	And сланец	Bt (Ar-Ar)	<b>462.1 ± 3.4</b>	Травин и др., 2006
Комбинированная дайка, участок Тавыт-Даг	Гранит	Bt (Ar-Ar)	<b>462.5 ± 1.0</b>	Владимиров и др., 2017
Мугурский метаморфический комплекс	Grt-Bt сланцы	Bt (Ar-Ar)	<b>462.9 ± 3.2</b> <b>463.6 ± 3.2</b>	Барабаш и др., 2007
Башкымугурский габбро-монцодиоритовый комплекс	Qz монцодиорит	Порода (Rb-Sr)	<b>464.0 ± 5.0</b>	Петрова, 2001

Дайка кварцевых диоритов в мугурском метаморфическом комплексе	Кварцевые диориты	Порода (Rb-Sr)	<b>464.0 ± 5.0</b>	Петрова, Костицын, 2001
Мугурский метаморфический комплекс, участок Ак-Даг	Gr-Bt сланец	Bt (Ar-Ar)	<b>464.0 ± 1.0</b>	Udin et al., 2002
Башкымугурский габбро-монцодиоритовый комплекс	Qz-Нур монцодиорит	Zrn (U-Pb)	<b>464.6 ± 5.7</b>	Козаков и др., 1999б
Мугурский метаморфический комплекс, участок Тарлашкинхемский	Mu-St сланец	Ms (Ar-Ar)	<b>464.7 ± 2.6</b>	Травин и др., 2006
Башкымугурский габбро-монцодиоритовый комплекс	Qz монцодиорит	Bt (Ar-Ar)	<b>465.0 ± 1.2</b>	Изох и др., 2001б, Шелепаев и др., 2018
Мугурский метаморфический комплекс, участок Тарлашкинхемский	And сланец	Bt (Ar-Ar)	<b>465.2 ± 2.6</b>	Травин и др., 2006
Комбинированная дайка	Гранитоиды и базиты	Порода (Rb-Sr)	<b>467.0 ± 21.0</b>	Петрова, 2001
Мугурский метаморфический комплекс, участок Тарлашкинхемский	Нур сланец	Bt (Ar-Ar)	<b>467.2 ± 2.5</b>	Травин и др., 2006
Эрзинский метаморфический комплекс	Crd-содержащие Grt-Bt гнейсы	Порода (Rb-Sr)	<b>468.0 ± 6.0</b>	Петрова, Костицын, 2001
Эрзинский метаморфический комплекс, зона контактового метаморфизма Баянкольского массива	Grt-And сланец	Bt (Ar-Ar)	<b>468.1 ± 5.4</b>	Травин и др., 2006
Мугурский метаморфический комплекс, участок Тарлашкинхемский	Mu-St сланец	Bt (Ar-Ar)	<b>468.4 ± 2.4</b>	Травин и др., 2006
Комбинированная дайка	Аляскиты	Порода (Rb-Sr)	<b>468.6 ± 12.0</b>	Петрова, Костицын, 2001
Мугурский метаморфический комплекс, участок Тарлашкинхемский	Sil сланец	Bt (Ar-Ar)	<b>468.9 ± 3.1</b>	Травин и др., 2006
Эрзинский метаморфический комплекс	Мигматиты	Pl, Fsp, Grt, Bt, Порода (Rb-Sr)	<b>469.0 ± 8.0</b>	Петрова, 2001

Мугурский метаморфический комплекс	Grт-Кусланцы	Bt, Ms, Pl, Порода (Rb-Sr)	<b>471.0 ± 4.0</b>	Петрова, 2001
Мугурский метаморфический комплекс, участок Тарлашкинхемский	Mu-St сланец	Bt (Ar-Ar)	<b>471.0 ± 2.6</b>	Травин и др., 2006
Ухадагский гранитный комплекс	Граниты	Порода (Rb-Sr)	<b>471.0 ± 10.0</b>	Петрова, Костицын, 2001
Комбинированная дайка, участок Тавыт-Даг	Габбро	Amp (Ar-Ar)	<b>471.2 ± 1.9</b>	Владимиров и др., 2017
Матутский гранитоидный комплекс	Гранит	Порода (Rb-Sr)	<b>472.0 ± 6.0</b>	Петрова, Костицын, 2001
Эрзинский метаморфический комплекс, зона контактового метаморфизма Баянкольского массива	Grт-And сланец	Bt (Ar-Ar)	<b>472.8 ± 5.6</b>	Травин и др., 2006
Баидагский меланогранит-гранит-лейкогранитный комплекс	Гранит	Порода (Rb-Sr)	<b>473.0 ± 7.0</b>	Петрова, Костицын, 2001
Тесхемский субщелочной граносиенит-гранит-лейкогранитный комплекс	Гранит	Порода (Rb-Sr)	<b>473.0 ± 7.0</b>	Петрова, 2001
Мугурский метаморфический комплекс. Орто- и парапороды	Мигматитовая лейко- и меланосома	Pl, Bt, порода (Rb-Sr)	<b>474.0 ± 3.0</b>	Петрова, 2001
Нижнеулорский лейкогранит-гранитный комплекс	Плагиограниты	Порода (Rb-Sr)	<b>474.0 ± 3.0</b>	Петрова, 2001
Баянкольский массив габбро-диорит-гранодиорит-гранитного состава	Гранит	Порода (Rb-Sr)	<b>476.0 ± 8.0</b>	Петрова, Костицын, 2001
Нижнеулорский лейкогранит-гранитный комплекс	Плагиограниты	Pl, Fsp, Bt, Порода (Rb-Sr)	<b>476.0 ± 6.0</b>	Петрова, Костицын, 2001
Чон-Саирский офиолитовый массив	Плагиограниты	Zrn (U-Pb)	<b>477.0 ± 5.0</b>	Монгуш и др., 2014
Мугурский метаморфический комплекс	Grт-Ку-St сланец	Bt (Ar-Ar)	<b>478.7 ± 6.2</b>	Травин и др., 2006

Комбинированная дайка, участок Тавыт-Даг	гранит	Zrn (U-Pb, ЛА-ИСП-МС)	<b>479-920</b>	Цыганков и др., 2019
Тесхемский субщелочной граносиенит-гранит-лейкогранитный комплекс	Лейкократовые граносиениты	Zrn (U-Pb)	<b>480.0 ± 5.4</b>	Козаков и др., 2001
Нижнеулурский лейкогранит-гранитный комплекс	Плагиограниты	Bt (Ar-Ar)	<b>480.7 ± 1.8</b>	Владимиров и др., 2005
Ухадагский комплекс, Тесхемский массив	Гранит	Zrn (U-Pb, ЛА-ИСП-МС)	<b>482 ± 2</b>	Кармышева и др., 2022
Мугурский метаморфический комплекс	Grt-Ky-St сланец	Ms (Ar-Ar)	<b>482.9 ± 6.1</b>	Травин и др., 2006
Комбинированная дайка, участок Сайзырал	базит	Zrn (U-Pb, ЛА-ИСП-МС))	<b>484.7 ± 12</b>	Цыганков и др., 2019
Эрзинский габбро-монцодиоритовый комплекс	Лейкократовые граниты	Порода (Rb-Sr)	<b>486.0 ± 10.0</b>	Петрова, Костицын, 2001
Эрзинский метаморфический комплекс	Гранитная дайка	Zrn (U-Pb, ЛА-ИСП-МС))	<b>486 ± 2</b>	Karmysheva et al., 2021
Ухадагский комплекс, зона плутонического минглинга	Гранит	Zrn (U-Pb, ЛА-ИСП-МС))	<b>486 ± 2</b>	Кармышева и др., 2022
Ухадагский комплекс, междуречье рек Эрзин и Нарын	Кварцевый сиенит	Zrn (U-Pb, ЛА-ИСП-МС))	<b>487 ± 3</b>	Кармышева и др., 2022
Комбинированная дайка, участок Сайзырал	Лейкогранит	Zrn (U-Pb, ЛА-ИСП-МС))	<b>487 ± 3</b>	Яковлев и др., 2024
Баянкольский массив габбро-диорит-гранодиорит-гранитного состава	Меланогаббро-норит	Amp (Ar-Ar)	<b>489.0 ± 3.0</b>	Изох и др., 2001б, Шелепаев и др., 2018
Матутский гранитоидный комплекс, участок Тавыт –Даг	Гранит	Bt (Ar-Ar)	<b>489.0 ± 18.0</b>	Владимиров и др., 2017
Чжаргалантский гранит-лейкогранитный комплекс. Дайка	Amf граниты	Zrn (U-Pb)	<b>489.9 ± 3.1</b>	Козаков и др., 2001

Чжаргалантский гранит-лейкогранитный комплекс. Дайка	Лейкократовые граниты	Zrn (U-Pb)	<b>489.4 ± 2.6</b>	Козаков и др., 1999б
Комбинированная дайка, участок Тавыт-Даг	Гранит	Zrn (U-Pb, ЛА-ИСП-МС))	<b>489.7 ± 7.0</b>	Бурмакина и др., 2016
Комбинированная дайка, участок Тавыт-Даг	Базит	Zrn (U-Pb, ЛА-ИСП-МС))	<b>490 ± 16</b>	Цыганков и др., 2019
Эрзинский габбро-монцодиоритовый комплекс	Кварцевые монцодиориты	Порода (Rb-Sr)	<b>490.0 ± 9.5</b>	Петрова, Костицын, 2001
Эрзинский габбро-монцодиоритовый комплекс	Нур кварцевый диорит	Zrn (U-Pb)	<b>491.6 ± 9.5</b>	Козаков и др., 1999б
Баянкольский массив габбро-диорит-гранодиорит-гранитного состава	Нур трондьемит	Zrn (U-Pb)	<b>494.0 ± 11.0</b>	Козаков и др., 2001
Нижнеэрзинская тектоническая пластина	Grt-Нур метатрондьемит	Zrn (U-Pb)	<b>494.0 ± 11.0</b>	Salnikova et al., 2001
Комбинированная дайка, участок Тавыт-Даг	Монцогаббродиорит	Zrn (U-Pb, ЛА-ИСП-МС)	<b>494.8 ± 5.4</b>	Бурмакина и др., 2016
Комбинированная дайка, участок Сайзырал	лейкогранит	Zrn (U-Pb, ЛА-ИСП-МС)	<b>494.9 ± 4.5</b>	Цыганков и др., 2019
Баянкольский массив габбро-диорит-гранодиорит-гранитного состава	Гиперстеновый диорит	Zrn (U-Pb)	<b>496.5 ± 3.6</b>	Козаков и др., 2001
Мугурский метаморфический комплекс, участок Тарлашкинхемский	Mu-St сланец	Hbl (Ar-Ar)	<b>500.4 ± 7.3</b>	Травин и др., 2006
Хонгилцагиинский массив	Vt гранодиорит	Zrn (U-Pb)	<b>505 ± 2</b>	Козаков и др., 2019
Баянкольский массив габбро-диорит-гранодиорит-гранитного состава	Vt гранодиорит	Zrn (U-Pb)	<b>507 ± 14</b>	Козаков и др., 1999a
Мугурский метаморфический комплекс, участок Тарлашкинхемский	Sil сланец	Hbl (Ar-Ar)	<b>507.5 ± 10.7</b>	Травин и др., 2006
Матутский гранитоидный комплекс, участок Тавыт –Даг	Гранит	Zrn (U-Pb, ЛА-ИСП-МС)	<b>509.0 ± 4.0</b>	Бурмакина и др., 2016

Мугурский метаморфический комплекс	Grt-Ку-St сланец	Amp (Ar-Ar)	<b>511.1 ± 6.1</b>	Травин и др., 2006
Мугурский метаморфический комплекс	Grt-Ку-St сланец	Amp (Ar-Ar)	<b>511.6 ± 4.9</b>	Травин и др., 2006
Мугурский метаморфический комплекс, участок Ак-Даг	Mu-St сланец	Amp (Ar-Ar)	<b>513.1 ± 5.0</b>	Травин и др., 2006
Барунтурунский массив	Vt трондjemит	Zrn (U-Pb)	<b>513 ± 4</b>	Козаков и др., 2019
Ортоадырский массив	трондjemит	Zrn (U-Pb)	<b>516 ± 5</b>	Козаков и др., 2021
Эрзинский метаморфический комплекс	гранит	Zrn (U-Pb, ЛА-ИСП-МС)	<b>517 ± 7</b>	Karmysheva et al., 2021
Орто-Адырский комплекс. Vt и двуслюдяные тоналиты, гранодиориты	Vt тоналиты	Zrn (U-Pb)	<b>521 ± 12</b>	Козаков и др., 1999a
Правотарлашкинский троктолит-анортозит-габбровый комплекс	Ol габбро	Amp (Ar-Ar)	<b>524.0 ± 9.0</b>	Изох и др., 20016, Шелепаев и др., 2018
Орто-Адырский [мугурский] комплекс. Vt и двуслюдяные тоналиты, гранодиориты	Лейкократовые тоналиты	Zrn (U-Pb)	<b>536 ± 5.7</b>	Козаков и др., 1999a
Агардагская шовная зона. Офиолиты	Дайка	Zrn (U-Pb)	<b>569.0 ± 1.1</b>	Pfander et al., 1999
Комбинированная дайка, участок Сайзырал	Лейкогранит	Zrn (U-Pb, ЛА-ИСП-МС)	<b>775</b>	Бурмакина и др., 2016
Комбинированная дайка, участок Сайзырал	Лейкогранит	Zrn (U-Pb, ЛА-ИСП-МС)	<b>850</b>	Бурмакина и др., 2016
Мугурский метаморфический комплекс	Grt-Vt гранитогнейсы	Zrn (U-Pb)	<b>1130.0 ± 16.0</b>	Лебедев и др., 1991

**Приложение 2.** Содержание петрогенных (мас. %) и редких (г/т) элементов в представительных пробах гранитоидов Матутского массива.

Оксиды и элементы	К-164	К-165	К-166-2	К-167	К-168	К-172	К-173	К-176	К-177	К-214	К-234	К-283	К-286
<b>SiO<sub>2</sub></b>	73.45	71.22	75.31	70.16	71.78	70.23	72.89	68.89	70.87	72.87	70.30	70.00	73.44
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.06	0.27	0.14	0.30	0.25	0.25	0.09	0.30	0.22	0.09	0.28	0.26	0.12
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	14.61	14.17	12.82	15.13	14.25	14.99	14.55	15.15	14.97	12.02	14.68	14.91	13.36
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*</b>	1.14	2.84	1.49	3.05	2.29	2.48	1.03	2.81	2.11	1.10	2.91	2.83	1.39
<b>MnO</b>	0.02	0.07	0.04	0.08	0.09	0.10	0.03	0.12	0.08	0.02	0.08	0.09	0.03
<b>MgO</b>	0.08	0.71	0.23	0.71	0.43	0.44	0.19	0.64	0.37	0.10	0.70	0.59	0.14
<b>CaO</b>	1.10	2.02	0.67	2.29	0.73	1.38	0.79	1.87	1.13	0.31	1.83	1.63	1.20
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	3.15	3.12	3.05	3.51	3.70	3.69	3.24	4.02	3.59	2.56	3.57	3.38	2.75
<b>K<sub>2</sub>O</b>	5.51	4.47	5.56	3.96	4.99	5.46	6.15	4.74	5.35	5.56	4.03	5.30	6.12
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.03	0.11	0.06	0.12	0.09	0.08	0.03	0.15	0.06	0.04	0.13	0.17	0.04
<b>п.п.п.</b>	0.25	0.21	0.40	0.44	0.43	0.40	0.31	0.27	0.49	4.92	0.69	0.50	0.82
<b>сумма</b>	<b>99.41</b>	<b>99.20</b>	<b>99.78</b>	<b>99.76</b>	<b>99.02</b>	<b>99.52</b>	<b>99.32</b>	<b>98.96</b>	<b>99.24</b>	<b>99.58</b>	<b>99.20</b>	<b>99.66</b>	<b>99.40</b>
<b>Th</b>	-	-	-	-	-	12	-	9	-	-	-	-	-
<b>U</b>	-	-	-	-	-	0.7	-	0.7	-	-	-	-	-
<b>Cs</b>	-	-	-	-	-	0.89	-	0.41	-	-	-	-	-
<b>Rb</b>	-	-	-	-	-	157	-	121	-	-	-	-	-
<b>Ba</b>	-	-	-	-	-	877	-	798	-	-	-	-	-
<b>Sr</b>	-	-	-	-	-	259	-	261	-	-	-	-	-
<b>La</b>	-	-	-	-	-	44	-	53	-	-	-	-	-
<b>Ce</b>	-	-	-	-	-	77	-	88	-	-	-	-	-
<b>Pr</b>	-	-	-	-	-	8.6	-	11.2	-	-	-	-	-
<b>Nd</b>	-	-	-	-	-	30	-	41	-	-	-	-	-
<b>Sm</b>	-	-	-	-	-	5.3	-	7.5	-	-	-	-	-
<b>Eu</b>	-	-	-	-	-	0.84	-	1.02	-	-	-	-	-

<b>Gd</b>	-	-	-	-	-	4.1	-	6.7	-	-	-	-	-
<b>Tb</b>	-	-	-	-	-	0.66	-	1.00	-	-	-	-	-
<b>Dy</b>	-	-	-	-	-	3.9	-	6.0	-	-	-	-	-
<b>Ho</b>	-	-	-	-	-	0.84	-	1.30	-	-	-	-	-
<b>Er</b>	-	-	-	-	-	2.5	-	3.9	-	-	-	-	-
<b>Tm</b>	-	-	-	-	-	0.40	-	0.58	-	-	-	-	-
<b>Yb</b>	-	-	-	-	-	2.6	-	3.7	-	-	-	-	-
<b>Lu</b>	-	-	-	-	-	0.40	-	0.56	-	-	-	-	-
<b>Zr</b>	-	-	-	-	-	213	-	244	-	-	-	-	-
<b>Hf</b>	-	-	-	-	-	5.3	-	6.0	-	-	-	-	-
<b>Ta</b>	-	-	-	-	-	0.28	-	0.37	-	-	-	-	-
<b>Nb</b>	-	-	-	-	-	9.0	-	10.1	-	-	-	-	-

## Приложение 2. (продолжение)

Оксиды и элементы	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	<b>K-313</b>	<b>K-313-1</b>	<b>KT-0994-4</b>	<b>KT-0998</b>	<b>KT-1101</b>	<b>KT-1112</b>	<b>KT-1182</b>	<b>KT-1214-1</b>	<b>KT-1217</b>	<b>KT-1256</b>	<b>Y 065</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	69.20	69.84	68.61	76.77	71.51	75.32	76.38	72.04	68.50	70.37	76.73
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.31	0.27	0.33	0.15	0.45	0.13	0.04	0.22	0.33	0.25	0.13
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	15.59	14.78	14.80	11.95	13.55	12.56	12.71	13.47	15.32	14.65	12.14
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*</b>	2.93	2.87	3.18	1.41	4.11	1.38	0.62	2.15	3.01	2.89	1.40
<b>MnO</b>	0.10	0.11	0.11	0.02	0.06	0.03	0.01	0.04	0.09	0.10	0.02
<b>MgO</b>	0.54	0.79	0.85	0.53	0.58	0.41	0.06	0.50	0.80	0.72	0.31
<b>CaO</b>	1.83	1.52	2.19	0.80	1.99	0.83	0.61	0.94	2.35	2.58	0.57
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	3.84	3.68	3.87	3.30	3.21	3.53	3.37	2.76	3.59	3.59	3.05
<b>K<sub>2</sub>O</b>	4.86	4.45	4.72	4.52	3.22	4.49	4.92	6.08	4.52	4.08	5.21
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.12	0.08	0.13	0.02	0.15	0.03	0.01	0.09	0.15	0.10	0.02
<b>п.п.п.</b>	0.43	0.66	0.50	0.38	0.31	0.29	0.34	0.52	0.26	0.31	0.38
<b>сумма</b>	99.77	99.05	99.29	99.86	99.14	98.99	99.08	98.81	98.93	99.64	99.98
<b>Th</b>	-	-	-	-	13	-	21	-	21	19	-
<b>U</b>	-	-	-	-	0.9	-	0.9	-	1.1	1.9	-
<b>Cs</b>	-	-	-	-	1.28	-	1.36	-	0.94	0.37	-
<b>Rb</b>	-	-	-	-	124	-	156	-	125	97	-
<b>Ba</b>	-	-	-	-	974	-	1040	-	881	954	-
<b>Sr</b>	-	-	-	-	113	-	322	-	284	351	-
<b>La</b>	-	-	-	-	28	-	45	-	52	43	-
<b>Ce</b>	-	-	-	-	56	-	83	-	98	74	-
<b>Pr</b>	-	-	-	-	6.1	-	8.8	-	11.4	7.7	-
<b>Nd</b>	-	-	-	-	20	-	31	-	41	26	-
<b>Sm</b>	-	-	-	-	3.3	-	5.0	-	7.8	4.2	-
<b>Eu</b>	-	-	-	-	0.40	-	0.83	-	1.04	0.79	-

<b>Gd</b>	-	-	-	-	3.1	-	4.2	-	7.4	3.8	-
<b>Tb</b>	-	-	-	-	0.44	-	0.64	-	1.15	0.55	-
<b>Dy</b>	-	-	-	-	2.2	-	4.0	-	7.3	3.3	-
<b>Ho</b>	-	-	-	-	0.43	-	0.82	-	1.44	0.72	-
<b>Er</b>	-	-	-	-	1.1	-	2.5	-	4.4	2.1	-
<b>Tm</b>	-	-	-	-	0.17	-	0.41	-	0.65	0.36	-
<b>Yb</b>	-	-	-	-	1.2	-	2.6	-	4.5	2.3	-
<b>Lu</b>	-	-	-	-	0.18	-	0.39	-	0.67	0.36	-
<b>Zr</b>	-	-	-	-	70	-	229	-	204	182	-
<b>Hf</b>	-	-	-	-	2.4	-	6.0	-	5.4	5.0	-
<b>Ta</b>	-	-	-	-	0.33	-	0.57	-	0.56	0.52	-
<b>Nb</b>	-	-	-	-	6.2	-	12.8	-	13.2	8.9	-

**Приложение 3.** Химический состав (мас.%) в точках циркона из образцов КТ-1324, КТ-1256, КТ-1252-1 по данным рентгеноспектрального микроанализа (MIRA 3LMU).

анализ	Cl	CaO	FeO	MnO	K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	HfO <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ThO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Total	
<b>КТ-1324 (ростовая зональность)</b>																				
1	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.28	0.14	0.05	0.05	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	64.81	32.50	100.01	
2	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.16	0.11	0.04	0.08	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	64.44	32.19	99.17	
3	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.34	0.09	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	64.36	32.23	99.20	
4	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.65	0.41	0.09	0.11	0.08	bdl	bdl	bdl	0.08	64.27	32.17	98.95	
5	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.57	0.36	0.14	0.05	0.12	bdl	bdl	0.06	0.13	64.41	32.17	99.09	
6	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.45	0.36	0.13	0.06	0.08	bdl	bdl	0.08	0.09	64.78	32.18	99.34	
7	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.31	0.10	0.05	0.09	0.09	bdl	bdl	0.05	bdl	64.58	32.25	99.62	
8	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.43	0.10	bdl	0.05	0.10	bdl	bdl	bdl	0.07	64.89	32.50	100.19	
9	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	3.04	bdl	0.04	bdl	0.23	bdl	bdl	bdl	bdl	64.59	32.79	100.85	
10	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.91	0.11	0.09	0.04	bdl	bdl	bdl	0.06	bdl	64.67	32.12	99.10	
11	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.41	0.10	0.07	bdl	0.07	bdl	bdl	bdl	0.06	65.14	32.29	100.24	
12	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.71	0.22	0.09	0.07	0.05	bdl	bdl	bdl	0.08	64.34	31.72	98.40	
13	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.13	0.20	0.08	0.09	0.06	bdl	bdl	0.07	0.09	64.43	32.20	99.40	
14	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.91	0.15	0.13	0.04	0.10	bdl	bdl	bdl	0.06	64.41	32.06	98.96	
15	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.32	0.10	0.04	0.07	0.08	bdl	bdl	bdl	0.05	64.62	32.24	99.55	
16	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.67	0.21	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	65.36	32.20	99.56	
17	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.58	0.22	0.10	0.08	0.05	bdl	bdl	bdl	0.06	64.58	32.10	98.88	
18	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.79	bdl	bdl	bdl	0.19	bdl	bdl	bdl	bdl	64.96	32.27	100.34	
19	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.76	bdl	0.08	0.05	0.14	bdl	bdl	bdl	bdl	65.72	31.91	100.81	
20	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.34	0.15	0.05	0.04	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	64.43	32.08	99.25	
21	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.08	0.14	0.07	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	0.05	64.84	32.11	99.40	
22	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.74	0.36	0.06	0.07	0.06	bdl	bdl	0.06	0.11	64.34	32.01	98.92	
23	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.45	0.37	0.13	0.08	0.06	bdl	bdl	0.07	0.12	64.75	32.12	99.27	
24	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.51	0.26	0.11	0.07	0.05	bdl	bdl	bdl	0.06	64.50	31.88	98.61	
25	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.71	0.21	0.10	0.05	0.04	bdl	bdl	0.06	0.06	64.62	31.90	98.82	
26	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.39	0.26	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	64.45	31.97	98.26	

27	bdl	1.47	bdl	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	64.99	32.03	98.72						
28	bdl	1.77	0.21	0.07	0.12	0.04	bdl	bdl	0.07	0.05	64.61	32.17	99.14						
29	bdl	2.42	0.21	0.09	bdl	bdl	bdl	bdl	0.05	0.05	64.79	32.31	100.03						
30	bdl	2.35	bdl	0.05	0.10	0.13	bdl	bdl	0.05	0.05	64.83	32.19	99.89						
31	bdl	2.27	0.28	0.06	0.07	0.06	bdl	bdl	bdl	0.09	64.26	31.94	99.10						
32	bdl	2.36	0.11	0.04	0.07	0.08	bdl	bdl	bdl	bdl	64.81	32.11	99.71						
33	bdl	2.49	bdl	0.04	0.04	0.09	bdl	bdl	bdl	bdl	64.95	32.30	100.11						
34	bdl	2.30	0.12	0.06	0.12	0.16	bdl	bdl	bdl	0.08	64.96	32.19	100.03						
35	bdl	1.18	0.21	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	65.14	32.14	98.86						
36	bdl	2.53	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	65.05	32.29	100.09						
37	bdl	1.97	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	65.15	32.43	99.68						
38	bdl	2.46	0.14	0.06	0.11	0.10	bdl	bdl	bdl	0.08	64.60	32.31	99.93						
<b>cp.</b>								<b>2.06</b>	<b>0.20</b>	<b>0.07</b>	<b>0.07</b>	<b>0.09</b>				<b>0.06</b>	<b>0.07</b>	<b>64.72</b>	<b>32.17</b>
<b>min</b>								<b>1.18</b>	<b>0.09</b>	<b>0.03</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>				<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>64.26</b>	<b>31.72</b>
<b>max</b>								<b>3.04</b>	<b>0.41</b>	<b>0.14</b>	<b>0.12</b>	<b>0.23</b>				<b>0.08</b>	<b>0.13</b>	<b>64.72</b>	<b>32.17</b>

## КТ-1324 (темная кайма)

1	bdl	2.23	0.10	0.08	0.04	0.19	bdl	bdl	bdl	bdl	65.77	33.66	102.15						
2	bdl	2.88	bdl	0.05	bdl	0.22	bdl	bdl	bdl	0.05	64.15	32.19	99.69						
3	bdl	2.68	bdl	0.08	bdl	0.27	bdl	bdl	bdl	bdl	64.48	31.83	99.53						
4	bdl	2.47	bdl	0.07	bdl	0.15	bdl	bdl	bdl	0.06	64.83	32.20	99.97						
5	bdl	2.76	bdl	0.08	0.05	0.14	bdl	bdl	bdl	bdl	65.72	31.91	100.81						
6	bdl	2.78	0.10	0.20	0.07	0.26	bdl	bdl	bdl	0.06	64.30	31.92	99.86						
7	bdl	3.11	bdl	0.04	bdl	0.21	bdl	bdl	bdl	bdl	64.63	32.35	100.48						
8	bdl	2.79	bdl	0.06	0.04	0.19	bdl	bdl	bdl	bdl	64.95	32.31	100.53						
9	bdl	2.31	bdl	bdl	bdl	0.09	bdl	bdl	bdl	bdl	64.93	32.32	99.83						
10	bdl	2.33	0.14	0.04	0.06	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	64.82	32.23	99.77						
11	bdl	2.44	bdl	0.10	bdl	0.16	bdl	bdl	bdl	0.05	65.06	32.52	100.47						
12	bdl	2.59	bdl	bdl	bdl	0.17	bdl	bdl	bdl	bdl	64.31	31.65	98.96						
13	bdl	2.56	0.10	0.11	0.05	0.21	bdl	bdl	0.05	bdl	64.67	32.48	100.36						
14	bdl	2.38	0.09	0.04	0.07	0.11	bdl	bdl	bdl	0.05	64.37	32.01	99.19						
15	bdl	2.70	bdl	0.12	0.05	0.23	bdl	bdl	bdl	0.06	65.03	32.26	100.61						

ср. min max								<b>2.60</b>	<b>0.11</b>	<b>0.08</b>	<b>0.05</b>	<b>0.18</b>				<b>0.05</b>	<b>64.80</b>	<b>32.26</b>	
								<b>2.23</b>	<b>0.09</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.06</b>				<b>0.05</b>	<b>64.15</b>	<b>31.65</b>	
								<b>3.11</b>	<b>0.14</b>	<b>0.20</b>	<b>0.07</b>	<b>0.27</b>				<b>0.06</b>	<b>64.80</b>	<b>32.26</b>	
<b>КТ-1256 (ростовая зональность)</b>																			
1	bdl	2.25	0.10	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	64.89	32.43	99.86						
2	bdl	1.38	0.39	0.09	0.09	bdl	bdl	bdl	0.08	0.06	64.32	32.32	98.84						
3	bdl	1.40	0.13	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.04	64.70	32.50	98.98						
4	bdl	1.54	0.84	0.11	0.12	0.05	bdl	bdl	0.15	0.19	63.63	32.24	98.90						
5	bdl	2.25	0.28	0.04	0.27	0.27	bdl	bdl	0.05	0.15	63.63	32.43	99.42						
6	bdl	2.39	0.09	0.05	0.08	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	64.43	32.69	99.85						
7	bdl	2.45	bdl	bdl	bdl	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	65.20	32.68	100.54						
8	bdl	1.43	0.29	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.06	0.08	64.70	32.33	99.04						
9	bdl	2.64	0.12	0.09	bdl	0.16	bdl	bdl	bdl	0.05	63.56	32.36	99.12						
10	bdl	1.88	0.47	0.09	0.08	0.08	bdl	bdl	0.08	0.11	63.40	32.17	98.42						
11	bdl	1.74	bdl	0.04	bdl	0.04	bdl	bdl	0.05	bdl	65.11	32.52	99.72						
12	bdl	2.39	0.15	0.04	0.05	0.05	0.06	bdl	bdl	0.04	64.47	32.55	99.88						
13	bdl	1.58	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	64.60	32.35	98.75						
14	bdl	2.17	0.21	0.10	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.04	64.74	32.41	99.79						
15	bdl	2.36	0.10	bdl	0.04	0.04	bdl	bdl	0.07	0.06	64.24	32.46	99.45						
16	bdl	2.09	0.21	0.04	0.09	0.12	bdl	bdl	bdl	bdl	64.63	32.33	99.59						
17	bdl	4.40	bdl	bdl	bdl	0.26	bdl	bdl	0.05	bdl	64.13	32.75	101.68						
18	bdl	3.00	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	63.66	32.16	98.98						
19	bdl	1.62	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	64.90	32.47	99.21						
20	bdl	1.64	0.12	0.05	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.05	65.07	32.53	99.55						
21	bdl	2.08	0.10	0.06	bdl	0.04	bdl	bdl	0.06	bdl	64.75	32.42	99.60						
22	bdl	2.20	0.15	bdl	bdl	0.05	bdl	bdl	0.07	0.04	64.74	32.44	99.77						
23	bdl	1.94	0.42	0.10	0.05	0.06	bdl	bdl	0.09	0.08	63.79	32.27	98.85						
24	bdl	1.92	0.09	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	0.06	bdl	64.65	32.39	99.31						
25	bdl	2.50	0.13	bdl	0.05	bdl	bdl	bdl	bdl	0.08	64.51	32.52	99.93						
26	bdl	2.28	0.09	bdl	0.06	0.12	bdl	bdl	0.04	bdl	64.56	32.72	99.94						
27	bdl	2.09	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.05	bdl	64.70	32.61	99.70						

28	bdl	1.34	0.31	0.08	0.05	bdl	bdl	bdl	0.04	0.05	64.85	32.46	99.26						
29	bdl	2.72	bdl	bdl	0.07	0.11	bdl	bdl	0.05	bdl	64.35	32.53	100.01						
30	bdl	2.41	0.09	0.03	0.05	0.09	bdl	bdl	0.04	bdl	64.32	32.36	99.52						
31	bdl	2.68	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.06	64.69	32.65	100.20						
32	bdl	2.75	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	64.30	32.66	99.91						
33	bdl	2.49	0.10	bdl	bdl	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	64.14	32.52	99.49						
34	bdl	2.55	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.04	bdl	63.60	32.31	98.64						
35	bdl	3.70	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.04	bdl	63.65	32.55	100.12						
36	bdl	2.01	0.26	0.07	0.12	0.16	bdl	bdl	0.06	0.08	64.64	32.62	100.13						
37	bdl	2.45	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	0.04	0.04	64.38	32.25	99.28						
38	bdl	2.61	0.15	0.03	bdl	0.08	bdl	bdl	0.05	0.04	64.83	32.73	100.62						
39	bdl	1.57	0.33	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	0.06	0.07	64.71	32.33	99.19						
40	bdl	1.63	1.12	0.19	0.20	0.08	bdl	bdl	0.15	0.22	63.47	32.04	99.16						
41	bdl	1.47	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	65.37	32.53	99.54						
42	bdl	2.29	0.13	0.05	bdl	bdl	bdl	bdl	0.07	0.05	64.89	32.50	100.01						
43	bdl	2.22	0.08	bdl	0.04	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	64.52	32.60	99.66						
44	bdl	2.49	0.13	bdl	0.05	0.07	bdl	bdl	bdl	0.08	64.52	32.70	100.09						
45	bdl	2.46	0.22	bdl	0.06	0.06	bdl	bdl	0.04	0.09	64.67	32.48	100.13						
46	bdl	2.30	0.12	bdl	bdl	0.06	bdl	bdl	0.04	0.07	64.10	32.56	99.37						
47	bdl	1.67	0.15	0.05	0.04	bdl	bdl	bdl	0.04	0.08	64.54	32.23	98.90						
48	bdl	2.40	0.08	0.03	0.05	0.08	bdl	bdl	0.04	bdl	64.18	32.40	99.32						
49	bdl	2.15	0.18	0.04	0.06	0.06	bdl	bdl	0.04	0.04	64.97	32.34	99.92						
50	bdl	1.82	0.08	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	65.03	32.62	99.75						
51	bdl	1.98	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	64.99	32.46	99.54						
52	bdl	1.82	0.14	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.05	0.05	64.94	32.50	99.58						
53	bdl	1.94	0.32	0.07	0.08	0.09	bdl	bdl	0.04	0.09	64.31	32.52	99.48						
54	bdl	1.55	0.22	0.06	bdl	0.04	bdl	bdl	0.05	0.07	65.03	32.60	99.66						
55	bdl	1.56	0.14	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	0.04	0.05	65.38	32.62	99.94						
56	bdl	2.37	0.13	0.05	bdl	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	64.86	32.60	100.15						
57	bdl	2.30	bdl	bdl	0.03	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	64.64	32.43	99.65						
58	bdl	2.54	0.08	0.03	0.04	0.06	bdl	bdl	0.05	0.06	64.24	32.18	99.35						

59	bdl	2.41	bdl	bdl	0.05	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	64.69	32.48	99.80						
60	bdl	2.09	0.15	0.04	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	0.04	64.10	32.21	98.74						
61	bdl	1.40	0.48	0.08	0.03	bdl	bdl	0.06	0.07	0.09	64.23	32.51	99.02						
62	bdl	1.50	0.22	0.09	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.06	64.66	32.32	98.94						
63	bdl	1.47	0.63	0.08	0.09	bdl	bdl	bdl	0.08	0.10	63.79	32.20	98.57						
64	bdl	2.47	bdl	bdl	0.04	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	64.55	32.62	99.88						
65	bdl	2.66	bdl	bdl	bdl	0.05	bdl	bdl	bdl	bdl	64.80	32.55	100.25						
66	bdl	2.32	0.18	bdl	0.06	0.11	bdl	bdl	bdl	bdl	64.61	32.35	99.74						
67	bdl	2.47	bdl	0.03	0.06	0.12	bdl	bdl	bdl	bdl	64.33	32.68	99.87						
68	bdl	1.40	0.87	0.10	0.09	bdl	bdl	0.06	0.12	0.15	63.83	32.31	99.07						
69	bdl	1.43	bdl	65.13	32.54	99.31													
70	bdl	1.44	0.10	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	65.12	32.41	99.19						
71	bdl	1.41	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.05	65.02	32.52	99.17						
72	bdl	1.96	0.16	0.05	bdl	0.05	bdl	bdl	0.05	0.04	64.44	32.37	99.18						
73	bdl	2.01	0.15	0.07	0.04	0.05	bdl	bdl	0.04	0.05	64.23	32.40	99.08						
74	bdl	1.48	0.20	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	0.05	0.07	64.55	32.34	98.89						
75	bdl	1.56	bdl	65.01	32.54	99.25													
76	bdl	2.50	0.18	bdl	0.04	0.06	bdl	bdl	0.04	bdl	64.22	32.56	99.67						
77	bdl	1.82	0.20	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	0.04	0.05	64.32	32.44	98.99						
78	bdl	1.81	0.27	0.06	0.15	0.09	0.06	bdl	bdl	0.07	64.75	32.25	99.56						
79	bdl	2.54	0.10	bdl	0.05	0.06	bdl	bdl	0.06	0.04	64.65	32.49	100.03						
80	bdl	2.33	0.11	0.03	0.08	0.07	bdl	bdl	0.07	0.05	64.44	32.49	99.73						
81	bdl	1.93	0.24	0.05	0.07	0.10	bdl	bdl	0.04	0.09	64.18	32.19	98.95						
82	bdl	1.60	0.66	0.08	0.12	0.11	bdl	bdl	0.09	0.12	63.64	32.21	98.65						
83	bdl	2.04	0.32	0.03	0.04	0.06	bdl	0.05	0.06	0.07	64.29	32.55	99.53						
84	bdl	2.25	0.20	0.03	0.09	0.09	bdl	bdl	0.04	0.08	64.67	32.86	100.38						
85	bdl	2.67	bdl	bdl	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	64.41	32.65	99.94						
86	bdl	2.16	bdl	bdl	0.05	0.10	bdl	bdl	bdl	bdl	63.97	32.26	98.72						
87	bdl	2.61	0.08	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	0.04	bdl	64.26	32.61	99.75						
88	bdl	2.00	0.23	0.04	0.03	0.05	bdl	bdl	bdl	0.07	64.64	32.47	99.66						
89	bdl	2.32	0.11	bdl	0.06	0.06	bdl	bdl	0.05	0.04	64.74	32.53	99.97						

90	bdl	2.22	0.09	0.03	0.14	0.14	bdl	bdl	bdl	0.09	64.61	32.60	99.98						
91	bdl	1.80	0.11	0.04	0.03	0.05	bdl	bdl	0.05	0.05	64.23	32.46	98.90						
92	bdl	1.42	0.27	0.13	0.03	0.06	bdl	bdl	0.08	0.08	64.40	32.18	98.73						
93	bdl	1.73	0.27	0.17	0.08	0.07	bdl	bdl	0.07	0.09	64.22	32.32	99.07						
94	bdl	1.77	0.22	0.05	0.14	0.10	bdl	bdl	0.06	0.07	64.20	32.59	99.26						
95	bdl	1.62	0.30	0.06	0.05	bdl	bdl	bdl	0.06	0.10	64.63	32.52	99.47						
96	bdl	2.29	0.17	0.06	0.03	bdl	bdl	bdl	0.05	0.05	63.76	32.45	98.96						
97	bdl	2.21	0.17	0.04	0.06	0.04	bdl	bdl	0.06	0.04	64.25	32.43	99.41						
98	bdl	1.48	0.33	0.07	0.13	0.08	bdl	bdl	0.07	0.07	63.47	32.15	97.91						
99	bdl	1.91	0.15	0.03	bdl	0.04	bdl	bdl	0.04	bdl	64.17	32.32	98.74						
100	bdl	2.27	0.08	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	63.61	32.35	98.45						
101	bdl	2.41	bdl	0.03	0.06	0.07	bdl	bdl	0.04	0.04	64.26	32.73	99.71						
102	bdl	2.16	0.17	0.03	0.07	0.07	bdl	bdl	0.05	0.06	64.26	32.56	99.53						
103	bdl	1.98	0.11	0.05	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	64.14	32.38	98.82						
104	bdl	2.17	0.26	0.04	0.04	0.05	bdl	bdl	0.04	0.07	63.97	32.42	99.11						
105	bdl	2.32	0.19	bdl	0.14	0.10	bdl	bdl	bdl	0.06	64.27	32.62	99.83						
106	bdl	1.64	0.47	0.07	0.50	0.17	bdl	0.07	0.07	0.08	63.57	32.47	99.17						
107	bdl	1.52	0.38	0.06	0.18	0.07	bdl	bdl	0.06	0.05	63.71	32.33	98.43						
108	bdl	1.47	0.28	0.05	0.05	0.04	bdl	bdl	0.06	0.10	64.29	32.47	98.86						
109	bdl	1.91	0.29	0.04	0.03	0.06	bdl	bdl	0.06	0.06	63.96	32.51	98.99						
110	bdl	1.89	0.10	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.04	bdl	64.39	32.57	99.09						
111	bdl	2.30	0.23	0.04	0.08	0.07	bdl	bdl	0.07	0.14	64.60	32.86	100.47						
112	bdl	2.02	0.09	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.05	0.04	64.62	32.60	99.55						
113	bdl	1.32	0.31	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	0.04	0.06	63.99	32.54	98.40						
114	bdl	1.45	0.39	0.08	0.05	bdl	bdl	bdl	0.05	0.09	63.46	32.45	98.10						
115	bdl	2.32	bdl	0.03	0.06	0.07	bdl	bdl	0.05	0.04	63.83	32.81	99.36						
116	bdl	2.34	0.08	bdl	0.08	0.08	bdl	bdl	0.04	0.07	63.70	32.48	98.93						
117	bdl	2.36	0.12	0.04	0.07	0.07	bdl	bdl	0.04	0.04	64.77	33.11	100.69						
118	bdl	2.37	0.21	0.05	0.08	0.10	bdl	bdl	0.06	0.08	63.91	32.62	99.53						
<b>cp.</b>								<b>2.07</b>	<b>0.23</b>	<b>0.06</b>	<b>0.08</b>	<b>0.08</b>	<b>0.06</b>	<b>0.06</b>	<b>0.06</b>	<b>0.07</b>	<b>64.39</b>	<b>32.47</b>	
<b>min</b>								<b>1.32</b>	<b>0.08</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	<b>0.04</b>	<b>0.06</b>	<b>0.05</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>63.40</b>	<b>32.04</b>	

max																	4.40	1.12	0.19	0.50	0.27	0.06	0.07	0.15	0.22	65.38	33.11
<b>КТ-1256 (яркие в катодолноминесценции трещины)</b>																											
1	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.04	bdl	bdl	64.57	32.35	99.03														
2	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.97	bdl	bdl	64.40	32.47	98.97														
3	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.54	bdl	bdl	65.46	32.79	100.88														
4	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.18	bdl	bdl	64.80	32.60	99.71														
5	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.41	bdl	bdl	64.74	32.54	99.77														
6	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.57	bdl	bdl	64.04	32.14	98.94														
7	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.67	bdl	bdl	64.84	32.48	100.15														
8	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.27	bdl	bdl	64.16	32.12	98.70														
9	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.13	bdl	bdl	64.11	32.24	98.60														
10	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.84	bdl	bdl	64.84	33.01	100.76														
11	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.68	bdl	bdl	64.48	32.52	99.82														
12	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.10	bdl	bdl	64.27	32.44	99.03														
13	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.85	bdl	bdl	63.89	32.70	99.58														
14	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.52	bdl	bdl	64.06	32.55	99.28														
15	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.78	bdl	bdl	64.85	32.69	99.48														
16	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.37	bdl	bdl	64.28	32.56	98.41														
17	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.66	bdl	bdl	64.26	32.57	98.65														
<b>ср.</b>								<b>2.27</b>								<b>64.47</b>	<b>32.52</b>										
<b>min</b>								<b>1.37</b>								<b>63.89</b>	<b>32.12</b>										
<b>max</b>								<b>2.85</b>								<b>65.46</b>	<b>33.01</b>										
<b>КТ-1256 (темная кайма)</b>																											
1	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.78	0.08	bdl	0.04	0.20	bdl	bdl	bdl	bdl	64.92	32.50	100.65								
2	0.08	0.12	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.42	0.13	bdl	bdl	0.14	bdl	bdl	bdl	bdl	21.86	13.92	38.80								
3	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.96	0.23	0.05	0.34	0.70	bdl	bdl	0.06	0.09	63.50	32.36	100.38								
4	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	3.31	bdl	bdl	bdl	0.22	bdl	bdl	bdl	bdl	65.20	32.88	101.81								
5	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.65	0.09	bdl	bdl	0.16	bdl	bdl	bdl	bdl	64.04	32.57	99.64								
6	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	3.15	0.16	bdl	bdl	0.65	bdl	bdl	0.08	0.09	63.41	32.54	100.14								
7	0.07	2.86	2.35	0.05	bdl	1.21	0.11	2.39	2.91	1.61	4.42	0.51	0.22	0.44	0.29	0.58	47.83	24.04	92.56								
8	0.02	2.05	2.96	0.05	bdl	0.97	0.09	2.59	2.38	1.21	3.51	0.31	0.22	0.36	0.20	0.42	49.42	25.23	92.63								

9	bdl	bdl	0.05	bdl	bdl	bdl	bdl	3.08	bdl	0.03	bdl	0.21	bdl	bdl	bdl	bdl	63.77	32.34	99.60
10	0.03	3.39	1.15	0.03	bdl	1.61	0.12	3.13	3.96	2.00	3.97	0.34	0.29	0.52	0.43	0.73	48.05	23.33	93.93
11	bdl	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	2.73	bdl	bdl	bdl	0.13	bdl	bdl	bdl	bdl	64.54	32.44	99.94
12	0.02	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	3.63	bdl	bdl	0.03	0.22	bdl	bdl	bdl	bdl	64.34	32.60	100.99
13	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.97	bdl	bdl	bdl	0.15	bdl	bdl	bdl	bdl	63.78	32.35	99.44
14	0.02	2.63	0.77	0.10	bdl	0.91	0.05	3.18	2.40	0.67	2.47	0.29	0.10	0.52	0.30	0.53	54.54	27.67	97.47
15	0.02	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	2.50	bdl	bdl	bdl	0.18	bdl	bdl	0.05	bdl	64.72	32.54	100.11
16	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.96	bdl	bdl	bdl	0.24	bdl	bdl	bdl	bdl	64.50	32.45	99.21
17	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.58	0.11	0.09	bdl	0.18	bdl	bdl	bdl	bdl	63.88	32.39	99.38
18	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.49	0.08	0.06	0.05	0.12	bdl	bdl	bdl	0.05	65.36	32.78	101.02
19	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	3.00	0.10	0.07	bdl	0.26	bdl	bdl	bdl	0.05	65.07	32.55	101.21
20	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	3.00	bdl	bdl	bdl	0.16	bdl	bdl	bdl	bdl	64.30	32.66	100.30
21	0.02	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	2.55	0.09	0.07	bdl	0.20	bdl	bdl	bdl	bdl	64.13	32.46	99.60
22	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.68	bdl	0.06	0.04	0.15	bdl	bdl	bdl	bdl	64.82	32.66	100.65
23	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.84	bdl	0.07	bdl	0.19	bdl	bdl	bdl	bdl	64.51	32.50	100.28
24	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.79	bdl	bdl	bdl	0.15	bdl	bdl	bdl	bdl	64.37	32.49	99.97
25	bdl	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	2.83	bdl	0.04	bdl	0.25	bdl	bdl	0.07	bdl	64.72	33.05	101.11
26	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.52	bdl	0.04	0.05	0.17	bdl	bdl	0.06	0.06	65.04	32.64	100.65
27	0.02	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.45	bdl	bdl	bdl	0.09	bdl	0.06	bdl	bdl	64.33	32.47	99.55
28	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.73	bdl	bdl	bdl	0.16	bdl	bdl	bdl	bdl	64.24	32.31	99.57
29	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.82	bdl	bdl	bdl	0.17	bdl	bdl	bdl	bdl	64.58	32.85	100.55
30	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.65	bdl	bdl	bdl	0.16	bdl	bdl	bdl	bdl	63.96	32.53	99.48
31	bdl	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	2.79	0.10	bdl	bdl	0.16	bdl	bdl	bdl	bdl	64.47	32.26	99.89
32	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.64	0.12	0.08	bdl	0.32	bdl	bdl	bdl	0.05	64.56	32.63	100.53
33	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	3.72	bdl	0.05	bdl	0.21	bdl	bdl	0.05	0.05	63.85	32.40	100.54
34	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.82	0.13	0.07	bdl	0.25	bdl	bdl	0.05	bdl	64.49	32.96	100.85
35	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.48	0.03	bdl	0.12	0.14	bdl	bdl	bdl	0.05	65.67	33.11	101.66
36	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.55	0.08	0.05	0.03	0.13	bdl	bdl	bdl	bdl	63.76	32.60	99.30
37	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.50	0.10	bdl	bdl	0.12	bdl	bdl	bdl	0.05	63.96	32.28	99.11
38	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.68	0.11	0.05	bdl	0.16	bdl	bdl	0.06	bdl	64.76	32.71	100.64
39	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.67	bdl	0.06	0.03	0.18	bdl	bdl	bdl	bdl	63.76	32.49	99.34

40	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.57	bdl	0.04	0.04	0.27	bdl	bdl	bdl	bdl	63.99	32.68	99.78
41	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.68	0.11	0.04	0.03	0.25	bdl	bdl	0.06	bdl	64.03	32.30	99.58
42	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.69	bdl	0.03	bdl	0.16	bdl	bdl	bdl	bdl	64.77	32.75	100.53
43	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2.60	bdl	bdl	bdl	0.26	bdl	bdl	bdl	bdl	64.32	32.62	99.86
44	bdl	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	2.85	0.13	0.05	bdl	0.22	bdl	bdl	bdl	0.07	64.46	32.70	100.60
45	bdl	0.05	bdl	bdl	bdl	0.03	bdl	2.93	0.17	0.03	0.04	0.18	bdl	bdl	bdl	bdl	64.22	32.71	100.47
46	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	3.66	0.37	bdl	0.19	0.77	bdl	bdl	0.07	0.22	61.82	32.46	99.72
47	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	3.07	0.31	0.04	0.57	1.22	bdl	bdl	0.09	0.20	61.52	31.92	99.06
48	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	3.44	0.24	bdl	0.16	0.63	bdl	bdl	0.05	0.14	63.00	32.57	100.38
<b>cp.</b>	<b>0.03</b>	<b>1.39</b>	<b>0.92</b>	<b>0.04</b>		<b>0.95</b>	<b>0.10</b>	<b>2.81</b>	<b>0.57</b>	<b>0.26</b>	<b>0.85</b>	<b>0.26</b>	<b>0.21</b>	<b>0.38</b>	<b>0.12</b>	<b>0.20</b>	<b>62.15</b>	<b>31.55</b>	
<b>min</b>	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	<b>0.03</b>	<b>0.02</b>		<b>0.03</b>	<b>0.05</b>	<b>1.96</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	<b>0.09</b>	<b>0.10</b>	<b>0.06</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>21.86</b>	<b>13.92</b>	
<b>max</b>	<b>0.08</b>	<b>3.39</b>	<b>2.96</b>	<b>0.10</b>		<b>1.61</b>	<b>0.12</b>	<b>3.72</b>	<b>3.96</b>	<b>2.00</b>	<b>4.42</b>	<b>1.22</b>	<b>0.29</b>	<b>0.52</b>	<b>0.43</b>	<b>0.73</b>	<b>65.67</b>	<b>33.11</b>	

## КТ-1252-1 (циркон, 1 группа, ростовая зональность)

1	bdl	2.35	bdl	0.05	bdl	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	65.60	32.19	100.39						
2	bdl	2.17	0.17	0.11	bdl	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	65.00	32.42	100.11						
3	bdl	2.24	0.56	0.31	0.15	0.31	bdl	bdl	0.10	0.16	64.00	32.35	100.29						
4	bdl	1.48	0.51	0.45	0.04	0.13	bdl	bdl	0.09	0.14	65.23	31.98	100.17						
5	bdl	1.34	0.48	0.24	0.07	0.13	bdl	bdl	0.09	0.15	64.77	32.01	99.40						
6	bdl	1.72	0.16	0.05	0.07	0.14	bdl	bdl	bdl	bdl	65.21	32.18	99.64						
7	bdl	1.74	0.12	0.05	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	0.05	65.11	32.21	99.40						
8	bdl	1.81	0.10	0.06	bdl	0.08	bdl	bdl	bdl	0.05	64.66	32.27	99.11						
9	bdl	2.20	bdl	0.05	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	65.37	32.25	100.05						
10	bdl	1.74	0.19	0.14	bdl	0.07	bdl	bdl	bdl	0.07	64.88	32.09	99.32						
11	bdl	1.49	0.10	0.07	bdl	0.05	bdl	bdl	bdl	bdl	65.49	32.37	99.75						
12	bdl	1.44	0.33	0.14	bdl	0.06	bdl	bdl	0.06	0.10	65.10	32.16	99.48						
13	bdl	1.74	0.24	0.13	bdl	0.08	bdl	bdl	0.07	0.06	65.05	32.26	99.69						
14	bdl	1.64	0.23	0.14	0.04	0.09	bdl	bdl	0.05	0.08	64.31	32.07	98.71						
15	bdl	1.66	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	64.83	32.67	99.25						
<b>cp.</b>								<b>1.79</b>	<b>0.27</b>	<b>0.14</b>	<b>0.07</b>	<b>0.11</b>			<b>0.08</b>	<b>0.09</b>	<b>64.97</b>	<b>32.23</b>	
<b>min</b>								<b>1.34</b>	<b>0.10</b>	<b>0.05</b>	<b>0.04</b>	<b>0.05</b>			<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>64.00</b>	<b>31.98</b>	
<b>max</b>								<b>2.35</b>	<b>0.56</b>	<b>0.45</b>	<b>0.15</b>	<b>0.31</b>			<b>0.10</b>	<b>0.16</b>	<b>65.60</b>	<b>32.67</b>	

КТ-1252-1 (циркон, 1 группа, краевая часть)																			
1	0.02	0.05	0.24	bdl	bdl	bdl	bdl	1.49	0.37	0.28	0.14	0.14	bdl	bdl	bdl	0.11	64.15	32.01	99.14
2	0.07	0.44	0.46	bdl	bdl	0.25	0.07	1.42	0.82	0.36	0.63	0.56	bdl	0.19	0.10	0.18	61.54	30.15	97.48
3	0.03	0.25	0.19	bdl	0.04	0.09	0.02	1.52	0.72	0.54	0.12	0.42	bdl	bdl	0.10	0.19	62.78	30.94	98.20
4	0.02	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.30	0.56	0.17	0.22	0.24	bdl	bdl	bdl	0.15	64.27	32.51	99.68
5	bdl	0.07	0.04	bdl	bdl	0.03	0.02	1.01	0.56	0.17	0.16	0.19	bdl	bdl	0.08	0.13	64.31	32.30	99.13
<b>ср.</b>	<b>0.03</b>	<b>0.17</b>	<b>0.23</b>		<b>0.04</b>	<b>0.12</b>	<b>0.04</b>	<b>1.35</b>	<b>0.61</b>	<b>0.30</b>	<b>0.25</b>	<b>0.31</b>		<b>0.19</b>	<b>0.09</b>	<b>0.15</b>	<b>63.41</b>	<b>31.58</b>	
<b>min</b>	<b>0.02</b>	<b>0.05</b>	<b>0.04</b>		<b>0.04</b>	<b>0.03</b>	<b>0.02</b>	<b>1.01</b>	<b>0.37</b>	<b>0.17</b>	<b>0.12</b>	<b>0.14</b>		<b>0.19</b>	<b>0.08</b>	<b>0.11</b>	<b>61.54</b>	<b>30.15</b>	
<b>max</b>	<b>0.07</b>	<b>0.44</b>	<b>0.46</b>		<b>0.04</b>	<b>0.25</b>	<b>0.07</b>	<b>1.52</b>	<b>0.82</b>	<b>0.54</b>	<b>0.63</b>	<b>0.56</b>		<b>0.19</b>	<b>0.10</b>	<b>0.19</b>	<b>64.31</b>	<b>32.51</b>	

КТ-1252-1 (циркон, 2 группа, зональные участки)																			
1	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.66	0.07	0.03	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	64.17	32.42	98.51
2	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.89	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	65.20	32.67	99.89
3	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.68	0.07	0.06	bdl	0.06	bdl	bdl	bdl	0.05	65.80	32.56	100.33
4	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.76	bdl	0.05	bdl	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	63.50	32.57	98.20
5	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.23	0.12	0.05	bdl	0.11	bdl	bdl	bdl	0.06	65.13	32.61	99.39
6	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.85	bdl	0.04	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	65.90	32.51	100.49
7	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.25	0.59	0.13	0.18	0.14	bdl	bdl	0.10	0.14	65.53	32.28	100.41
8	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.75	bdl	0.04	bdl	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	65.57	32.57	100.07
9	bdl	bdl	0.05	bdl	bdl	bdl	bdl	1.88	bdl	0.06	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	0.04	64.76	32.30	99.21
10	bdl	0.03	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	1.51	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	65.11	32.23	99.15
11	bdl	0.13	0.19	bdl	bdl	0.09	bdl	1.49	0.11	0.12	0.08	0.05	bdl	bdl	bdl	0.05	64.17	32.25	98.93
<b>ср.</b>		<b>0.06</b>	<b>0.10</b>			<b>0.09</b>		<b>1.63</b>	<b>0.19</b>	<b>0.06</b>	<b>0.13</b>	<b>0.07</b>			<b>0.10</b>	<b>0.07</b>	<b>64.98</b>	<b>32.45</b>	
<b>min</b>		<b>0.02</b>	<b>0.05</b>			<b>0.09</b>		<b>1.23</b>	<b>0.07</b>	<b>0.03</b>	<b>0.08</b>	<b>0.04</b>			<b>0.10</b>	<b>0.04</b>	<b>63.50</b>	<b>32.23</b>	
<b>max</b>		<b>0.13</b>	<b>0.19</b>			<b>0.09</b>		<b>1.89</b>	<b>0.59</b>	<b>0.13</b>	<b>0.18</b>	<b>0.14</b>			<b>0.10</b>	<b>0.14</b>	<b>65.90</b>	<b>32.67</b>	

КТ-1252-1 (циркон, 2 группа, участки перекристаллизации)																			
1	bdl	1.45	0.16	0.05	bdl	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	65.63	32.26	99.77						
2	bdl	2.03	bdl	bdl	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	65.10	32.82	100.19						
3	bdl	1.90	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	66.97	31.96	101.04						
4	bdl	1.88	bdl	0.03	bdl	0.05	bdl	bdl	bdl	bdl	65.93	32.15	100.20						
5	bdl	1.59	0.19	0.07	0.06	0.10	bdl	bdl	bdl	0.05	66.08	32.17	100.43						
6	bdl	1.88	0.11	0.04	bdl	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	65.19	32.54	99.92						

ср.																1.79	0.15	0.05	0.06	0.06				0.05	65.81	32.31
min																1.45	0.11	0.03	0.06	0.04				0.05	65.10	31.96
max																2.03	0.19	0.07	0.06	0.10				0.05	66.97	32.82
КТ-1252-1 (циркон, 3 группа)																										
1	0.04	0.20	0.87	bdl	0.51	2.33	0.79	1.35	0.12	0.08	0.11	0.36	bdl	bdl	bdl	bdl	57.06	31.68	95.63							
2	0.10	0.12	1.23	bdl	bdl	0.27	bdl	1.51	0.23	0.11	0.05	0.11	bdl	bdl	bdl	0.06	53.37	26.46	83.72							
3	0.03	3.20	0.54	bdl	0.03	1.66	0.25	1.24	1.51	1.04	0.78	0.34	0.16	0.63	0.17	0.26	53.77	26.59	93.03							
4	0.03	0.34	0.25	bdl	bdl	0.09	0.03	1.15	0.73	0.33	0.52	0.36	bdl	0.06	0.11	0.19	59.35	30.56	94.14							
5	0.08	1.34	1.27	0.03	0.03	0.76	0.12	1.07	0.66	0.47	0.50	0.36	0.06	0.37	0.09	0.15	58.20	29.05	95.06							
6	0.08	2.26	0.81	0.09	bdl	1.17	0.24	0.98	1.50	1.02	0.90	0.58	0.08	0.58	0.18	0.33	56.69	27.17	95.20							
7	0.14	1.73	2.21	bdl	bdl	1.17	0.17	1.14	1.23	0.76	1.04	0.57	0.09	0.44	0.10	0.25	54.95	27.03	93.48							
8	0.19	0.12	0.40	bdl	0.04	0.87	0.16	1.53	bdl	0.05	bdl	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	50.47	21.46	75.46							
9	0.04	0.53	0.17	bdl	bdl	0.49	0.04	1.55	0.45	1.02	0.28	0.20	bdl	0.21	0.05	0.06	62.20	31.56	99.11							
10	0.03	0.10	bdl	bdl	bdl	0.11	bdl	1.88	0.13	0.20	0.06	0.17	bdl	0.05	bdl	0.05	63.80	32.95	99.65							
11	bdl	0.35	0.12	bdl	bdl	0.23	0.03	1.51	0.49	0.24	0.15	0.39	bdl	0.15	0.08	0.10	61.45	29.75	95.15							
12	bdl	1.02	2.01	bdl	0.02	0.69	0.09	1.41	0.39	0.65	0.30	0.34	bdl	0.30	bdl	0.10	59.09	29.35	96.09							
13	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	0.03	bdl	1.65	0.08	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	65.88	32.52	100.36							
14	0.11	1.63	0.67	0.03	0.02	0.77	0.17	0.92	0.82	0.71	0.32	0.60	0.09	0.46	0.12	0.20	61.02	28.95	97.98							
15	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.01	bdl	1.68	0.04	0.06	bdl	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	65.60	32.51	100.04							
16	0.04	0.38	0.12	bdl	bdl	0.18	bdl	1.28	0.67	0.29	0.29	0.34	0.06	0.21	0.09	0.13	65.27	30.96	100.44							
17	0.15	2.72	1.06	0.11	bdl	1.56	0.27	0.99	1.63	0.88	0.72	0.89	0.16	0.96	0.20	0.38	54.48	25.91	93.75							
18	bdl	0.23	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.98	bdl	58.59	28.90	89.89														
19	0.07	1.69	0.31	0.08	0.03	0.94	0.20	1.26	0.75	1.22	0.47	0.46	0.08	0.54	0.10	0.17	53.11	26.93	88.89							
ср.	0.08	1.00	0.80	0.07	0.10	0.74	0.20	1.37	0.67	0.51	0.43	0.36	0.10	0.38	0.12	0.17	58.65	28.96								
min	0.03	0.03	0.12	0.03	0.02	0.01	0.03	0.92	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	50.47	21.46								
max	0.19	3.20	2.21	0.11	0.51	2.33	0.79	1.98	1.63	1.22	1.04	0.89	0.16	0.96	0.20	0.38	65.88	32.95								

**Приложение 4. Результаты U-Pb изотопных исследований циркона гранитоидов Матутского массива методом LA-ICP-MS (образец КТ-1324)**

№ точки	U, г/т	Th/U	Изотопные отношения									Возраст, млн лет							% conc	
			207Pb/ 206Pb	1s%	207Pb/ 235U	1s%	206Pb/ 238U	1s%	Rho	208Pb/ 232Th	1s%	207Pb/ 206Pb	2s	206Pb/ 238U	2s	207Pb/ 235U	2s	208Pb/ 232Th		2s
1	887	0.80	0.05825	2.1	0.6754	2.0	0.08421	1.8	0.90	0.02851	1.86	539	93	521	18	524	17	568	21	97
2	893	1.28	0.05805	2.0	0.67296	2.0	0.08419	1.8	0.94	0.02964	1.82	531	89	521	18	523	16	590	21	98
3	823	0.83	0.05816	2.1	0.67603	2.0	0.08442	1.8	0.93	0.02841	1.83	535	90	522	18	524	16	566	21	98
4	627	0.60	0.05807	2.0	0.67425	2.0	0.08434	1.8	0.93	0.02996	1.87	532	89	522	18	523	16	597	22	98
4к	3655	0.08	0.05704	2.2	0.60946	1.7	0.07761	1.4	0.79	0.02502	2.60	493	97	482	13	483	13	499	26	98
5	832	0.63	0.05816	2.0	0.67483	1.9	0.08427	1.8	0.95	0.02665	1.84	535	88	522	18	524	16	532	19	97
6*	449	0.54	0.05782	2.2	0.61654	2.1	0.07745	1.9	0.88	0.02894	1.94	523	95	481	17	488	16	577	22	92
7	942	0.73	0.05805	2.0	0.67409	2.0	0.08434	1.8	0.94	0.02169	1.84	531	89	522	18	523	16	434	16	98
7к	3955	0.07	0.05675	2.3	0.60661	1.9	0.07764	1.4	0.74	0.02529	3.01	481	102	482	13	481	14	505	30	100
8	1040	0.69	0.05794	2.0	0.66628	2.0	0.08352	1.8	0.95	0.02491	1.85	527	88	517	18	518	16	497	18	98
9	934	0.59	0.05782	2.0	0.67256	1.9	0.08448	1.8	0.95	0.02849	1.86	523	88	523	18	522	16	568	21	100
9к	3238	0.11	0.05649	2.2	0.60394	1.6	0.07766	1.4	0.82	0.02403	2.25	471	95	482	13	480	13	480	21	102
10	602	0.72	0.05812	2.2	0.67524	2.1	0.08439	1.9	0.87	0.02738	1.97	534	96	522	19	524	17	546	21	98
11*	443	0.62	0.05978	2.2	0.64739	2.2	0.07866	1.9	0.87	0.02745	2.00	595	96	488	18	507	17	547	22	82
12	448	0.71	0.05799	2.1	0.6727	2.1	0.08426	1.9	0.89	0.02807	1.96	529	93	522	19	522	17	560	21	99
12к	2852	0.12	0.05656	2.3	0.60472	1.8	0.07766	1.4	0.75	0.01717	2.91	474	102	482	13	480	14	344	20	102
13	361	0.89	0.05788	2.2	0.67264	2.1	0.08441	1.9	0.88	0.0234	1.97	525	95	522	19	522	17	467	18	100
14	697	0.79	0.05801	2.5	0.67707	2.4	0.08478	1.9	0.78	0.02359	2.16	530	109	525	19	525	20	471	20	99
14к	4143	0.10	0.05659	2.2	0.60157	1.7	0.07722	1.4	0.81	0.02376	2.40	475	96	480	13	478	13	475	23	101
15*	1129	0.61	0.05913	2.1	0.63765	2.0	0.07832	1.9	0.92	0.02519	1.95	572	89	486	17	501	16	503	20	85
16	591	0.99	0.0576	2.1	0.665	2.0	0.08386	1.9	0.92	0.02793	1.93	514	91	519	19	518	16	557	21	101
17	824	1.08	0.05806	2.1	0.67861	2.0	0.0849	1.8	0.92	0.02257	1.95	532	90	525	19	526	16	451	17	99
18	475	0.75	0.05808	2.2	0.67907	2.1	0.08492	1.9	0.89	0.02994	2.00	532	94	525	19	526	17	596	24	99
19	593	0.56	0.05798	2.1	0.67577	2.0	0.08466	1.9	0.92	0.03079	2.01	529	92	524	19	524	17	613	24	99

20	1315	1.22	0.05824	2.1	0.67862	2.0	0.08464	1.9	0.93	0.02789	1.97	538	90	524	19	526	16	556	22	97
20к	3664	0.06	0.05674	2.2	0.60576	1.7	0.07755	1.4	0.80	0.026	2.54	481	96	482	13	481	13	519	26	100
21	765	0.79	0.05787	2.1	0.67455	2.1	0.08467	1.9	0.91	0.02349	2.04	525	92	524	19	524	17	469	19	100
22	950	0.62	0.05799	2.1	0.67089	2.0	0.08404	1.9	0.91	0.02629	2.02	529	91	520	19	521	17	525	21	98
23	674	0.71	0.05878	2.2	0.67997	2.1	0.08402	1.9	0.90	0.02935	2.04	559	93	520	19	527	17	585	24	93
24	459	0.87	0.05792	2.3	0.67359	2.2	0.08447	1.9	0.86	0.02197	2.14	526	98	523	19	523	18	439	18	99
24к	4602	0.07	0.05713	2.2	0.60884	1.6	0.07741	1.4	0.82	0.02668	2.36	496	95	481	13	483	13	532	25	97
25	785	0.49	0.059	2.1	0.69622	2.0	0.08571	1.9	0.92	0.02927	2.08	567	90	530	19	537	17	583	24	93
26	701	0.52	0.0592	2.1	0.70355	2.0	0.08633	1.9	0.91	0.02718	2.10	574	90	534	19	541	17	542	22	93
27*	532	1.34	0.05898	2.2	0.63923	2.1	0.07872	1.9	0.89	0.02869	2.09	566	92	489	18	502	17	572	24	86
28*	1743	0.43	0.06142	2.1	0.64239	2.0	0.07597	1.9	0.93	0.0155	2.13	654	88	472	17	504	16	311	13	72
29	412	0.85	0.05803	2.3	0.6699	2.2	0.08386	1.9	0.85	0.02868	2.16	530	99	519	19	521	18	572	24	98
30	727	0.66	0.05771	2.2	0.67081	2.1	0.08443	1.9	0.88	0.02794	2.18	519	96	523	19	521	17	557	24	101
30к	4077	0.05	0.05693	2.1	0.60801	1.6	0.07758	1.4	0.83	0.02397	2.42	488	94	482	13	482	13	479	23	99
31к	3294	0.12	0.0572	2.2	0.60759	1.7	0.07716	1.4	0.81	0.01499	2.40	499	96	479	13	482	13	301	14	96
32к	2998	0.09	0.0569	2.2	0.60565	1.7	0.07732	1.4	0.80	0.02469	2.43	487	96	480	13	481	13	493	24	99
33к*	2749	0.14	0.05899	2.3	0.60897	1.8	0.07499	1.4	0.76	0.01201	2.83	567	98	466	12	483	14	241	13	82
34	3287	0.08	0.05804	2.2	0.60983	1.7	0.07633	1.4	0.81	0.02273	2.46	531	95	474	12	484	13	454	22	89
35	2625	0.14	0.05696	2.3	0.60995	1.8	0.07779	1.4	0.76	0.01602	2.81	489	99	483	13	484	14	321	18	99
36	3935	0.07	0.05694	2.3	0.6085	1.9	0.07763	1.4	0.74	0.02487	3.06	489	102	482	13	483	14	497	30	99
37к*	2681	0.14	0.06304	2.3	0.67821	1.9	0.07815	1.4	0.73	0.02838	2.89	710	99	485	13	526	15	566	32	68
38	2913	0.07	0.05696	2.3	0.61287	1.9	0.07815	1.4	0.74	0.02477	3.03	490	101	485	13	485	14	495	30	99

Примечание. Погрешности возрастов приводятся на уровне  $2\sigma$ .  $\rho$  – коэффициент корреляции ошибок отношений  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  и  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , D – дискордантность. к – краевая часть циркона, \* - номера точек, результаты которых не использованы при расчете средневзвешенного возраста.

**Приложение 5. Химический состав (мас.%) в точках циркона образцов КТ-1070, ER-02-15, КТ-1201 по данным рентгеноспектрального микроанализа (микроанализатор САМЕСА SX100).**

анализ	F	Cl	S	Ca	Fe	Mn	K	Al	Mg	Hf	Y	P	Th	U	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Zr	Si	O	Total	O exc	O equ	
<b>КТ-1070 (зональные участки)</b>																										
1	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.74	0.25	0.04	0.34	0.08	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.20	15.17	35.61	100.44	0.82	34.79	
2	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.97	0.08	0.03	0.09	0.08	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.62	15.30	35.69	100.88	0.61	35.09	
3	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.38	bdl	0.00	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.64	15.30	35.63	100.97	0.62	35.01	
4	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.28	0.16	0.02	0.07	0.08	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.08	48.34	15.23	35.01	100.28	0.36	34.65
5	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.14	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.75	15.32	35.34	100.57	0.55	34.79
6	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.78	0.20	0.01	0.08	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.85	15.19	35.34	100.53	0.67	34.67
7	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.82	0.32	0.02	bdl	bdl	bdl	0.01	bdl	bdl	bdl	0.11	48.39	15.25	35.26	100.19	0.64	34.63
8	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.11	bdl	0.01	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.04	15.28	35.67	101.11	0.85	34.82
9	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.96	0.25	0.05	0.14	0.13	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.08	48.42	15.15	35.47	100.64	0.86	34.60
10	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.18	0.10	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.85	15.24	35.80	101.17	1.06	34.74
11	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.32	bdl	0.02	bdl	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.53	15.23	35.74	100.93	0.76	34.98
12	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.41	bdl	bdl	bdl	0.15	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.47	15.32	36.04	101.39	1.31	34.73
13	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.66	0.42	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.08	48.40	15.30	35.49	100.38	0.80	34.70
14	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.68	0.29	0.00	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.63	15.38	35.54	100.52	0.75	34.78
15	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.46	bdl	bdl	bdl	0.09	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.71	15.33	35.69	101.28	0.86	34.83
16	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.36	bdl	bdl	bdl	0.14	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.61	15.29	35.67	101.06	0.94	34.73
17	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.81	0.13	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.92	15.38	35.89	101.17	0.67	35.22
18	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.83	0.22	0.03	0.17	0.11	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.37	15.27	35.68	100.68	1.02	34.65
19	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.96	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.56	15.41	35.06	100.00	0.27	34.79
20	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.32	0.12	0.02	bdl	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.08	48.47	15.32	34.96	100.37	-0.15	35.11
21	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.96	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.97	15.36	35.07	100.35	0.22	34.85
22	bdl	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.48	bdl	bdl	bdl	0.08	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.29	15.34	35.20	100.43	0.10	35.10
23	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.00	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.88	15.36	34.97	100.24	0.10	34.86
24	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.07	0.23	0.03	0.09	0.08	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.07	47.80	15.19	35.21	99.81	0.52	34.69
25	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.02	bdl	0.01	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.84	15.41	35.08	100.36	0.19	34.89
26	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.24	bdl	0.01	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.74	15.33	35.33	100.71	0.52	34.81

27	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.81	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.94	15.24	35.38	100.40	0.67	34.71
28	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.96	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.10	15.27	35.24	100.56	0.46	34.79
29	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.73	0.06	0.00	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.08	15.32	35.15	100.34	0.33	34.82
30	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.24	bdl	0.00	0.07	0.11	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.93	15.27	35.49	101.11	0.69	34.81
31	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.24	0.06	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.80	15.11	35.04	100.27	0.43	34.60
32	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.03	bdl	0.01	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.95	15.20	34.47	99.67	-0.22	34.69
33	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.10	0.20	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.66	15.17	34.68	99.86	0.02	34.66
34	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.14	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.11	15.27	34.99	100.53	0.14	34.85
35	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.11	bdl	0.01	bdl	0.15	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.73	15.33	35.60	100.92	0.81	34.79
36	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.90	0.11	0.01	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.00	bdl	48.92	15.29	34.97	100.19	0.18	34.79
37	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.69	bdl	0.01	bdl	bdl	0.17	bdl	bdl	bdl	bdl	49.08	15.19	34.59	99.76	-0.11	34.70
38	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.12	0.06	0.02	0.08	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.81	15.22	35.22	100.60	0.50	34.73
39	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.73	0.07	0.01	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.91	15.26	34.78	99.85	-0.23	35.01
40	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.90	0.19	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.91	15.21	35.52	100.75	0.79	34.73
41	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.11	bdl	0.01	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.87	15.34	35.49	100.84	0.64	34.85
42	bdl	bdl	bdl	bdl	0.09	bdl	bdl	bdl	bdl	1.34	bdl	bdl	bdl	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.59	15.38	35.22	100.70	0.38	34.85
43	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.89	0.11	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.00	15.31	35.23	100.60	0.03	35.20
44	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.86	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.01	15.30	35.55	100.74	0.74	34.81
45	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.91	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.21	15.26	35.07	100.45	0.26	34.81
46	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.36	bdl	0.01	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.59	15.49	35.09	100.53	0.16	34.94
47	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.28	0.12	0.06	bdl	0.09	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.48	15.35	35.66	101.05	0.81	34.85
48	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.08	bdl	0.01	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.04	15.34	34.95	100.44	-0.20	35.15
49	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.26	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.92	15.42	35.10	100.72	0.12	34.97
50	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.72	0.19	0.01	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	47.81	15.06	34.89	98.69	0.77	34.13
51	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.73	0.16	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.25	15.13	34.55	98.83	0.18	34.36
52	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.74	bdl	0.01	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.60	15.03	34.66	99.06	0.06	34.60
53	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.04	0.22	0.03	0.08	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	0.09	48.39	15.30	34.50	99.74	-0.51	35.02
54	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.21	bdl	0.01	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.81	15.39	34.34	99.78	-0.89	35.23
55	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.79	0.42	0.04	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.08	48.61	15.36	35.32	100.71	0.12	35.20
56	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.75	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.37	15.37	34.59	100.13	-0.68	35.27
57	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.78	0.16	0.03	0.13	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.92	15.26	34.95	100.22	0.18	34.78

58	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.81	0.21	0.03	0.20	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.86	15.19	35.18	100.52	0.14	35.04
59	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.88	0.12	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.03	15.37	34.90	100.34	-0.33	35.23
<b>cp.</b>			<b>0.02</b>		<b>0.09</b>					<b>1.02</b>	<b>0.18</b>	<b>0.02</b>	<b>0.12</b>	<b>0.09</b>	<b>0.17</b>	<b>0.01</b>		<b>0.00</b>	<b>0.08</b>	<b>48.72</b>	<b>15.28</b>	<b>35.22</b>		<b>0.51</b>	<b>34.84</b>
<b>min</b>			<b>0.02</b>		<b>0.09</b>					<b>0.66</b>	<b>0.06</b>	<b>0.00</b>	<b>0.07</b>	<b>0.06</b>	<b>0.17</b>	<b>0.01</b>		<b>0.00</b>	<b>0.07</b>	<b>47.80</b>	<b>15.03</b>	<b>34.34</b>		<b>0.02</b>	<b>34.13</b>
<b>max</b>			<b>0.03</b>		<b>0.09</b>					<b>1.48</b>	<b>0.42</b>	<b>0.06</b>	<b>0.34</b>	<b>0.15</b>	<b>0.17</b>	<b>0.01</b>		<b>0.00</b>	<b>0.11</b>	<b>49.37</b>	<b>15.49</b>	<b>36.04</b>		<b>1.31</b>	<b>35.27</b>

## КТ-1070 (темная кайма)

60	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.02	1.43	bdl	0.01	bdl	0.15	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.33	15.21	35.67	100.85	0.78	34.89
61	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.07	0.05	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.09	15.15	35.61	100.99	0.89	34.71
62	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.02	1.32	0.11	0.00	0.08	0.08	bdl	bdl	bdl	bdl	0.07	48.77	15.26	35.04	100.75	0.24	34.81
63	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.02	1.37	bdl	0.01	bdl	0.09	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.82	15.35	35.35	101.03	0.14	35.21
64	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.34	bdl	0.00	0.07	0.10	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.67	15.25	35.85	101.29	1.14	34.72
65	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.46	bdl	0.01	bdl	0.17	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.23	15.30	35.76	100.93	1.12	34.64
66	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.09	0.10	0.03	bdl	bdl	bdl	0.00	bdl	bdl	bdl	47.96	15.07	34.49	98.74	0.24	34.25
67	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.02	1.18	bdl	0.01	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.19	15.04	34.61	99.08	0.06	34.55
68	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.37	bdl	0.01	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.85	15.26	34.77	100.33	-0.02	34.79
<b>cp.</b>			<b>0.02</b>						<b>0.02</b>	<b>1.29</b>	<b>0.09</b>	<b>0.01</b>	<b>0.07</b>	<b>0.12</b>		<b>0.00</b>		<b>0.07</b>	<b>48.55</b>	<b>15.21</b>	<b>35.24</b>		<b>0.58</b>	<b>34.73</b>	
<b>min</b>			<b>0.02</b>						<b>0.02</b>	<b>1.07</b>	<b>0.05</b>	<b>0.00</b>	<b>0.06</b>	<b>0.08</b>		<b>0.00</b>		<b>0.07</b>	<b>47.96</b>	<b>15.04</b>	<b>34.49</b>		<b>0.06</b>	<b>34.25</b>	
<b>max</b>			<b>0.02</b>						<b>0.02</b>	<b>1.46</b>	<b>0.11</b>	<b>0.03</b>	<b>0.08</b>	<b>0.17</b>		<b>0.00</b>		<b>0.07</b>	<b>49.09</b>	<b>15.35</b>	<b>35.85</b>		<b>1.14</b>	<b>35.21</b>	

## ER-02-15 (центральная метамиктная часть)

1	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.02	0.79	0.10	0.03	bdl	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.53	15.31	34.91	100.77	-0.43	35.34
2	bdl	bdl	bdl	0.09	0.87	bdl	0.08	0.30	0.39	0.43	bdl	0.02	0.19	0.09	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	19.22	33.63	51.19	106.64	4.93	46.25
3	bdl	bdl	0.02	0.04	bdl	bdl	0.04	0.09	0.05	1.34	bdl	0.01	bdl	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.14	15.32	34.94	100.07	-0.23	35.16
4	bdl	bdl	bdl	0.06	0.16	bdl	bdl	bdl	0.02	1.38	0.10	0.03	0.20	0.11	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	47.75	15.07	34.86	99.74	0.49	34.36
5	2.98	0.08	0.07	4.11	11.83	bdl	0.68	0.76	0.38	0.36	0.49	0.20	3.63	0.41	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	12.65	8.96	40.49	88.44	15.84	24.65
6	bdl	0.06	bdl	1.08	4.28	0.19	0.08	0.28	0.10	1.17	1.10	0.04	0.88	1.47	bdl	0.10	bdl	0.18	0.19	37.36	12.40	36.84	98.03	6.35	30.49
7	bdl	0.04	bdl	0.85	3.62	0.10	0.37	0.89	0.38	0.99	0.61	0.05	2.22	0.49	bdl	bdl	bdl	bdl	0.14	32.94	16.21	38.66	99.07	4.18	34.49
8	bdl	0.04	bdl	0.77	2.17	bdl	0.04	0.18	0.09	1.22	0.59	0.04	1.40	0.59	bdl	bdl	bdl	0.18	0.14	42.70	13.85	34.87	99.05	2.02	32.85
9	bdl	0.02	0.05	0.27	0.28	bdl	0.02	0.12	0.14	1.17	bdl	0.04	0.08	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	45.46	14.54	31.49	93.82	-2.47	33.96
10	0.15	0.02	0.02	0.03	3.18	bdl	3.58	4.58	1.46	0.63	bdl	0.01	bdl	1.30	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	25.46	17.72	44.34	104.95	-2.42	46.76
11	bdl	bdl	0.02	0.14	0.26	bdl	0.03	0.12	0.11	0.73	0.27	0.04	0.36	0.11	bdl	bdl	bdl	bdl	0.07	46.48	14.91	34.43	98.18	0.14	34.30
<b>cp.</b>	<b>1.56</b>	<b>0.04</b>	<b>0.03</b>	<b>0.74</b>	<b>2.96</b>	<b>0.15</b>	<b>0.55</b>	<b>0.81</b>	<b>0.29</b>	<b>0.93</b>	<b>0.47</b>	<b>0.05</b>	<b>1.12</b>	<b>0.47</b>				<b>0.18</b>	<b>0.13</b>	<b>37.06</b>	<b>16.17</b>	<b>37.91</b>		<b>4.85</b>	<b>35.33</b>

<b>min</b>	<b>0.15</b>	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	<b>0.03</b>	<b>0.16</b>	<b>0.10</b>	<b>0.02</b>	<b>0.09</b>	<b>0.02</b>	<b>0.36</b>	<b>0.10</b>	<b>0.01</b>	<b>0.08</b>	<b>0.06</b>						<b>0.18</b>	<b>0.07</b>	<b>12.65</b>	<b>8.96</b>	<b>31.49</b>		<b>0.14</b>	<b>24.65</b>
<b>max</b>	<b>2.98</b>	<b>0.08</b>	<b>0.07</b>	<b>4.11</b>	<b>11.83</b>	<b>0.19</b>	<b>3.58</b>	<b>4.58</b>	<b>1.46</b>	<b>1.38</b>	<b>1.10</b>	<b>0.20</b>	<b>3.63</b>	<b>1.47</b>						<b>0.18</b>	<b>0.19</b>	<b>49.53</b>	<b>33.63</b>	<b>51.19</b>		<b>15.84</b>	<b>46.76</b>

## ER-02-15 (ростовая зональность)

28	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.22	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.97	15.21	34.63	100.08	-0.15	34.78	
29	bdl	bdl	0.02	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	0.02	0.76	0.24	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	47.76	15.08	34.12	98.05	-0.42	34.53	
30	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.85	0.19	0.04	0.10	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.67	15.19	35.13	100.20	0.19	34.94	
31	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.97	0.07	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.13	15.38	34.86	100.43	-0.13	34.98	
32	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.34	bdl	0.01	0.16	0.11	bdl	0.01	bdl	bdl	0.07	48.61	15.40	34.80	100.51	-0.09	34.90	
33	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.02	1.57	0.14	0.04	0.09	1.16	bdl	bdl	bdl	bdl	0.10	47.45	15.14	34.48	100.26	0.02	34.46	
34	bdl	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.71	bdl	0.05	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.52	15.35	34.73	100.38	-0.69	35.42	
35	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.75	0.24	0.05	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.99	15.27	34.70	100.01	-0.14	34.85	
36	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.47	bdl	0.01	bdl	0.17	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.65	15.38	34.89	100.57	0.00	34.89	
37	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.03	bdl	0.00	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.60	15.27	34.35	100.24	-0.64	34.98	
38	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.81	0.07	0.02	0.10	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.22	15.39	34.54	100.16	-0.80	35.34	
39	bdl	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	0.02	0.95	0.05	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.09	15.27	34.73	100.15	-0.12	34.84	
40	bdl	bdl	0.04	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	0.03	1.10	0.06	0.05	0.09	bdl	bdl	0.01	bdl	bdl	bdl	48.85	13.82	38.24	102.34	4.51	33.73	
41	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.34	bdl	0.00	0.06	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.74	15.16	35.37	100.76	0.74	34.63	
42	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.31	bdl	0.03	0.17	0.11	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.68	15.32	34.49	100.13	-0.35	34.85	
43	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.31	0.09	0.01	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.72	15.14	34.29	99.58	-0.60	34.90	
44	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.47	bdl	0.00	bdl	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.38	15.02	35.40	100.36	0.76	34.64	
45	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.32	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.75	15.19	33.92	99.20	-0.74	34.66	
<b>ср.</b>			<b>0.02</b>	<b>0.04</b>					<b>0.02</b>	<b>1.13</b>	<b>0.13</b>	<b>0.02</b>	<b>0.11</b>	<b>0.28</b>		<b>0.01</b>			<b>0.08</b>	<b>48.77</b>	<b>15.16</b>	<b>34.87</b>			<b>1.04</b>	<b>34.80</b>
<b>min</b>			<b>0.02</b>	<b>0.02</b>					<b>0.02</b>	<b>0.71</b>	<b>0.05</b>	<b>0.00</b>	<b>0.06</b>	<b>0.07</b>		<b>0.01</b>			<b>0.07</b>	<b>47.45</b>	<b>13.82</b>	<b>33.92</b>			<b>0.00</b>	<b>33.73</b>
<b>max</b>			<b>0.04</b>	<b>0.06</b>					<b>0.03</b>	<b>1.57</b>	<b>0.24</b>	<b>0.05</b>	<b>0.17</b>	<b>1.16</b>		<b>0.01</b>			<b>0.10</b>	<b>49.60</b>	<b>15.40</b>	<b>38.24</b>			<b>4.51</b>	<b>35.42</b>

## ER-02-15 (темная кайма)

12	bdl	bdl	bdl	0.08	0.13	bdl	bdl	bdl	0.02	1.50	bdl	0.01	bdl	0.28	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.21	15.01	35.96	101.21	1.54	34.42
13	bdl	0.02	0.05	0.19	bdl	bdl	bdl	0.04	0.03	1.26	0.14	0.05	0.18	0.14	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	46.75	13.97	39.03	101.85	5.54	33.49
14	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.33	bdl	0.04	bdl	0.23	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.54	15.46	34.87	100.48	-0.09	34.96
15	bdl	bdl	bdl	0.07	0.28	bdl	bdl	bdl	bdl	1.44	0.07	0.03	bdl	0.20	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.44	15.24	35.35	101.12	0.55	34.80
16	bdl	bdl	0.02	0.21	bdl	bdl	0.05	bdl	0.03	1.48	0.22	0.06	0.16	1.01	bdl	bdl	bdl	bdl	0.15	44.26	14.21	34.18	96.04	1.36	32.83
17	bdl	bdl	0.02	0.09	bdl	bdl	bdl	0.02	0.03	1.50	bdl	0.04	bdl	0.20	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	47.90	15.09	36.62	101.50	1.88	34.73

18	bdl	bdl	bdl	0.28	0.26	bdl	0.04	0.05	0.02	1.62	0.26	0.04	0.12	1.40	bdl	bdl	bdl	bdl	0.10	43.14	14.09	36.80	98.21	4.63	32.17
19	0.09	0.03	bdl	0.75	1.13	0.08	0.05	0.20	0.09	1.48	0.79	0.08	0.34	0.71	bdl	0.15	bdl	0.25	0.14	40.69	13.28	37.65	98.09	6.41	31.24
20	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.33	bdl	0.01	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.67	15.12	34.78	99.96	0.23	34.55
21	bdl	bdl	0.02	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.60	bdl	0.00	bdl	0.25	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	47.90	15.07	35.66	100.54	1.04	34.63
22	bdl	bdl	0.02	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	0.03	1.55	bdl	bdl	bdl	0.19	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.73	15.36	34.92	100.82	-0.31	35.23
23	bdl	0.02	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	0.06	0.05	1.14	bdl	0.01	bdl	0.18	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.14	15.12	35.54	100.36	1.07	34.47
24	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.56	bdl	0.01	bdl	0.21	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.67	15.19	34.41	100.06	-0.29	34.70
25	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	1.56	bdl	0.01	bdl	0.17	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.46	15.18	34.61	100.04	-0.36	34.97
26	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.02	1.58	bdl	bdl	bdl	0.29	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.14	15.23	34.79	100.03	0.22	34.57
27	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.02	1.49	bdl	0.03	bdl	0.27	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.66	15.11	34.96	100.55	0.32	34.64
<b>ср.</b>		<b>0.02</b>	<b>0.03</b>	<b>0.17</b>	<b>0.45</b>		<b>0.04</b>	<b>0.08</b>	<b>0.03</b>	<b>1.46</b>	<b>0.29</b>	<b>0.03</b>	<b>0.17</b>	<b>0.38</b>					<b>0.13</b>	<b>47.21</b>	<b>14.86</b>	<b>35.63</b>		<b>2.07</b>	<b>34.15</b>
<b>min</b>		<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	<b>0.13</b>		<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	<b>1.14</b>	<b>0.07</b>	<b>0.00</b>	<b>0.06</b>	<b>0.14</b>					<b>0.10</b>	<b>40.69</b>	<b>13.28</b>	<b>34.18</b>		<b>0.22</b>	<b>31.24</b>
<b>max</b>		<b>0.03</b>	<b>0.05</b>	<b>0.75</b>	<b>1.13</b>		<b>0.05</b>	<b>0.20</b>	<b>0.09</b>	<b>1.62</b>	<b>0.79</b>	<b>0.08</b>	<b>0.34</b>	<b>1.40</b>					<b>0.15</b>	<b>48.73</b>	<b>15.46</b>	<b>39.03</b>		<b>6.41</b>	<b>35.23</b>

## ER-02-15 (яркие в катодолуминесценции трещины)

46	bdl	1.03	bdl	0.00	bdl	49.60	15.27	34.35	100.24	-0.64	34.98														
47	bdl	1.52	bdl	0.01	bdl	49.52	15.23	35.35	101.63	0.34	35.01														
48	bdl	0.79	0.11	0.03	bdl	49.09	15.38	34.22	99.61	-0.74	34.95														
49	bdl	1.51	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.03	15.21	34.26	100.01	-0.54	34.80								
50	bdl	1.21	0.05	0.03	bdl	48.84	15.11	34.35	99.59	-0.26	34.62														
<b>ср.</b>										<b>1.21</b>	<b>0.08</b>	<b>0.02</b>								<b>49.21</b>	<b>15.24</b>	<b>34.50</b>			<b>34.87</b>
<b>min</b>										<b>0.79</b>	<b>0.05</b>	<b>0.00</b>								<b>48.84</b>	<b>15.11</b>	<b>34.22</b>			<b>34.62</b>
<b>max</b>										<b>1.52</b>	<b>0.11</b>	<b>0.03</b>								<b>49.60</b>	<b>15.38</b>	<b>35.35</b>			<b>35.01</b>

## КТ-1201 (ростовая зональность)

1	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.06	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.89	15.30	36.09	101.35	1.31	34.78
2	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.90	bdl	0.03	bdl	48.73	15.23	35.49	100.37	0.86	34.64						
3	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.90	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.79	15.33	34.59	99.62	-0.18	34.77
4	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.87	0.07	0.06	bdl	49.07	15.10	34.93	100.10	0.26	34.67						
5	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.06	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.24	15.21	35.18	100.70	0.37	34.81
6	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.27	0.11	0.05	bdl	48.63	15.11	34.92	100.20	0.31	34.61						
7	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.05	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.13	15.16	34.67	100.05	-0.35	35.03
8	bdl	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.10	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.27	15.15	34.89	100.45	-0.24	35.13

9	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.01	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.73	15.27	34.86	99.92	0.14	34.72
10	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.30	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.79	15.24	34.97	100.31	0.26	34.72
11	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.05	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.82	15.20	34.66	99.75	-0.26	34.92
12	bdl	bdl	bdl	bdl	0.14	bdl	bdl	bdl	0.02	1.03	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.53	15.07	34.96	99.76	0.50	34.46
13	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.35	0.18	0.03	bdl	0.15	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.19	15.28	34.35	99.56	-0.58	34.94
14	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.31	0.11	0.04	bdl	0.20	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.10	15.07	34.65	99.48	0.26	34.38
15	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.01	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.76	15.34	33.56	98.72	-1.24	34.80
16	bdl	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.15	0.06	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.77	15.19	34.93	100.17	-0.30	35.23
17	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.06	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.89	15.21	34.57	99.76	-0.13	34.70
18	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.86	0.26	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.42	15.03	34.72	99.36	0.30	34.42
19	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.85	0.06	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.97	15.18	34.67	99.78	-0.04	34.70
20	bdl	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.84	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.18	15.33	34.00	99.42	-1.31	35.31
21	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.90	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.53	15.29	34.44	100.17	-0.51	34.96
22	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.02	0.94	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.88	15.37	34.28	99.52	-0.59	34.87
<b>cp.</b>			<b>0.03</b>							<b>0.02</b>	<b>1.04</b>	<b>0.12</b>	<b>0.04</b>							<b>48.83</b>	<b>15.21</b>	<b>34.75</b>		<b>0.46</b>	<b>34.80</b>
<b>min</b>			<b>0.03</b>							<b>0.02</b>	<b>0.84</b>	<b>0.06</b>	<b>0.03</b>							<b>48.10</b>	<b>15.03</b>	<b>33.56</b>		<b>0.14</b>	<b>34.38</b>
<b>max</b>			<b>0.04</b>							<b>0.02</b>	<b>1.35</b>	<b>0.26</b>	<b>0.06</b>							<b>49.53</b>	<b>15.37</b>	<b>36.09</b>		<b>1.31</b>	<b>35.31</b>

## КТ-1201 (внешняя зона)

23	bdl	bdl	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.13	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.95	15.09	36.43	101.64	1.85	34.58
24	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.03	0.92	bdl	0.01	bdl	49.37	15.24	34.52	100.09	-0.36	34.88						
25	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.12	bdl	0.02	bdl	49.28	15.37	33.81	99.62	-1.56	35.36						
26	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.06	bdl	0.03	bdl	49.24	15.24	34.74	100.30	-0.12	34.86						
27	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.02	1.03	bdl	0.02	bdl	49.06	15.30	34.26	99.69	-0.60	34.86						
28	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.02	1.10	bdl	0.02	bdl	49.22	15.31	34.05	99.74	-1.23	35.28						
29	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.08	bdl	0.01	bdl	49.01	15.21	35.02	100.33	0.29	34.73						
30	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.09	bdl	0.02	bdl	49.07	15.23	34.98	100.40	0.20	34.79						
31	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.06	bdl	0.02	bdl	49.27	15.30	34.70	100.36	-0.51	35.21						
32	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.09	bdl	0.01	bdl	48.91	15.31	34.67	99.98	-0.14	34.81						
33	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.02	1.12	bdl	0.02	bdl	49.06	15.28	34.50	100.01	-0.36	34.86						
34	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.24	bdl	0.01	bdl	49.01	15.23	34.56	100.06	-0.23	34.79						
35	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.91	bdl	0.02	bdl	49.22	15.35	34.42	99.91	-0.51	34.93						

36	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.05	bdl	0.02	bdl	48.85	15.32	34.72	99.96	-0.08	34.80						
<b>cp.</b>			<b>0.02</b>							<b>0.02</b>	<b>1.07</b>	<b>0.02</b>								<b>49.11</b>	<b>15.27</b>	<b>34.67</b>		<b>0.78</b>	<b>34.91</b>
<b>min</b>			<b>0.02</b>							<b>0.02</b>	<b>0.91</b>	<b>0.01</b>								<b>48.85</b>	<b>15.09</b>	<b>33.81</b>		<b>0.20</b>	<b>34.58</b>
<b>max</b>			<b>0.02</b>							<b>0.03</b>	<b>1.24</b>	<b>0.03</b>								<b>49.37</b>	<b>15.37</b>	<b>36.43</b>		<b>1.85</b>	<b>35.36</b>

## КТ-1201 (ядро)

37	bdl	bdl	bdl	bdl	0.37	bdl	bdl	0.06	0.03	0.92	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.04	15.18	34.80	100.50	-0.58	34.88
38	bdl	bdl	bdl	bdl	0.16	bdl	bdl	bdl	bdl	1.13	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.26	15.20	34.31	100.10	6.82	34.89
39	0.14	bdl	bdl	1.96	1.89	bdl	0.04	1.21	0.09	2.35	1.53	0.83	0.32	0.19	bdl	0.25	0.16	bdl	0.30	36.40	11.48	37.50	97.38	0.39	30.68
40	bdl	bdl	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	0.04	bdl	1.62	0.49	0.05	0.15	0.55	bdl	bdl	bdl	bdl	0.19	46.76	15.27	34.85	100.01	0.97	34.46
41	bdl	bdl	0.03	0.21	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.59	0.37	0.10	0.14	0.47	bdl	bdl	bdl	bdl	0.15	47.04	14.88	35.52	100.50	12.16	34.55
42	0.11	bdl	bdl	2.66	1.09	bdl	bdl	1.27	0.08	2.31	1.47	0.91	0.31	0.12	bdl	0.17	bdl	0.27	0.27	33.23	9.96	40.01	94.98	11.64	27.85
43	0.16	bdl	bdl	2.41	3.93	bdl	bdl	0.90	0.07	1.70	0.89	0.76	0.09	0.13	bdl	bdl	bdl	bdl	0.22	33.79	10.20	39.69	95.39	13.04	28.05
44	bdl	bdl	bdl	2.23	4.46	bdl	bdl	0.97	0.08	2.27	1.07	0.69	0.22	0.14	bdl	bdl	0.18	bdl	0.26	33.15	10.38	41.35	97.98	0.77	28.31
45	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.62	0.46	0.05	0.12	0.45	bdl	bdl	bdl	bdl	0.23	47.36	15.12	35.19	100.60	1.16	34.43
46	bdl	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.61	0.47	0.04	0.18	0.80	bdl	bdl	bdl	bdl	0.26	46.71	15.04	35.34	100.53	8.82	34.18
47	0.12	0.02	0.02	1.86	6.50	bdl	0.03	0.83	0.09	1.63	1.51	0.98	0.91	0.48	bdl	bdl	0.15	0.28	0.30	32.38	10.62	38.42	97.63	0.14	29.59
48	bdl	bdl	0.02	0.10	0.38	bdl	bdl	0.04	0.02	1.35	0.08	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.15	15.17	35.11	100.53	5.03	34.97
<b>cp.</b>	<b>0.13</b>		<b>0.02</b>	<b>1.28</b>	<b>2.35</b>		<b>0.04</b>	<b>0.66</b>	<b>0.07</b>	<b>1.67</b>	<b>0.83</b>	<b>0.38</b>	<b>0.27</b>	<b>0.37</b>		<b>0.21</b>	<b>0.16</b>	<b>0.27</b>	<b>0.24</b>	<b>41.94</b>	<b>13.21</b>	<b>36.84</b>		<b>6.08</b>	<b>32.24</b>
<b>min</b>	<b>0.11</b>		<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	<b>0.16</b>		<b>0.03</b>	<b>0.04</b>	<b>0.02</b>	<b>0.92</b>	<b>0.08</b>	<b>0.02</b>	<b>0.09</b>	<b>0.12</b>		<b>0.17</b>	<b>0.15</b>	<b>0.27</b>	<b>0.15</b>	<b>32.38</b>	<b>9.96</b>	<b>34.31</b>		<b>0.14</b>	<b>27.85</b>
<b>max</b>	<b>0.16</b>		<b>0.03</b>	<b>2.66</b>	<b>6.50</b>		<b>0.04</b>	<b>1.27</b>	<b>0.09</b>	<b>2.35</b>	<b>1.53</b>	<b>0.98</b>	<b>0.91</b>	<b>0.80</b>		<b>0.25</b>	<b>0.18</b>	<b>0.28</b>	<b>0.30</b>	<b>49.26</b>	<b>15.27</b>	<b>41.35</b>		<b>13.04</b>	<b>34.97</b>

**Приложение 6. Результаты U-Pb изотопных исследований циркона гранитоидов Матутского массива методом LA-ICP-MS (образец КТ-1070)**

№ точки	206Pb, г/г	U, г/г	Th/U	Изотопные отношения									Возраст, млн лет						% conc		
				207Pb/ 206Pb	1s%	207Pb/ 235U	1s%	206Pb/ 238U	1s%	Rho	208Pb/ 232Th	1s%	207Pb/ 206Pb	2s	206Pb/ 238U	2s	207Pb/ 235U	2s		208Pb/ 232Th	2s
1	58	638	0.89	0.05725	2.0	0.66633	1.9	0.08432	1.6	0.85	0.02828	1.59	501	90	522	16	519	15	564	18	104
2	71	783	0.55	0.059	2.1	0.68488	2.0	0.08422	1.6	0.82	0.02831	1.66	567	89	521	16	530	16	564	18	92
3	124	1348	2.41	0.06256	2.0	0.72744	1.8	0.08582	1.6	0.89	0.02857	1.58	693	84	531	17	555	16	569	18	77
4	74	814	0.76	0.05768	2.0	0.66703	1.9	0.08457	1.6	0.85	0.02917	1.61	517	89	523	16	519	16	581	19	101
5	69	765	0.99	0.05892	2.0	0.68928	1.9	0.08424	1.6	0.85	0.02705	1.63	564	88	521	16	532	16	539	17	92
6	64	716	0.85	0.05774	2.2	0.66666	2.2	0.08379	1.6	0.75	0.02714	1.69	520	95	519	16	519	18	541	18	100
7	69	773	0.72	0.05778	2.1	0.6679	2.0	0.08405	1.6	0.80	0.02750	1.67	521	92	520	16	519	17	548	18	100
8	37	435	1.48	0.06031	2.3	0.65026	2.3	0.07942	1.7	0.71	0.02683	1.68	615	96	493	16	509	19	535	18	80
9	71	795	0.91	0.05771	2.1	0.66974	2.1	0.08393	1.6	0.80	0.02744	1.68	518	92	520	16	521	17	547	18	100
10	28	313	0.92	0.05808	2.2	0.66716	2.3	0.08398	1.7	0.74	0.02611	1.72	533	97	520	17	519	18	521	18	98
11	63	718	0.74	0.05769	2.0	0.66635	1.9	0.08362	1.7	0.85	0.02654	1.70	518	89	518	16	519	16	530	18	100
12	37	416	1.70	0.05761	2.2	0.66872	2.2	0.08463	1.7	0.74	0.02609	1.69	515	96	524	17	520	18	521	17	102
13	72	808	0.75	0.05782	2.1	0.67000	2.0	0.08448	1.7	0.85	0.02546	1.69	523	89	523	17	521	16	508	17	100
14	32	361	1.23	0.05799	2.1	0.66577	2.1	0.08396	1.7	0.79	0.02502	1.72	529	93	520	17	518	17	500	17	98
15	36	406	0.81	0.05783	2.2	0.66921	2.2	0.08387	1.7	0.77	0.02585	1.78	523	94	519	17	520	18	516	18	99
16	71	807	0.79	0.05768	2.0	0.66624	1.9	0.08385	1.7	0.85	0.02576	1.71	517	89	519	17	518	16	514	18	100
17	55	618	1.85	0.05831	2.2	0.6862	2.2	0.08519	1.7	0.77	0.02669	1.72	541	95	527	17	531	18	532	18	97
18	69	839	0.25	0.05837	2.1	0.62225	2.0	0.07888	1.7	0.84	0.02650	1.81	544	89	489	16	491	15	529	19	90
19	17	185	0.77	0.05764	2.5	0.68236	2.8	0.08546	1.7	0.61	0.02738	1.90	516	110	529	17	528	23	546	21	102
20	18	206	1.29	0.05824	2.4	0.6672	2.5	0.08355	1.7	0.67	0.02632	1.82	538	103	517	17	519	21	525	19	96
21	33	384	0.72	0.05772	2.2	0.66961	2.2	0.08355	1.7	0.77	0.02640	1.86	519	95	517	17	521	18	527	19	100
22	9	107	1.08	0.05791	3.0	0.67231	3.6	0.08393	1.8	0.50	0.02557	2.07	526	131	520	18	522	29	510	21	99
23	32	366	0.82	0.05529	2.2	0.65786	2.3	0.08435	1.7	0.74	0.02634	1.86	424	97	522	17	513	19	526	19	123
24	50	582	0.86	0.05779	2.4	0.6875	2.6	0.08277	1.7	0.66	0.02516	1.95	521	104	513	17	531	22	502	19	98
25	51	588	0.64	0.05769	2.2	0.66516	2.2	0.0842	1.7	0.77	0.02609	1.92	518	94	521	17	518	18	521	20	101
26	34	397	1.02	0.05986	2.2	0.68032	2.2	0.08277	1.7	0.76	0.02614	1.87	599	93	513	17	527	18	522	19	86
27	7	87	1.82	0.05749	3.2	0.68126	3.9	0.08083	1.8	0.47	0.02586	2.01	510	140	501	18	528	32	516	21	98
28	39	461	0.92	0.05751	2.1	0.6642	2.1	0.08212	1.7	0.79	0.02584	1.90	511	94	509	17	517	17	516	19	100
29	36	422	1.27	0.05774	2.1	0.66901	2.2	0.08366	1.7	0.79	0.02591	1.89	520	93	518	17	520	18	517	19	100
30	37	423	0.64	0.05771	2.3	0.67885	2.4	0.08483	1.7	0.72	0.02694	2.00	519	99	525	17	526	20	537	21	101

31	35	405	1.26	0.05786	2.2	0.6693	2.3	0.0843	1.7	0.73	0.02684	1.94	524	98	522	17	520	19	535	21	100
32	73	855	0.81	0.05772	2.1	0.67038	2.1	0.0841	1.7	0.80	0.02733	1.94	519	93	521	17	521	17	545	21	100
33	37	431	0.84	0.05776	2.2	0.67317	2.3	0.08391	1.7	0.75	0.02704	2.00	521	97	519	17	523	19	539	21	100
34	57	669	0.81	0.06098	2.1	0.72273	2.2	0.08342	1.7	0.80	0.02840	1.97	639	91	517	17	552	18	566	22	81
35	21	249	0.74	0.05762	2.7	0.67302	3.1	0.0832	1.8	0.58	0.02854	2.17	515	116	515	18	523	25	569	25	100
36	57	668	0.92	0.05789	2.2	0.672	2.3	0.08463	1.7	0.75	0.02897	2.04	525	97	524	17	522	19	577	23	100
37	16	189	1.65	0.05772	2.5	0.66492	2.7	0.08468	1.8	0.64	0.02905	2.07	519	108	524	18	518	22	579	23	101
38	13	150	1.21	0.05825	2.5	0.66433	2.8	0.08319	1.8	0.64	0.02815	2.10	538	110	515	18	517	22	561	23	96
39	32	396	0.61	0.05747	2.3	0.6538	2.4	0.08072	1.7	0.73	0.02756	2.10	509	99	500	17	511	19	550	23	98
40	49	571	0.73	0.05764	2.2	0.67881	2.3	0.08533	1.7	0.77	0.02931	2.12	516	95	528	18	526	19	584	24	102
41	32	360	0.66	0.05865	2.3	0.71579	2.5	0.08807	1.8	0.71	0.03048	2.20	554	100	544	18	548	21	607	26	98
42	28	332	1.93	0.05779	2.5	0.67658	2.8	0.08393	1.8	0.65	0.02919	2.16	522	108	520	18	525	23	582	25	100
43	47	563	0.91	0.05777	2.4	0.67298	2.6	0.08438	1.8	0.68	0.02937	2.21	521	104	522	18	523	21	585	25	100
44	49	564	0.76	0.05846	2.2	0.71382	2.3	0.08766	1.8	0.76	0.03037	2.17	547	95	542	18	547	20	605	26	99

Примечание. Погрешности возрастов приводятся на уровне  $2\sigma$ .  $\rho$  – коэффициент корреляции ошибок отношений  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  и  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , D – дискордантность. \* - номера точек, результаты которых не использованы при расчете средневзвешенного возраста.

**Приложение 7. Результаты U-Pb изотопных исследований циркона гранитоидов Матутского массива методом LA-ICP-MS (образец КТ-1256)**

№ точки	206Pb, г/т	U, г/т	Th/U	Изотопные отношения									Возраст, млн лет						% conc		
				207Pb/ 206Pb	1s%	207Pb/ 235U	1s%	206Pb/ 238U	1s%	Rho	208Pb/ 232Th	1s%	207Pb/ 206Pb	2s	206Pb/ 238U	2s	207Pb/ 235U	2s		208Pb/ 232Th	2s
1	95	1323	0.54	0.05774	2.0	0.66346	2.0	0.08346	1.9	0.94	0.02618	1.68	520	89	517	19	517	16	522	18	99
2	86	1214	0.65	0.05831	2.0	0.66371	2.0	0.08268	1.9	0.94	0.02622	1.68	541	89	512	18	517	16	523	17	95
3	102	1428	0.75	0.05799	2.0	0.66353	2.0	0.08311	1.9	0.95	0.02604	1.65	529	88	515	18	517	16	520	17	97
4	120	1685	0.65	0.05817	2.0	0.66184	2.0	0.08265	1.9	0.95	0.02524	1.66	536	88	512	18	516	16	504	17	96
5	105	1449	0.60	0.0574	2.0	0.66444	2.0	0.08408	1.9	0.95	0.02627	1.67	507	89	520	19	517	16	524	17	103
6	105	1488	0.52	0.05788	2.0	0.65382	2.0	0.08206	1.9	0.95	0.025	1.68	525	88	508	18	511	16	499	17	97
7	97	1390	0.73	0.05752	2.0	0.64381	2.0	0.0813	1.9	0.95	0.02479	1.65	511	88	504	18	505	16	495	16	99
8	128	1823	0.62	0.05816	2.0	0.65728	1.9	0.08208	1.9	0.96	0.02479	1.65	535	87	509	18	513	16	495	16	95
9	125	1765	0.74	0.05776	2.0	0.66072	1.9	0.08309	1.9	0.96	0.02543	1.65	520	87	515	18	515	16	508	17	99
10	83	1195	0.67	0.05747	2.0	0.63948	2.0	0.08083	1.9	0.94	0.02445	1.68	509	89	501	18	502	16	488	16	98
11	75	1064	0.67	0.05706	2.1	0.64368	2.0	0.08194	1.9	0.94	0.02405	1.66	493	89	508	18	505	16	480	16	103
12	61	867	0.60	0.05776	2.1	0.65383	2.0	0.08222	1.9	0.93	0.02424	1.69	521	90	509	18	511	16	484	16	98
13	116	1636	0.76	0.05787	2.0	0.66128	1.9	0.083	1.9	0.95	0.02515	1.67	525	88	514	18	515	16	502	17	98
14	65	926	0.77	0.05687	2.1	0.64431	2.0	0.0823	1.9	0.93	0.02409	1.70	486	90	510	18	505	16	481	16	105
15	97	1394	0.70	0.05709	2.1	0.63947	2.0	0.08136	1.9	0.93	0.02405	1.70	495	89	504	18	502	16	480	16	102
16	62	866	0.79	0.05804	2.1	0.66551	2.0	0.08329	1.8	0.92	0.02568	1.71	531	90	516	18	518	16	513	17	97
17	43	624	1.26	0.05748	2.1	0.64561	2.1	0.08158	1.9	0.91	0.02456	1.71	510	93	506	18	506	16	490	16	99
18	137	1938	0.82	0.05772	2.0	0.65972	1.9	0.08302	1.8	0.95	0.02472	1.66	519	88	514	18	514	16	494	16	99
19	22	320	0.87	0.05734	2.3	0.63842	2.2	0.08086	1.9	0.85	0.02383	1.80	504	99	501	18	501	17	476	17	99
20	88	1267	0.80	0.05746	2.0	0.64277	2.0	0.08125	1.8	0.94	0.02383	1.68	509	89	504	18	504	16	476	16	99
21	27	402	0.75	0.05777	2.2	0.63426	2.2	0.07974	1.9	0.87	0.02465	1.78	521	97	495	18	499	17	492	17	95
22	67	973	0.72	0.05663	2.0	0.63306	2.0	0.0812	1.8	0.93	0.02403	1.71	476	91	503	18	498	16	480	16	106
23	35	508	0.66	0.05715	2.2	0.63708	2.1	0.08096	1.9	0.89	0.02398	1.79	497	95	502	18	501	16	479	17	101
24	88	1256	0.70	0.05788	2.0	0.65795	2.0	0.08257	1.8	0.94	0.02354	1.70	525	89	511	18	513	16	470	16	97

25	101	1433	0.83	0.05753	2.0	0.65444	2.0	0.08262	1.8	0.94	0.02453	1.71	512	89	512	18	511	16	490	17	100
26	19	279	0.83	0.05717	2.4	0.63152	2.3	0.08024	1.9	0.82	0.02308	1.86	497	103	498	18	497	18	461	17	100
27	122	1716	0.65	0.05769	2.0	0.6668	1.9	0.08396	1.8	0.94	0.02531	1.74	518	88	520	18	519	16	505	17	100
28	50	710	0.63	0.05822	2.1	0.66019	2.0	0.08236	1.8	0.91	0.02553	1.76	538	92	510	18	515	16	510	18	95
29	124	1791	1.36	0.05804	2.0	0.65285	1.9	0.0817	1.8	0.95	0.02392	1.71	531	88	506	18	510	16	478	16	95
30	61	873	1.08	0.05829	2.1	0.66224	2.0	0.08251	1.8	0.91	0.01737	1.78	540	92	511	18	516	16	348	12	95
31	91	1277	0.83	0.05772	2.0	0.66746	2.0	0.08399	1.8	0.94	0.02446	1.76	519	89	520	18	519	16	489	17	100
32	82	1211	0.76	0.05784	2.1	0.63689	2.0	0.07997	1.8	0.93	0.02418	1.78	524	90	496	18	500	16	483	17	95
33	111	1591	0.66	0.05716	2.0	0.64634	2.0	0.08212	1.8	0.94	0.02417	1.78	497	88	509	18	506	16	483	17	102
34	189	2654	0.85	0.05758	2.0	0.66358	1.9	0.0837	1.8	0.95	0.0245	1.76	514	88	518	18	517	16	489	17	101
35	107	1546	0.69	0.05766	2.0	0.64636	2.0	0.08141	1.8	0.93	0.02346	1.79	517	90	505	18	506	16	469	16	98

Примечание. Погрешности возрастов приводятся на уровне  $2\sigma$ .  $\rho$  – коэффициент корреляции ошибок отношений

$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  и  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , D – дискордантность.

**Приложение 8. Результаты U-Pb изотопных исследований циркона гранитоидов Матутского массива методом LA-ICP-MS (образец ER-02-15)**

№ точки	206Pb, г/т	U, г/т	Th/U	Изотопные отношения									Возраст, млн лет								% conc
				207Pb/ 206Pb	1s%	207Pb/ 235U	1s%	206Pb/ 238U	1s%	Rho	208Pb/ 232Th	1s%	207Pb/ 206Pb	2s	206Pb/ 238U	2s	207Pb/ 235U	2s	208Pb/ 232Th	2s	
1*	1	8	2.07	0.43823	4.2	10.7604	12.6	0.12447	2.9	0.23	0.08548	2.69	4046	124	756	41	2503	234	1658	86	19
2*	2	23	0.54	0.26892	3.7	3.51905	7.0	0.0835	2.3	0.33	0.10246	2.75	3300	113	517	23	1532	110	1972	104	16
3*	37	396	9.54	0.28904	2.1	3.31371	2.4	0.08459	1.6	0.69	0.00873	1.83	3412	65	524	17	1484	37	176	6	15
4*	589	7599	0.27	0.0684	2.0	0.64626	1.8	0.07104	1.6	0.88	0.03096	1.81	881	82	442	14	506	14	616	22	50
5	9	98	2.06	0.05526	3.0	0.61779	3.6	0.08347	1.7	0.48	0.02513	1.95	423	132	517	17	489	28	502	19	122
6	31	342	0.44	0.05759	2.4	0.65483	2.5	0.08311	1.6	0.65	0.02616	2.03	514	103	515	16	511	20	522	21	100
7	35	385	0.62	0.05767	2.3	0.65882	2.3	0.08315	1.6	0.71	0.02128	1.97	517	98	515	16	514	19	426	17	100
8	22	254	1.11	0.06004	2.7	0.67321	3.0	0.08015	1.7	0.55	0.02402	2.00	605	114	497	16	523	25	480	19	82
9	19	214	1.26	0.06015	2.8	0.69535	3.2	0.08268	1.7	0.53	0.02444	2.05	609	118	512	17	536	27	488	20	84
10*	383	4691	0.07	0.05772	2.0	0.59308	1.9	0.07502	1.6	0.85	0.03187	1.98	519	89	466	14	473	14	634	25	90
11	22	252	0.27	0.05734	2.5	0.64863	2.6	0.08163	1.6	0.62	0.03029	2.24	504	107	506	16	508	21	603	27	100
12	27	295	0.62	0.05797	2.3	0.65267	2.3	0.08266	1.6	0.70	0.02506	2.00	528	99	512	16	510	19	500	20	97
13	20	224	0.78	0.0573	2.3	0.64693	2.4	0.08252	1.6	0.68	0.02570	1.98	503	102	511	16	507	19	513	20	102
14	9	100	1.33	0.05955	2.8	0.65322	3.3	0.08239	1.7	0.52	0.02466	2.07	587	121	510	17	511	26	492	20	87
15	39	437	0.60	0.05762	2.3	0.65617	2.4	0.08315	1.6	0.69	0.02503	2.04	515	100	515	16	512	19	500	20	100
16	35	388	1.05	0.05813	2.2	0.65139	2.2	0.08206	1.6	0.75	0.01101	2.00	534	96	508	16	509	17	221	9	95
17	27	301	0.57	0.05744	2.3	0.649	2.3	0.08206	1.6	0.71	0.02537	2.05	508	99	508	16	508	18	506	21	100
18	14	156	1.06	0.05718	3.2	0.65045	3.8	0.08232	1.7	0.46	0.02512	2.31	498	139	510	17	509	31	502	23	102
19	12	139	1.03	0.05742	2.7	0.65447	3.1	0.08232	1.7	0.54	0.02321	2.20	507	119	510	17	511	25	464	20	101
20*	23	271	0.77	0.06469	2.6	0.70435	2.9	0.07759	1.7	0.57	0.02079	2.26	764	108	482	16	541	25	416	19	63
21	23	256	0.80	0.05746	2.5	0.65645	2.7	0.08243	1.7	0.61	0.02656	2.18	509	109	511	16	512	22	530	23	100
22	14	166	1.34	0.05849	2.6	0.63064	2.9	0.08013	1.7	0.57	0.01855	2.21	548	113	497	16	497	23	372	16	91
23	19	216	0.53	0.05736	3.1	0.6499	3.6	0.08139	1.7	0.48	0.02237	2.59	505	132	504	17	508	29	447	23	100
24	90	1025	0.06	0.06105	2.2	0.68277	2.1	0.08165	1.6	0.77	0.03346	2.36	641	92	506	16	528	17	665	31	79
25	10	116	1.25	0.05807	2.8	0.6339	3.2	0.07987	1.7	0.53	0.02262	2.30	532	123	495	16	499	25	452	20	93
26	6	64	0.57	0.05791	3.8	0.65326	4.7	0.08156	1.8	0.39	0.02479	2.99	526	163	505	18	511	38	495	29	96
27	5	56	1.45	0.05604	4.3	0.61415	5.4	0.07833	1.9	0.35	0.02367	2.66	454	187	486	18	486	42	473	25	107
28	12	139	0.82	0.05612	3.0	0.65359	3.5	0.08195	1.7	0.49	0.02483	2.50	457	131	508	17	511	28	496	24	111
29	37	411	0.75	0.05733	2.4	0.65197	2.5	0.08273	1.7	0.67	0.02518	2.30	504	104	512	16	510	20	503	23	102
30	26	291	0.94	0.05701	2.4	0.61589	2.5	0.08236	1.7	0.65	0.02361	2.33	491	107	510	16	487	20	472	22	104

31	80	944	0.02	0.05776	2.3	0.6157	2.4	0.07879	1.6	0.70	0.01703	4.35	520	101	489	16	487	18	341	29	94
32	14	158	0.54	0.05474	3.4	0.59291	4.0	0.08313	1.8	0.44	0.02751	2.84	402	147	515	18	473	30	549	31	128
33	21	231	0.68	0.05642	2.5	0.65472	2.7	0.08249	1.7	0.62	0.02632	2.47	468	111	511	16	511	22	525	25	109
34	12	135	0.64	0.05731	2.9	0.65544	3.4	0.08222	1.7	0.51	0.01440	2.85	503	128	509	17	512	28	289	16	101
35*	45	449	0.45	0.05943	2.4	0.76652	2.5	0.0942	1.7	0.67	0.02698	2.48	583	101	580	18	578	22	538	26	100
36	14	171	0.39	0.05758	2.9	0.64296	3.4	0.07855	1.7	0.51	0.02688	2.83	514	127	488	16	504	27	536	30	95
37	22	240	0.80	0.05843	3.2	0.6974	3.9	0.0868	1.8	0.46	0.02915	2.74	546	137	537	18	537	32	581	32	98
38	16	175	0.72	0.05707	3.0	0.67578	3.5	0.0835	1.7	0.49	0.02944	2.72	494	131	517	17	524	29	586	31	105
39	74	846	0.12	0.05916	2.4	0.65288	2.5	0.08132	1.7	0.67	0.02554	2.78	573	103	504	16	510	20	510	28	88
40	37	425	0.42	0.05737	2.5	0.6471	2.7	0.08195	1.7	0.62	0.02407	2.70	506	110	508	16	507	21	481	25	100

Примечание. Погрешности возрастов приводятся на уровне  $2\sigma$ .  $\rho$  – коэффициент корреляции ошибок отношений  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  и  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ,  $D$  – дискордантность. \* - номера точек, результаты которых не использованы при расчете средневзвешенного возраста.

**Приложение 9. Результаты U-Pb изотопных исследований циркона гранитоидов Матутского массива методом LA-ICP-MS (образец КТ-1252-1)**

№ точки	206Pb, г/г	U, г/г	Th/U	Изотопные отношения									Возраст, млн лет						% conc		
				207Pb/ 206Pb	1s%	207Pb/ 235U	1s%	206Pb/ 238U	1s%	Rho	208Pb/ 232Th	1s%	207Pb/ 206Pb	2s	206Pb/ 238U	2s	207Pb/ 235U	2s		208Pb/ 232Th	2s
1	39	571	0.20	0.05937	2.2	0.58031	2.0	0.071	1.7	0.86	0.01557	2.31	581	94	442	15	465	15	312	14	76
2	25	662	0.42	0.0635	2.5	0.34557	2.3	0.03953	1.7	0.77	0.01505	1.99	725	103	250	9	301	12	302	12	34
3	17	271	0.15	0.06124	2.8	0.53069	2.6	0.06295	1.8	0.70	0.02209	3.30	648	116	394	14	432	18	442	29	61
4	36	644	0.27	0.05937	2.3	0.47053	2.1	0.05757	1.7	0.84	0.02229	1.93	581	97	361	12	392	13	446	17	62
5	70	1737	0.68	0.06302	2.3	0.35882	2.1	0.04136	1.7	0.83	0.01725	1.68	709	95	261	9	311	11	346	12	37
6	63	892	0.53	0.05904	2.2	0.58971	2.0	0.07256	1.7	0.85	0.02307	1.78	569	96	452	15	471	15	461	16	79
7	62	882	0.77	0.05733	2.1	0.57358	1.9	0.07267	1.7	0.90	0.02167	1.62	504	92	452	15	460	14	433	14	90
8	22	519	0.17	0.06272	2.3	0.38544	2.1	0.04464	1.7	0.81	0.0167	2.34	699	98	282	10	331	12	335	16	40
9	52	1034	0.71	0.06555	2.4	0.46966	2.2	0.05205	1.7	0.81	0.01524	1.84	792	98	327	11	391	14	306	11	41
10	66	954	0.71	0.06261	2.1	0.61793	1.9	0.07169	1.7	0.89	0.02401	1.67	695	90	446	15	489	15	480	16	64
11	148	2021	0.57	0.0572	2.0	0.59263	1.8	0.07526	1.7	0.94	0.02214	1.58	499	88	468	15	473	14	443	14	94
12	128	1744	0.42	0.05643	2.0	0.58871	1.8	0.07578	1.7	0.94	0.02324	1.64	469	89	471	15	470	14	464	15	100
13	125	1704	0.42	0.05775	2.0	0.59988	1.8	0.07545	1.7	0.94	0.02323	1.64	520	88	469	15	477	14	464	15	90
14	120	2130	0.65	0.06335	2.1	0.50488	1.8	0.05789	1.7	0.93	0.01936	1.60	720	86	363	12	415	13	388	12	50
15	24	345	1.05	0.06204	2.5	0.61042	2.3	0.07147	1.7	0.77	0.02406	1.75	676	104	445	15	484	17	481	17	66
16	79	1069	0.43	0.05718	2.1	0.59466	1.9	0.07554	1.7	0.91	0.02369	1.69	498	91	470	15	474	14	473	16	94
17	55	756	0.49	0.05807	2.2	0.60155	2.0	0.07525	1.7	0.87	0.02378	1.72	532	94	468	16	478	15	475	16	88
18	29	656	0.25	0.05973	2.4	0.37562	2.2	0.04568	1.7	0.80	0.02357	1.95	594	100	288	10	324	12	471	18	49
19	17	334	0.14	0.06114	2.7	0.42991	2.5	0.05108	1.8	0.71	0.02104	3.04	644	114	321	11	363	15	421	25	50
20	45	639	0.09	0.05778	2.2	0.57803	2.0	0.07267	1.7	0.85	0.02001	2.85	521	97	452	15	463	15	401	23	87
21	55	905	0.43	0.06129	2.2	0.58082	2.1	0.06884	1.9	0.88	0.02627	1.98	649	93	429	15	465	16	524	20	66
22	26	396	0.11	0.05682	2.6	0.58104	2.5	0.07429	1.9	0.77	0.02165	3.51	484	111	462	17	465	18	433	30	95
23	51	1082	0.46	0.05766	2.7	0.42725	2.6	0.05382	1.9	0.73	0.02005	2.29	517	119	338	13	361	16	401	18	65
24	27	628	0.14	0.06046	2.5	0.40475	2.4	0.04863	1.9	0.79	0.02061	2.77	620	105	306	11	345	14	412	22	49

25	40	611	0.12	0.05777	2.3	0.59538	2.2	0.07486	1.9	0.83	0.02039	2.89	521	101	465	17	474	17	408	24	89
26	31	473	0.11	0.0556	2.5	0.56508	2.4	0.07382	1.9	0.79	0.0226	3.23	436	107	459	17	455	17	452	29	105
27	53	1093	0.49	0.06316	2.2	0.48225	2.1	0.05546	1.8	0.88	0.02174	1.98	714	92	348	13	400	14	435	17	49
28	37	630	0.36	0.05674	2.4	0.51727	2.3	0.06622	1.9	0.82	0.01785	2.24	481	103	413	15	423	16	358	16	86
29	34	504	0.10	0.05484	2.4	0.56974	2.3	0.07546	1.9	0.81	0.02152	3.30	406	106	469	17	458	17	430	28	116
30	46	922	0.24	0.06513	3.4	0.50684	3.2	0.05653	2.0	0.62	0.0223	3.45	778	139	355	14	416	22	446	31	46
31	69	1851	0.77	0.0661	2.4	0.38138	2.3	0.04191	1.9	0.81	0.01362	2.06	810	99	265	10	328	13	273	11	33
32	25	387	0.14	0.05591	2.5	0.57191	2.4	0.0743	1.9	0.77	0.02625	2.93	449	110	462	17	459	18	524	30	103
33	34	601	0.25	0.06065	2.4	0.52893	2.2	0.06334	1.9	0.83	0.02803	2.25	627	100	396	14	431	16	559	25	63
34	30	573	0.12	0.05757	2.5	0.47376	2.4	0.05978	1.9	0.79	0.01939	3.09	513	107	374	14	394	15	388	24	73
35	45	665	0.14	0.05593	2.3	0.58691	2.2	0.07623	1.8	0.85	0.02579	2.44	449	98	474	17	469	16	515	25	105
36	21	301	0.13	0.05807	2.6	0.61614	2.5	0.07707	1.9	0.75	0.0247	3.40	532	115	479	17	487	20	493	33	90
37	29	422	0.16	0.05772	2.5	0.60697	2.4	0.07638	1.9	0.79	0.02277	2.85	519	107	475	17	482	18	455	26	91
38	26	390	0.13	0.05503	2.5	0.5742	2.4	0.0758	1.9	0.77	0.02464	3.04	413	109	471	17	461	18	492	30	114
39	27	409	0.19	0.05447	2.5	0.56069	2.4	0.07477	1.9	0.78	0.02108	2.80	391	110	465	17	452	17	422	24	119
40	23	348	0.15	0.05596	2.6	0.57455	2.5	0.07458	1.9	0.75	0.02365	3.04	450	114	464	17	461	18	473	29	103
41	67	972	0.33	0.05578	2.2	0.59273	2.1	0.07719	1.8	0.86	0.02493	2.17	443	97	479	17	473	16	498	21	108
42	43	633	0.11	0.05627	2.3	0.58454	2.2	0.07546	1.8	0.83	0.02213	2.94	462	103	469	17	467	17	443	26	101
43	41	607	0.16	0.05697	2.3	0.58761	2.2	0.07492	1.8	0.83	0.02039	2.65	490	101	466	16	469	17	408	21	95
44	34	512	0.12	0.0578	2.4	0.59304	2.3	0.07452	1.8	0.80	0.02661	2.89	522	105	463	16	473	17	531	30	89
45	30	531	0.09	0.05758	2.5	0.50787	2.3	0.06407	1.8	0.79	0.0179	3.52	513	107	400	14	417	16	359	25	78

Примечание. Погрешности возрастов приводятся на уровне  $2\sigma$ .  $\rho$  – коэффициент корреляции ошибок отношений  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  и  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ,  $D$  – дискордантность. \*Номера точек, результаты которых не использованы при расчете средневзвешенного возраста.

**Приложение 10.** Химический состав (мас.%) в точках циркона из образцов КТ-1252-4, КТ-1252-5, КТ-1252-8 по данным рентгеноспектрального микроанализа (микроанализатор САМЕСА SX100).

анализ	F	Cl	S	Ca	Fe	Mn	K	Al	Mg	Hf	Y	P	Th	U	Sm	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Zr	Si	O	Total
<b>1252-4 (циркон, 2-я группа, ростовая зональность)</b>																								
1	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.08	bdl	0.04	bdl	bdl	0.06	bdl	bdl	bdl	0.08	bdl	49.14	15.21	35.24	100.88
2	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.30	0.06	bdl	0.07	0.08	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.62	15.32	34.87	100.17
3	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.93	0.31	0.03	0.16	0.07	0.07	bdl	0.06	bdl	bdl	0.15	48.48	15.28	35.26	100.86
4	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.13	bdl	bdl	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	0.09	bdl	49.17	15.32	34.67	100.27
5	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.11	0.05	bdl	bdl	bdl	0.15	bdl	0.07	bdl	bdl	bdl	49.17	15.24	34.80	100.72
6	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.09	bdl	0.13	bdl	bdl	0.16	bdl	0.08	bdl	0.09	bdl	48.97	15.20	34.70	100.75
7	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.01	0.07	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	0.10	bdl	0.10	0.06	48.75	15.18	34.45	99.67
8	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.97	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	0.09	bdl	bdl	0.10	bdl	49.31	15.28	34.90	100.58
9	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.12	bdl	bdl	bdl	bdl	48.81	15.38	35.03	100.45						
10	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.85	bdl	bdl	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.03	15.44	35.02	100.18
11	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.00	0.05	0.04	bdl	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	0.07	bdl	48.86	15.36	34.35	99.72
12	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.32	bdl	0.12	0.13	bdl	48.91	15.39	34.91	100.70						
13	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.40	bdl	bdl	bdl	0.04	bdl	0.11	0.06	bdl	0.10	bdl	49.02	15.35	34.68	100.81
14	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.40	bdl	bdl	bdl	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.76	15.27	34.96	100.37
15	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.35	bdl	bdl	bdl	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	0.07	bdl	48.91	15.30	34.88	100.43
16	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.32	bdl	bdl	bdl	0.10	bdl	bdl	bdl	bdl	0.08	bdl	49.00	15.34	34.76	100.40
ср.										<b>1.15</b>	<b>0.11</b>	<b>0.05</b>	<b>0.12</b>	<b>0.06</b>	<b>0.11</b>	<b>0.10</b>	<b>0.07</b>		<b>0.09</b>	<b>0.11</b>	<b>48.93</b>	<b>15.31</b>	<b>34.84</b>	
min										<b>0.85</b>	<b>0.05</b>	<b>0.03</b>	<b>0.07</b>	<b>0.04</b>	<b>0.06</b>	<b>0.09</b>	<b>0.06</b>		<b>0.07</b>	<b>0.06</b>	<b>48.48</b>	<b>15.18</b>	<b>34.35</b>	
max										<b>1.40</b>	<b>0.31</b>	<b>0.13</b>	<b>0.16</b>	<b>0.10</b>	<b>0.16</b>	<b>0.11</b>	<b>0.10</b>		<b>0.13</b>	<b>0.15</b>	<b>49.31</b>	<b>15.44</b>	<b>35.26</b>	
<b>1252-4 (циркон, 2-я группа, темная кайма)</b>																								
17	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.27	0.06	bdl	0.08	0.13	bdl	bdl	bdl	bdl	0.09	0.05	48.49	15.36	35.05	100.37
18	bdl	bdl	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.04	0.10	0.05	bdl	0.11	bdl	bdl	0.04	bdl	0.12	bdl	48.66	15.31	34.42	99.75
19	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.05	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.04	49.21	15.40	34.40	100.18
20	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.22	bdl	bdl	bdl	bdl	0.06	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	48.84	15.27	35.10	100.38
21	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.41	bdl	bdl	bdl	0.11	bdl	bdl	0.04	bdl	0.02	bdl	48.72	15.33	34.77	100.26
ср.										<b>1.20</b>	<b>0.08</b>	<b>0.04</b>	<b>0.08</b>	<b>0.12</b>			<b>0.04</b>		<b>0.08</b>	<b>0.05</b>	<b>48.78</b>	<b>15.34</b>	<b>34.75</b>	

min										<b>1.04</b>	<b>0.06</b>	<b>0.03</b>	<b>0.08</b>	<b>0.11</b>						<b>0.04</b>	<b>0.02</b>	<b>0.04</b>	<b>48.49</b>	<b>15.27</b>	<b>34.40</b>
max										<b>1.41</b>	<b>0.10</b>	<b>0.05</b>	<b>0.08</b>	<b>0.13</b>						<b>0.04</b>	<b>0.12</b>	<b>0.05</b>	<b>49.21</b>	<b>15.40</b>	<b>35.10</b>
<b>1252-4 (циркон, 1-я группа, ростовая зональность)</b>																									
22	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.09	0.13	0.11	bdl	0.08	bdl	bdl	bdl	bdl	0.16	bdl	48.94	15.17	35.02	100.67	
23	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.25	0.51	0.14	0.09	0.25	bdl	0.06	0.12	0.09	0.15	0.19	47.87	15.16	35.33	101.34	
24	bdl	bdl	bdl	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	1.03	bdl	bdl	bdl	bdl	0.09	bdl	bdl	bdl	0.13	bdl	49.32	15.42	34.59	100.38	
25	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.96	0.07	0.04	bdl	0.08	0.17	0.06	bdl	bdl	0.08	bdl	49.18	15.22	34.79	100.78	
26	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.20	bdl	0.07	bdl	0.10	0.14	bdl	bdl	bdl	0.08	bdl	48.89	15.30	34.81	100.63	
27	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.10	0.24	0.09	0.15	0.19	0.07	0.09	bdl	bdl	bdl	0.07	48.22	15.17	35.01	100.39	
28	bdl	bdl	bdl	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	1.01	1.26	0.45	0.31	0.57	bdl	bdl	0.21	bdl	0.22	0.40	46.30	14.73	35.57	101.19	
29	bdl	bdl	bdl	bdl	0.08	bdl	bdl	bdl	bdl	0.99	0.22	0.08	0.06	0.10	bdl	bdl	bdl	bdl	0.07	bdl	48.92	15.19	34.83	100.32	
30	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.26	bdl	bdl	bdl	0.10	bdl	bdl	bdl	bdl	0.11	bdl	49.11	15.22	34.69	100.38	
31	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.14	bdl	bdl	bdl	0.06	bdl	bdl	bdl	0.11	bdl	bdl	49.25	15.39	34.51	100.67	
32	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.08	0.13	0.10	bdl	0.08	bdl	bdl	bdl	bdl	0.17	bdl	49.03	15.22	34.92	100.67	
33	bdl	bdl	bdl	bdl	0.08	bdl	bdl	bdl	bdl	1.57	bdl	bdl	bdl	0.05	bdl	bdl	bdl	bdl	0.18	bdl	48.65	15.45	33.08	99.00	
34	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.18	bdl	bdl	bdl	0.08	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.06	48.98	15.36	34.76	100.39	
35	bdl	bdl	bdl	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	0.95	0.09	0.06	0.04	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.82	15.30	34.50	99.94	
36	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.89	0.23	0.07	0.10	0.16	bdl	bdl	0.07	bdl	bdl	bdl	48.49	15.38	35.12	100.66	
37	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.04	0.30	0.11	0.18	0.28	bdl	bdl	bdl	bdl	0.23	0.11	48.51	15.19	36.06	102.27	
38	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.09	0.96	0.52	0.17	0.67	bdl	0.09	0.12	bdl	0.21	0.32	46.71	14.71	35.34	101.23	
39	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.94	0.12	0.12	0.04	bdl	bdl	0.07	bdl	bdl	0.11	0.09	49.15	15.18	34.81	100.80	
40	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.84	0.06	bdl	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.94	15.35	34.48	99.89	
41	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.00	bdl	0.04	bdl	0.04	bdl	bdl	0.06	bdl	bdl	bdl	48.95	15.24	34.49	99.89	
42	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.03	0.15	0.09	0.04	0.14	0.12	bdl	bdl	bdl	0.07	bdl	48.38	15.23	34.30	99.69	
43	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.18	bdl	bdl	bdl	bdl	0.18	bdl	bdl	bdl	0.12	bdl	49.10	15.21	34.64	100.45	
44	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.97	0.43	0.22	0.12	0.17	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.16	48.35	15.12	34.98	100.71	
<b>ср.</b>					<b>0.06</b>					<b>1.08</b>	<b>0.33</b>	<b>0.14</b>	<b>0.12</b>	<b>0.17</b>	<b>0.13</b>	<b>0.07</b>	<b>0.12</b>	<b>0.10</b>	<b>0.14</b>	<b>0.17</b>	<b>48.61</b>	<b>15.21</b>	<b>34.81</b>		
<b>min</b>					<b>0.04</b>					<b>0.84</b>	<b>0.06</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.07</b>	<b>0.06</b>	<b>0.06</b>	<b>0.09</b>	<b>0.07</b>	<b>0.06</b>	<b>46.30</b>	<b>14.71</b>	<b>33.08</b>		
<b>max</b>					<b>0.08</b>					<b>1.57</b>	<b>1.26</b>	<b>0.52</b>	<b>0.31</b>	<b>0.67</b>	<b>0.18</b>	<b>0.09</b>	<b>0.21</b>	<b>0.11</b>	<b>0.23</b>	<b>0.40</b>	<b>49.32</b>	<b>15.45</b>	<b>36.06</b>		
<b>1252-4 (циркон, 1-я группа, темная кайма)</b>																									
45	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.48	0.17	0.07	bdl	0.10	bdl	bdl	bdl	bdl	0.15	bdl	48.65	15.18	35.37	101.17	

<b>46</b>	bdl	bdl	bdl	0.18	0.12	bdl	bdl	0.04	0.02	1.08	0.88	0.13	0.32	0.27	0.18	bdl	bdl	bdl	0.11	0.24	45.79	14.96	34.12	98.64
<b>47</b>	bdl	0.03	bdl	0.10	0.04	bdl	0.08	0.02	0.03	0.89	0.10	0.10	bdl	0.08	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.15	14.08	34.39	98.03
<b>48</b>	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.08	0.41	0.08	0.15	0.31	bdl	bdl	bdl	bdl	0.17	0.11	47.72	15.15	35.10	100.26
<b>ср.</b>				<b>0.14</b>	<b>0.08</b>			<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	<b>1.13</b>	<b>0.39</b>	<b>0.09</b>	<b>0.24</b>	<b>0.19</b>					<b>0.14</b>	<b>0.17</b>	<b>47.57</b>	<b>14.84</b>	<b>34.74</b>	
<b>min</b>				<b>0.10</b>	<b>0.04</b>			<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	<b>0.89</b>	<b>0.10</b>	<b>0.07</b>	<b>0.15</b>	<b>0.08</b>					<b>0.11</b>	<b>0.11</b>	<b>45.79</b>	<b>14.08</b>	<b>34.12</b>	
<b>max</b>				<b>0.18</b>	<b>0.12</b>			<b>0.04</b>	<b>0.03</b>	<b>1.48</b>	<b>0.88</b>	<b>0.13</b>	<b>0.32</b>	<b>0.31</b>					<b>0.17</b>	<b>0.24</b>	<b>48.65</b>	<b>15.18</b>	<b>35.37</b>	

## 1252-4 (участки с нарушенной зональностью)

<b>49</b>	bdl	bdl	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.01	0.28	0.19	0.04	0.19	bdl	bdl	bdl	bdl	0.06	0.15	47.54	15.07	33.88	98.58	
<b>50</b>	0.23	bdl	0.03	2.56	0.55	0.07	bdl	0.92	0.24	1.01	2.25	0.30	1.00	0.22	0.45	bdl	0.45	0.27	0.31	0.45	38.58	11.36	32.93	95.08	
<b>51</b>	bdl	bdl	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.97	0.19	0.07	0.07	0.18	0.10	bdl	bdl	bdl	0.10	bdl	48.42	15.15	34.62	99.86	
<b>52</b>	bdl	bdl	bdl	0.37	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.09	bdl	0.13	bdl	bdl	0.16	bdl	0.08	bdl	0.09	bdl	48.97	15.20	34.70	100.75	
<b>53</b>	bdl	bdl	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.01	0.07	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	0.10	bdl	0.10	0.06	48.75	15.18	34.45	99.67	
<b>54</b>	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.88	0.38	0.22	0.05	0.10	bdl	bdl	bdl	0.06	0.11	0.09	48.34	15.11	34.89	100.14	
<b>55</b>	bdl	bdl	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.17	bdl	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.13	bdl	49.08	15.39	34.15	100.00	
<b>56</b>	0.19	0.02	0.04	1.62	1.11	0.08	bdl	0.60	0.16	0.83	1.31	0.24	0.98	0.27	0.33	bdl	0.07	0.19	0.18	0.27	40.90	12.41	34.87	97.44	
<b>57</b>	0.16	bdl	0.03	1.49	0.78	0.06	bdl	0.49	0.14	0.84	1.17	0.22	0.95	0.24	0.31	bdl	0.16	bdl	0.35	0.26	41.30	12.93	34.28	96.77	
<b>ср.</b>	<b>0.19</b>		<b>0.03</b>	<b>0.77</b>	<b>0.81</b>	<b>0.07</b>		<b>0.67</b>	<b>0.18</b>	<b>0.98</b>	<b>0.81</b>	<b>0.18</b>	<b>0.45</b>	<b>0.20</b>	<b>0.27</b>			<b>0.17</b>	<b>0.17</b>	<b>0.16</b>	<b>0.21</b>	<b>45.76</b>	<b>14.20</b>	<b>34.31</b>	
<b>min</b>	<b>0.16</b>		<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	<b>0.55</b>	<b>0.06</b>		<b>0.49</b>	<b>0.14</b>	<b>0.83</b>	<b>0.07</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.10</b>	<b>0.10</b>			<b>0.07</b>	<b>0.06</b>	<b>0.06</b>	<b>0.06</b>	<b>38.58</b>	<b>11.36</b>	<b>32.93</b>	
<b>max</b>	<b>0.23</b>		<b>0.04</b>	<b>2.56</b>	<b>1.11</b>	<b>0.08</b>		<b>0.92</b>	<b>0.24</b>	<b>1.17</b>	<b>2.25</b>	<b>0.30</b>	<b>1.00</b>	<b>0.27</b>	<b>0.45</b>			<b>0.45</b>	<b>0.27</b>	<b>0.35</b>	<b>0.45</b>	<b>49.08</b>	<b>15.39</b>	<b>34.89</b>	

## 1252-5 (ростовая зональность)

<b>10</b>	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.37	bdl	bdl	bdl	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.38	15.08	34.67	99.52
<b>11</b>	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.31	bdl	bdl	0.04	0.07	bdl	bdl	0.09	bdl	bdl	bdl	47.29	15.55	35.03	99.37
<b>12</b>	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.81	0.77	0.08	0.32	0.16	bdl	bdl	bdl	bdl	0.07	0.25	46.21	15.32	35.14	99.39
<b>13</b>	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.95	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.10	bdl	bdl	bdl	47.85	15.45	35.44	99.79
<b>14</b>	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.10	0.26	0.04	0.35	0.30	0.07	bdl	bdl	bdl	0.19	0.12	46.47	15.38	35.60	100.00
<b>15</b>	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.23	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.05	47.66	15.29	35.01	99.11
<b>16</b>	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.93	0.07	bdl	0.07	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	0.05	0.06	47.86	15.45	35.07	99.78
<b>17</b>	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.66	0.22	bdl	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.10	0.05	48.11	15.32	34.99	99.59
<b>18</b>	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.27	bdl	bdl	0.21	0.19	0.14	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	47.74	15.19	35.00	99.70
<b>19</b>	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.33	bdl	bdl	bdl	0.06	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	47.41	15.23	35.91	99.91
<b>20</b>	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.11	bdl	bdl	bdl	bdl	0.03	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	47.70	15.45	34.66	99.01

21	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.44	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.15	bdl	bdl	bdl	48.13	15.22	34.74	99.58
22	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.86	0.10	0.04	bdl	bdl	0.07	bdl	0.14	bdl	bdl	bdl	47.99	15.23	34.91	99.64
23	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.35	bdl	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	47.86	15.21	35.08	99.58
24	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.41	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	47.25	15.52	35.20	99.26
25	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.20	0.18	0.04	0.10	0.14	0.05	bdl	bdl	bdl	bdl	0.06	46.77	15.47	35.55	99.64
26	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.28	bdl	bdl	bdl	0.13	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	47.52	15.36	35.63	99.81
ср.			<b>0.02</b>							<b>1.15</b>	<b>0.27</b>	<b>0.05</b>	<b>0.15</b>	<b>0.13</b>	<b>0.07</b>		<b>0.12</b>		<b>0.10</b>	<b>0.10</b>	<b>47.54</b>	<b>15.34</b>	<b>35.16</b>	
min			<b>0.02</b>							<b>0.66</b>	<b>0.07</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.06</b>	<b>0.03</b>		<b>0.09</b>		<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>46.21</b>	<b>15.08</b>	<b>34.66</b>	
max			<b>0.02</b>							<b>1.44</b>	<b>0.77</b>	<b>0.08</b>	<b>0.35</b>	<b>0.30</b>	<b>0.14</b>		<b>0.15</b>		<b>0.19</b>	<b>0.25</b>	<b>48.38</b>	<b>15.55</b>	<b>35.91</b>	

## 1252-5 (темная кайма)

1	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.02	1.22	bdl	bdl	bdl	0.05	bdl	bdl	bdl	0.05	0.10	0.03	48.06	15.04	35.40	99.80
2	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.62	bdl	bdl	0.05	0.21	bdl	bdl	bdl	0.05	bdl	bdl	48.03	15.18	35.00	100.15
3	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.02	1.40	bdl	bdl	0.05	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	47.71	15.34	35.16	99.55
4	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.38	0.04	bdl	bdl	0.20	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	46.93	15.25	36.36	100.16
5	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.52	0.03	bdl	bdl	0.43	0.11	bdl	bdl	bdl	0.09	0.03	47.80	15.15	35.54	100.78
6	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.49	bdl	bdl	bdl	0.22	bdl	bdl	0.09	0.09	bdl	bdl	46.94	15.40	34.96	99.17
7	bdl	bdl	bdl	bdl	0.06	bdl	bdl	bdl	0.02	1.61	bdl	bdl	bdl	0.24	bdl	bdl	0.06	bdl	bdl	bdl	47.42	15.27	36.43	101.03
8	bdl	bdl	bdl	bdl	0.08	bdl	bdl	bdl	0.02	1.36	bdl	bdl	bdl	0.17	0.09	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.35	15.01	36.13	102.20
9	bdl	bdl	0.02	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1.46	bdl	bdl	bdl	0.17	0.11	0.05	0.09	bdl	0.13	bdl	47.30	15.54	35.41	100.26
ср.			<b>0.02</b>		<b>0.07</b>				<b>0.02</b>	<b>1.45</b>	<b>0.03</b>		<b>0.05</b>	<b>0.20</b>	<b>0.10</b>	<b>0.05</b>	<b>0.08</b>	<b>0.06</b>	<b>0.11</b>	<b>0.03</b>	<b>47.73</b>	<b>15.24</b>	<b>35.60</b>	
min			<b>0.02</b>		<b>0.06</b>				<b>0.02</b>	<b>1.22</b>	<b>0.03</b>		<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.09</b>	<b>0.05</b>	<b>0.06</b>	<b>0.05</b>	<b>0.09</b>	<b>0.03</b>	<b>46.93</b>	<b>15.01</b>	<b>34.96</b>	
max			<b>0.02</b>		<b>0.08</b>				<b>0.02</b>	<b>1.62</b>	<b>0.04</b>		<b>0.05</b>	<b>0.43</b>	<b>0.11</b>	<b>0.05</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.13</b>	<b>0.03</b>	<b>49.35</b>	<b>15.54</b>	<b>36.43</b>	

## 1252-8 (ростовая зональность)

1	bdl	1.31	bdl	bdl	0.09	0.10	bdl	0.06	bdl	0.11	bdl	bdl	48.53	15.47	35.86	101.62								
2	bdl	1.08	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.04	bdl	bdl	bdl	bdl	48.97	15.55	35.47	101.37								
3	bdl	1.50	bdl	bdl	bdl	0.13	bdl	bdl	bdl	bdl	0.07	bdl	48.27	15.45	35.20	100.78								
4	bdl	0.79	0.05	0.04	bdl	bdl	bdl	0.07	0.07	bdl	bdl	bdl	49.15	15.41	35.65	101.34								
5	bdl	1.50	bdl	bdl	0.03	0.07	bdl	bdl	0.08	bdl	bdl	bdl	48.35	15.71	33.64	99.48								
6	bdl	1.48	bdl	bdl	bdl	0.12	bdl	0.11	bdl	0.08	0.16	bdl	48.20	15.58	33.55	99.42								
7	bdl	1.15	bdl	bdl	0.06	0.07	bdl	bdl	bdl	bdl	0.14	bdl	49.05	15.54	35.41	101.53								
8	bdl	1.03	bdl	0.03	0.04	0.08	bdl	0.04	0.11	bdl	bdl	bdl	49.03	15.37	35.05	100.99								

9	bdl	0.95	0.07	0.04	0.08	0.11	bdl	bdl	0.07	bdl	bdl	bdl	48.94	15.27	35.09	100.85								
10	bdl	1.24	bdl	bdl	bdl	bdl	0.05	bdl	bdl	0.07	bdl	bdl	49.19	15.32	34.98	101.02								
11	bdl	1.45	0.03	bdl	bdl	0.21	bdl	0.06	0.06	bdl	0.10	0.07	48.25	15.28	35.25	100.89								
12	bdl	1.32	bdl	bdl	0.05	0.05	bdl	bdl	0.18	bdl	bdl	bdl	48.57	15.45	34.46	100.31								
13	bdl	0.98	0.66	0.25	0.30	0.20	0.08	0.04	bdl	0.08	0.32	0.17	47.67	14.96	34.72	100.59								
14	bdl	1.55	bdl	0.05	bdl	48.69	15.40	34.44	100.30															
15	bdl	1.31	bdl	0.13	bdl	48.89	15.43	34.91	100.89															
16	bdl	1.19	bdl	48.93	15.42	34.91	100.65																	
17	bdl	1.19	0.17	0.05	0.07	bdl	0.05	0.06	bdl	0.08	0.06	bdl	48.57	15.26	35.13	100.95								
18	bdl	0.92	0.10	0.05	0.07	0.05	bdl	0.07	bdl	bdl	bdl	0.07	48.79	15.39	34.77	100.42								
19	bdl	1.55	bdl	bdl	bdl	bdl	0.08	bdl	0.07	bdl	bdl	bdl	48.37	15.36	34.81	100.38								
20	bdl	1.18	bdl	bdl	bdl	bdl	0.09	0.05	0.11	bdl	bdl	bdl	48.92	15.48	34.75	100.69								
21	bdl	1.01	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.08	0.11	0.16	bdl	49.10	15.40	34.96	100.99								
22	bdl	0.96	bdl	49.13	15.37	35.25	100.88																	
23	bdl	1.47	bdl	bdl	bdl	0.13	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.58	15.43	34.49	100.22								
24	bdl	1.32	bdl	0.08	bdl	48.64	15.45	34.95	100.66															
25	bdl	1.58	bdl	bdl	0.03	0.28	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.38	15.37	34.99	100.89								
26	bdl	0.78	0.31	0.04	0.49	0.18	bdl	bdl	0.14	bdl	0.15	0.06	48.14	15.26	35.12	100.85								
27	bdl	0.79	0.07	0.05	0.03	0.08	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.05	47.61	15.84	35.56	100.47								
28	bdl	1.42	bdl	0.10	bdl	48.80	15.34	35.23	101.08															
<b>cp.</b>										<b>1.21</b>	<b>0.18</b>	<b>0.07</b>	<b>0.11</b>	<b>0.12</b>	<b>0.07</b>	<b>0.06</b>	<b>0.10</b>	<b>0.09</b>	<b>0.13</b>	<b>0.08</b>	<b>48.63</b>	<b>15.41</b>	<b>34.95</b>	
<b>min</b>										<b>0.78</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.04</b>	<b>0.06</b>	<b>0.07</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>47.61</b>	<b>14.96</b>	<b>33.55</b>	
<b>max</b>										<b>1.58</b>	<b>0.66</b>	<b>0.25</b>	<b>0.49</b>	<b>0.28</b>	<b>0.09</b>	<b>0.11</b>	<b>0.18</b>	<b>0.11</b>	<b>0.32</b>	<b>0.17</b>	<b>49.19</b>	<b>15.84</b>	<b>35.86</b>	

## 1252-8 (кайма)

29	bdl	1.52	bdl	bdl	bdl	0.13	bdl	0.06	0.06	bdl	bdl	bdl	48.22	15.19	36.00	101.27								
30	bdl	1.56	bdl	bdl	bdl	0.16	bdl	bdl	bdl	bdl	0.14	bdl	48.46	15.17	33.70	99.47								
31	bdl	1.45	bdl	0.04	bdl	0.25	0.09	bdl	bdl	bdl	0.16	bdl	48.58	15.47	34.05	100.26								
32	bdl	1.46	bdl	0.03	bdl	0.16	bdl	bdl	0.09	bdl	bdl	bdl	48.81	15.45	34.19	100.39								
33	bdl	1.21	bdl	bdl	0.08	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	48.50	15.69	33.53	99.26								
34	bdl	0.96	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	49.13	15.37	35.25	100.88								
35	bdl	1.37	bdl	0.03	bdl	0.15	bdl	bdl	bdl	bdl	0.13	bdl	48.54	15.38	34.82	100.61								

<b>36</b>	bdl	1.59	bdl	bdl	bdl	0.24	0.06	bdl	bdl	bdl	0.17	bdl	48.50	15.24	35.18	101.13								
<b>37</b>	bdl	1.22	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	0.09	bdl	bdl	0.04	48.83	15.35	34.74	100.53								
<b>cp.</b>										<b>1.37</b>		<b>0.03</b>		<b>0.18</b>	<b>0.08</b>			<b>0.08</b>		<b>0.15</b>		<b>48.62</b>	<b>15.37</b>	<b>34.61</b>
<b>min</b>										<b>0.96</b>		<b>0.03</b>		<b>0.13</b>	<b>0.06</b>			<b>0.06</b>		<b>0.13</b>		<b>48.22</b>	<b>15.17</b>	<b>33.53</b>
<b>max</b>										<b>1.59</b>		<b>0.04</b>		<b>0.25</b>	<b>0.09</b>			<b>0.09</b>		<b>0.17</b>		<b>49.13</b>	<b>15.69</b>	<b>36.00</b>

**Приложение 11. Результаты U-Pb изотопных исследований циркона гранитоидов Матутского массива методом LA-ICP-MS (образец КТ-1252-4)**

№ точки	206Pb, г/г	U, г/г	Th/U	Изотопные отношения									Возраст, млн лет						% conc		
				207Pb/ 206Pb	1s%	207Pb/ 235U	1s%	206Pb/ 238U	1s%	Rho	208Pb/ 232Th	1s%	207Pb/ 206Pb	2s	206Pb/ 238U	2s	207Pb/ 235U	2s		208Pb/ 232Th	2s
1	82	1182	0.70	0.05675	2.1	0.6072	1.6	0.07771	1.4	0.88	0.02243	1.52	481	91	483	13	482	12	448	13	100
2	197	2820	0.49	0.05705	2.0	0.61384	1.5	0.07815	1.4	0.93	0.02334	1.46	493	87	485	13	486	12	466	14	98
3	107	1608	0.34	0.05765	2.0	0.59267	1.5	0.07466	1.4	0.90	0.02273	1.54	516	89	464	12	473	12	454	14	90
4	55	733	1.47	0.05818	2.1	0.67425	1.6	0.08417	1.4	0.86	0.02453	1.47	536	92	521	14	523	13	490	14	97
5	280	4004	0.54	0.05628	2.0	0.60781	1.5	0.07843	1.4	0.92	0.02159	1.48	463	88	487	13	482	12	432	13	105
6*	40	554	0.29	0.06386	2.1	0.7195	1.7	0.08183	1.4	0.84	0.02995	1.70	737	90	507	14	550	14	596	20	69
7	60	819	0.55	0.05933	2.1	0.67579	1.7	0.08273	1.4	0.84	0.0227	1.63	579	92	512	14	524	14	454	14	88
8*	131	1369	0.32	0.06359	2.0	0.93726	1.5	0.10705	1.4	0.92	0.03455	1.53	728	84	656	17	671	15	687	21	90
9	24	353	0.39	0.05732	2.3	0.61123	1.9	0.07745	1.4	0.75	0.02171	1.89	503	102	481	13	484	15	434	16	96
10	121	1643	0.40	0.05886	2.0	0.67133	1.5	0.08284	1.4	0.90	0.02362	1.57	562	88	513	14	522	13	472	15	91
11	50	735	0.85	0.05663	2.2	0.60126	1.7	0.07711	1.4	0.81	0.021	1.62	477	97	479	13	478	13	420	13	100
12	156	2214	0.26	0.05713	2.0	0.62109	1.5	0.07896	1.4	0.91	0.02301	1.56	496	88	490	13	491	12	460	14	99
13	77	1031	1.04	0.05802	2.1	0.66808	1.6	0.08363	1.4	0.87	0.02305	1.56	530	91	518	14	520	13	461	14	98
14	113	1653	0.33	0.05751	2.1	0.61271	1.6	0.07739	1.4	0.87	0.02143	1.63	511	91	481	13	485	12	429	14	94
15	82	1211	0.34	0.05864	2.1	0.61413	1.6	0.07607	1.4	0.88	0.02205	1.63	554	89	473	13	486	12	441	14	85
16	61	887	0.60	0.05698	2.2	0.61149	1.7	0.07794	1.4	0.82	0.02201	1.68	490	95	484	13	485	13	440	15	99
17	103	1395	0.51	0.05872	2.1	0.67149	1.6	0.08305	1.4	0.89	0.02355	1.61	557	88	514	14	522	13	470	15	92
18	161	2292	0.41	0.05667	2.0	0.61504	1.5	0.07883	1.4	0.90	0.0221	1.63	478	90	489	13	487	12	442	14	102
19	44	637	0.10	0.05672	2.2	0.60419	1.7	0.07737	1.4	0.84	0.02428	2.14	480	94	480	13	480	13	485	21	100
20	74	1060	0.25	0.0568	2.1	0.61059	1.6	0.07808	1.4	0.85	0.02371	1.77	483	93	485	13	484	12	474	17	100
21	10	143	0.62	0.05906	2.7	0.64207	2.3	0.07896	1.5	0.64	0.02314	2.07	569	116	490	14	504	18	463	19	86
22*	96	1380	0.22	0.06079	2.1	0.65399	1.6	0.07813	1.4	0.86	0.02156	1.81	632	89	485	13	511	13	431	15	77
23	71	1028	0.28	0.05737	2.1	0.61315	1.6	0.07762	1.4	0.85	0.0226	1.81	506	93	482	13	486	13	452	16	95
24	68	998	0.41	0.05655	2.2	0.59489	1.7	0.0764	1.4	0.81	0.02044	1.81	473	97	475	13	474	13	409	15	100
25	1107	16081	0.33	0.05736	2.0	0.61257	1.5	0.07757	1.4	0.91	0.02302	1.65	505	89	482	13	485	12	460	15	95

26	9	134	0.69	0.05666	2.8	0.61479	2.4	0.07882	1.5	0.62	0.02331	2.10	477	121	489	14	487	18	466	19	102
27	120	1611	0.76	0.05835	2.1	0.67643	1.6	0.0842	1.4	0.87	0.02444	1.72	543	90	521	14	525	13	488	17	96
28	94	1255	0.82	0.05776	2.1	0.67361	1.6	0.08471	1.4	0.86	0.02424	1.73	520	92	524	14	523	13	484	17	101
29	101	1402	0.55	0.05756	2.1	0.64536	1.6	0.08144	1.4	0.86	0.02353	1.78	513	92	505	13	506	13	470	16	98

Примечание. Погрешности возрастов приводятся на уровне  $2\sigma$ .  $\rho$  – коэффициент корреляции ошибок отношений  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  и  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ,  $D$  – дискордантность. \* - номера точек, результаты которых не использованы при расчете средневзвешенного возраста.

**Приложение 12. Результаты U-Pb изотопных исследований циркона гранитоидов Матутского массива методом LA-ICP-MS (образец КТ-1252-5)**

№ точки	206Pb, г/г	U, г/г	Th/U	Изотопные отношения									Возраст, млн лет						% conc		
				207Pb/ 206Pb	1s%	207Pb/ 235U	1s%	206Pb/ 238U	1s%	Rho	208Pb/ 232Th	1s%	207Pb/ 206Pb	2s	206Pb/ 238U	2s	207Pb/ 235U	2s		208Pb/ 232Th	2s
1	112	1528	0.35	0.05976	2.0	0.67566	1.9	0.08213	1.8	0.97	0.02242	1.69	595	85	509	18	524	15	448	15	86
2*	156	2292	0.10	0.05768	2.0	0.61184	1.9	0.07705	1.8	0.97	0.01977	1.82	517	86	479	17	485	14	396	14	92
3	117	1573	0.60	0.05798	2.0	0.66904	1.9	0.08381	1.8	0.94	0.02584	1.70	529	89	519	18	520	16	516	17	98
4	91	1223	0.63	0.05823	2.0	0.67145	1.9	0.08375	1.8	0.97	0.02615	1.68	538	87	519	18	522	15	522	17	96
5	77	1034	0.72	0.05854	2.0	0.67472	1.9	0.08371	1.8	0.94	0.02693	1.67	550	87	518	18	524	16	537	18	94
6	69	955	0.52	0.05806	2.0	0.64517	1.9	0.08071	1.8	0.95	0.02573	1.71	532	87	500	17	506	15	514	17	94
7	94	1264	0.65	0.05882	2.0	0.67015	1.9	0.08276	1.8	0.96	0.0256	1.68	560	85	513	18	521	15	511	17	91
8	67	909	0.63	0.05761	2.0	0.65646	1.9	0.08277	1.8	0.95	0.0259	1.70	515	87	513	18	512	15	517	17	100
9	57	769	0.57	0.05787	2.0	0.65704	1.9	0.08246	1.8	0.95	0.02591	1.70	525	87	511	18	513	15	517	17	97
10	130	1769	0.42	0.05824	2.0	0.66135	1.9	0.08248	1.8	0.97	0.02403	1.71	538	87	511	18	515	15	480	16	95
11	74	980	0.68	0.0586	2.0	0.67801	1.9	0.08404	1.8	0.95	0.02642	1.70	552	86	520	18	526	16	527	18	94
12	74	978	0.47	0.05768	2.0	0.66878	1.9	0.08422	1.8	0.96	0.02569	1.71	517	87	521	18	520	15	513	17	101
13	51	690	0.58	0.0584	2.0	0.67003	1.9	0.08333	1.8	0.94	0.02699	1.74	545	87	516	18	521	16	538	18	95
14	35	462	1.07	0.05945	2.1	0.6827	1.9	0.08341	1.8	0.93	0.02522	1.74	584	88	516	18	528	16	503	17	88
15	78	1042	0.56	0.05781	2.0	0.6678	1.9	0.08391	1.8	0.95	0.02646	1.74	522	87	519	18	519	15	528	18	99
16	58	773	0.73	0.05777	2.0	0.66713	1.9	0.08388	1.8	0.95	0.02639	1.74	521	88	519	18	519	16	527	18	100
17	221	3021	0.23	0.05851	2.0	0.6582	1.9	0.0817	1.8	0.97	0.02727	1.72	549	85	506	18	514	15	544	19	92
18	97	1288	0.97	0.05776	2.0	0.66889	1.9	0.08411	1.8	0.96	0.02612	1.72	520	87	521	18	520	15	521	18	100
19	51	673	0.55	0.05762	2.0	0.66481	1.9	0.0838	1.8	0.94	0.02562	1.76	515	89	519	18	518	16	511	18	101
20	70	921	1.16	0.05778	2.0	0.67072	1.9	0.08431	1.8	0.95	0.02528	1.74	521	87	522	18	521	15	505	17	100
21	99	1319	0.63	0.05865	2.0	0.67304	1.9	0.08336	1.8	0.96	0.02494	1.76	554	86	516	18	523	15	498	17	93
22	113	1522	0.51	0.05956	2.0	0.68024	1.9	0.08296	1.8	0.96	0.0272	1.76	588	86	514	18	527	16	543	19	87
23	123	1658	0.59	0.06135	2.0	0.69587	1.9	0.08238	1.8	0.96	0.02284	1.75	652	84	510	18	536	16	456	16	78
24	66	888	1.68	0.05885	2.0	0.66688	1.9	0.08231	1.8	0.94	0.02569	1.79	562	87	510	18	519	16	513	18	91
25*	133	2315	4.67	0.17438	2.0	1.53103	1.9	0.06377	1.8	0.97	0.00604	1.82	2600	65	399	14	943	23	122	4	15

26*	154	2005	5.62	0.23546	2.0	2.76237	1.9	0.08521	1.8	0.97	0.00981	1.83	3090	62	527	18	1345	28	197	7	17
27	65	857	0.47	0.05803	2.1	0.66873	1.9	0.08371	1.8	0.93	0.02796	1.86	530	90	518	18	520	16	557	20	98
28	36	477	0.27	0.06068	2.1	0.69887	2.0	0.08365	1.8	0.91	0.02693	1.97	628	89	518	18	538	17	537	21	82
29	41	545	0.70	0.0576	2.1	0.66326	2.0	0.08364	1.8	0.92	0.0256	1.88	514	91	518	18	517	16	511	19	101
30	87	1152	0.58	0.05786	2.0	0.66993	1.9	0.0841	1.8	0.94	0.02655	1.85	524	88	521	18	521	16	530	19	99
31*	64	863	3.69	0.07163	2.0	0.81155	1.9	0.08229	1.8	0.94	0.00596	1.85	975	81	510	18	603	17	120	4	52
32	55	739	0.59	0.05768	2.0	0.65378	1.9	0.08233	1.8	0.93	0.02628	1.86	517	89	510	18	511	16	524	19	99
33	27	369	0.80	0.05759	2.1	0.65354	2.0	0.08243	1.8	0.90	0.0259	1.89	514	92	511	18	511	16	517	19	99
34	106	1423	0.57	0.05754	2.0	0.65387	1.9	0.08254	1.8	0.94	0.0266	1.88	512	89	511	18	511	15	531	20	100
35	58	772	0.78	0.05791	2.1	0.66553	2.0	0.08347	1.8	0.93	0.02612	1.88	526	89	517	18	518	16	521	19	98
36	71	954	0.64	0.05823	2.0	0.65954	1.9	0.08227	1.8	0.93	0.02624	1.91	538	89	510	18	514	16	524	20	95
37	82	1096	0.69	0.05794	2.0	0.65803	1.9	0.08249	1.8	0.94	0.0259	1.89	527	89	511	18	513	16	517	19	97
38	21	273	1.07	0.05909	2.2	0.67534	2.1	0.08301	1.8	0.88	0.02697	1.93	570	93	514	18	524	17	538	21	90
39	104	1368	0.78	0.05808	2.0	0.67403	1.9	0.08429	1.8	0.94	0.02615	1.91	532	89	522	18	523	16	522	20	98
40	56	748	0.66	0.05825	2.1	0.66829	2.0	0.08333	1.8	0.92	0.02429	1.93	539	90	516	18	520	16	485	19	96

Примечание. Погрешности возрастов приводятся на уровне  $2\sigma$ .  $\rho$  – коэффициент корреляции ошибок отношений  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  и  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , D – дискордантность. \* - номера точек, результаты которых не использованы при расчете средневзвешенного возраста.

**Приложение 13. Результаты U-Pb изотопных исследований циркона гранитоидов Матутского массива методом LA-ICP-MS (образец КТ-1252-8)**

№ точки	206Pb, г/т	U, г/т	Th/U	Изотопные отношения									Возраст, млн лет						% conc		
				207Pb/ 206Pb	1s%	207Pb/ 235U	1s%	206Pb/ 238U	1s%	Rho	208Pb/ 232Th	1s%	207Pb/ 206Pb	2s	206Pb/ 238U	2s	207Pb/ 235U	2s		208Pb/ 232Th	2s
1	148	2023	0.73	0.05914	2.0	0.68641	2.0	0.08431	1.9	0.96	0.02419	1.69	572	86	522	19	531	16	483	16	91
2*	95	1279	0.88	0.06059	2.0	0.71636	2.0	0.08587	1.9	0.95	0.02311	1.69	625	86	531	19	549	17	462	16	85
3	120	1653	0.66	0.05783	2.0	0.66559	2.0	0.0836	1.9	0.95	0.02336	1.71	523	88	518	19	518	16	467	16	99
4	138	1915	0.79	0.06089	2.0	0.69355	2.0	0.08272	1.9	0.94	0.02254	1.73	636	87	512	19	535	17	451	15	81
5	90	1250	0.70	0.05801	2.0	0.66108	2.0	0.08277	1.9	0.94	0.02356	1.70	530	88	513	19	515	16	471	16	97
6	86	1194	1.58	0.0581	2.1	0.66618	2.1	0.08328	1.9	0.92	0.02134	1.69	533	92	516	19	518	17	427	14	97
7	108	1495	0.70	0.05851	2.1	0.67223	2.0	0.08345	1.9	0.94	0.02409	1.70	549	89	517	19	522	17	481	16	94
8	107	1481	1.01	0.05881	2.1	0.67393	2.0	0.08324	1.9	0.93	0.02423	1.69	560	89	515	19	523	17	484	16	92
9	87	1219	0.85	0.05854	2.1	0.6636	2.0	0.08234	1.9	0.93	0.02273	1.72	550	89	510	19	517	16	454	15	93
10	155	2128	0.66	0.058	2.0	0.66911	2.0	0.08379	1.9	0.94	0.02463	1.71	529	89	519	19	520	16	492	16	98
11	112	1569	0.63	0.05787	2.0	0.65605	2.0	0.08234	1.9	0.95	0.02319	1.68	525	88	510	18	512	16	463	15	97
12	151	2091	0.49	0.05798	2.0	0.66566	2.0	0.08339	1.9	0.94	0.02416	1.70	529	88	516	19	518	16	483	16	98
13	110	1511	0.85	0.05837	2.1	0.6696	2.0	0.08333	1.9	0.93	0.02305	1.69	544	89	516	19	521	16	461	15	95
14	27	365	0.75	0.05818	2.3	0.66827	2.3	0.08343	1.9	0.84	0.02306	1.82	536	101	517	19	520	18	461	17	96
15	56	798	1.08	0.05936	2.1	0.66543	2.0	0.08141	1.9	0.93	0.02272	1.72	581	89	505	18	518	16	454	15	87
16	69	958	0.69	0.05808	2.1	0.66462	2.0	0.08312	1.9	0.93	0.02373	1.73	532	90	515	19	517	16	474	16	97
17*	105	1365	0.88	0.06715	2.0	0.81907	2.0	0.0886	1.9	0.95	0.02643	1.70	842	83	547	20	608	18	527	18	65
18	56	800	0.68	0.05755	2.1	0.64209	2.0	0.08104	1.9	0.92	0.02148	1.72	512	91	502	18	504	16	430	15	98
19	75	1048	0.91	0.05844	2.1	0.66518	2.0	0.08267	1.9	0.93	0.02243	1.69	546	89	512	18	518	16	448	15	94
20	71	1006	0.80	0.0581	2.1	0.64551	2.0	0.0807	1.9	0.93	0.02163	1.71	533	91	500	18	506	16	433	15	94
21	75	1052	0.87	0.05773	2.1	0.65377	2.0	0.08225	1.9	0.92	0.02262	1.72	519	91	510	18	511	16	452	16	98
22	139	1902	0.99	0.05794	2.1	0.66812	2.0	0.08375	1.9	0.93	0.02285	1.71	527	90	519	19	520	16	457	16	98
23	71	997	0.61	0.05734	2.1	0.64271	2.0	0.08141	1.9	0.92	0.02188	1.74	504	91	505	18	504	16	438	15	100
24	77	1064	0.86	0.05767	2.1	0.65968	2.0	0.08309	1.9	0.92	0.02364	1.73	517	91	515	18	514	16	472	16	100
25	134	1824	0.72	0.05813	2.0	0.67431	2.0	0.08425	1.9	0.94	0.02268	1.72	534	90	521	19	523	16	453	16	98

26	74	1024	0.77	0.05784	2.1	0.66017	2.0	0.0829	1.9	0.92	0.02195	1.78	523	91	513	18	515	16	439	15	98
27	88	1242	1.41	0.05801	2.1	0.64735	2.0	0.08106	1.9	0.93	0.02148	1.72	530	90	502	18	507	16	430	15	95
28	78	1096	0.60	0.05747	2.1	0.64519	2.0	0.08155	1.9	0.92	0.02237	1.79	509	91	505	18	506	16	447	16	99
29	81	1122	0.81	0.0581	2.1	0.66004	2.0	0.08252	1.9	0.92	0.0217	1.75	533	91	511	18	515	16	434	15	96

Примечание. Погрешности возрастов приводятся на уровне  $2\sigma$ .  $\rho$  – коэффициент корреляции ошибок отношений  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  и  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ,  $D$  – дискордантность.

**Приложение 14. Результаты U-Pb изотопных исследований циркона гранитоидов Матутского массива методом LA-ICP-MS (образец КТ-1201)**

№ точки	206Pb, г/г	U, г/г	Th/U	Изотопные отношения									Возраст, млн лет						% conc		
				207Pb/ 206Pb	1s%	207Pb/ 235U	1s%	206Pb/ 238U	1s%	Rho	208Pb/ 232Th	1s%	207Pb/ 206Pb	2s	206Pb/ 238U	2s	207Pb/ 235U	2s		208Pb/ 232Th	2s
1	7	78	0.65	0.05868	3.1	0.61183	3.6	0.07796	1.4	0.39	0.02477	1.94	555	132	484	13	485	28	495	19	87
2	14	160	0.34	0.05687	2.4	0.61014	2.6	0.07771	1.3	0.51	0.02539	1.85	486	104	482	12	484	20	507	19	99
3	25	283	0.55	0.05636	1.9	0.60883	1.9	0.07809	1.3	0.68	0.02522	1.43	466	85	485	12	483	15	504	14	104
4	12	139	0.36	0.0581	2.5	0.60766	2.7	0.07749	1.4	0.50	0.02759	1.85	533	108	481	13	482	21	550	20	90
5	6	63	0.66	0.05788	3.8	0.60931	4.4	0.07764	1.5	0.33	0.02401	2.25	525	164	482	14	483	34	480	21	92
6	9	98	0.36	0.05482	3.1	0.61215	3.6	0.07826	1.4	0.39	0.02358	2.50	405	135	486	13	485	28	471	23	120
7	9	104	0.49	0.05974	2.8	0.6107	3.2	0.0773	1.4	0.44	0.02405	2.04	594	120	480	13	484	25	480	19	81
8	10	113	0.40	0.05992	3.3	0.5838	4.0	0.0748	1.5	0.38	0.02468	2.51	601	141	465	13	467	30	493	25	77
9	10	112	0.51	0.05711	3.2	0.63304	3.9	0.08003	1.5	0.38	0.02483	2.26	495	139	496	14	498	31	496	22	100
10	14	164	0.43	0.0572	2.2	0.56396	2.3	0.07308	1.4	0.59	0.02343	1.71	499	95	455	12	454	17	468	16	91
11	17	194	0.62	0.05609	2.5	0.61115	2.9	0.078	1.4	0.48	0.02274	1.80	456	111	484	13	484	22	454	16	106
12	10	104	0.53	0.0601	3.0	0.66837	3.6	0.08392	1.5	0.41	0.02494	2.21	607	126	520	15	520	29	498	22	86
13	30	352	0.64	0.05664	2.0	0.60770	2.0	0.07743	1.3	0.66	0.02377	1.56	477	88	481	12	482	16	475	15	101
14	29	336	0.25	0.05466	2.1	0.60876	2.2	0.07784	1.3	0.62	0.02344	1.88	398	91	483	13	483	17	468	17	121
15	7	88	0.38	0.05629	3.9	0.58174	4.9	0.07452	1.6	0.33	0.02523	3.01	463	171	463	14	466	36	504	30	100
16*	3	31	0.53	0.0618	4.3	0.68339	5.2	0.07403	1.6	0.31	0.02566	2.88	667	178	460	14	529	43	512	29	69
17	9	100	0.34	0.05874	2.6	0.61217	3.0	0.07761	1.4	0.47	0.02362	2.29	557	112	482	13	485	23	472	21	86
18	6	76	0.57	0.05666	3.2	0.60842	3.9	0.07782	1.5	0.39	0.02438	2.26	478	142	483	14	483	30	487	22	101
19	6	72	0.39	0.05282	3.7	0.61392	4.6	0.07818	1.5	0.34	0.02364	2.96	321	166	485	15	486	35	472	28	151
20	11	130	0.52	0.05674	2.7	0.6008	3.1	0.0769	1.4	0.46	0.02428	2.10	481	117	478	13	478	24	485	20	99
21	10	119	0.36	0.05674	2.6	0.60657	2.9	0.07723	1.4	0.49	0.02229	2.24	481	111	480	13	481	22	446	20	100
22	13	150	0.42	0.05621	2.4	0.60721	2.7	0.07738	1.4	0.53	0.02452	2.00	460	105	480	13	482	21	490	19	104
23	15	185	0.69	0.05657	2.2	0.60333	2.4	0.07705	1.4	0.59	0.02388	1.84	474	96	479	13	479	18	477	17	101
24	12	139	0.32	0.05781	2.4	0.60753	2.7	0.07736	1.4	0.51	0.02614	1.99	522	105	480	13	482	21	522	21	92

25	13	150	0.53	0.05697	2.5	0.60953	2.9	0.07766	1.4	0.48	0.02481	1.81	490	112	482	13	483	22	495	18	98
26	8	91	0.36	0.05523	3.2	0.61542	3.9	0.07809	1.5	0.38	0.02417	2.61	421	140	485	14	487	30	483	25	115
27	10	118	0.39	0.05471	2.9	0.6143	3.5	0.07808	1.4	0.42	0.02375	2.32	400	127	485	14	486	27	474	22	121
28	7	78	0.84	0.05608	3.1	0.61428	3.7	0.0783	1.5	0.40	0.02436	1.85	455	135	486	14	486	28	487	18	107
29	11	124	0.40	0.05689	2.7	0.61223	3.1	0.07787	1.4	0.45	0.02517	2.11	487	118	483	13	485	24	503	21	99
30	8	91	0.66	0.05612	2.9	0.61372	3.4	0.07789	1.5	0.42	0.02424	1.90	457	127	484	14	486	26	484	18	106
31*	9	108	0.35	0.05881	2.6	0.6448	3.1	0.07379	1.4	0.47	0.02426	2.18	560	113	459	13	505	24	485	21	82
32	8	88	0.37	0.05717	3.1	0.61301	3.7	0.07802	1.5	0.40	0.02227	2.60	498	135	484	14	486	28	445	23	97
33	6	71	0.75	0.05972	3.6	0.61883	4.3	0.0779	1.6	0.36	0.02368	2.20	594	151	484	14	489	34	473	21	81
34	12	145	0.53	0.05736	2.4	0.58237	2.6	0.07472	1.4	0.53	0.02377	1.72	505	103	465	13	466	20	475	16	92
35	11	124	0.59	0.05823	2.7	0.61393	3.2	0.07799	1.4	0.45	0.02446	1.92	538	119	484	14	486	25	489	19	90
36	11	141	0.51	0.05503	2.3	0.56369	2.6	0.07297	1.4	0.54	0.02372	1.77	413	102	454	12	454	19	474	17	110
37	4	51	0.71	0.05968	4.3	0.61828	5.2	0.07774	1.7	0.32	0.02380	2.65	593	179	483	15	489	41	475	25	81
38	6	77	0.66	0.05452	3.0	0.59241	3.5	0.07564	1.5	0.42	0.02310	1.99	393	131	470	13	472	27	462	18	120
39*	6	71	0.40	0.06338	3.0	0.68131	3.7	0.07509	1.5	0.41	0.02117	2.65	721	127	467	14	528	30	424	22	65
40	15	170	0.28	0.05725	2.3	0.61415	2.5	0.07781	1.4	0.56	0.02529	1.98	501	98	483	13	486	19	505	20	96
41	6	77	0.41	0.05525	2.8	0.58531	3.2	0.07434	1.4	0.45	0.02419	2.15	422	119	462	13	468	24	483	21	110
42*	12	149	0.67	0.06228	2.3	0.65193	2.6	0.07436	1.4	0.54	0.02312	1.73	684	97	462	13	510	21	462	16	68
43	11	126	0.60	0.05619	2.3	0.61684	2.6	0.07777	1.4	0.54	0.02479	1.73	459	103	483	13	488	20	495	17	105
44	8	87	0.40	0.05801	3.0	0.61757	3.6	0.07822	1.5	0.41	0.02611	2.37	530	130	486	14	488	28	521	25	92
45	7	84	0.35	0.05682	2.6	0.57462	2.9	0.0736	1.4	0.50	0.02374	2.19	484	111	458	13	461	21	474	21	95
46	10	117	0.54	0.05687	2.5	0.60994	2.9	0.07736	1.4	0.49	0.02521	1.90	486	110	480	13	484	23	503	19	99
47	13	148	0.59	0.055	2.8	0.61329	3.3	0.0781	1.5	0.45	0.02489	2.01	412	120	485	14	486	25	497	20	118
48	7	79	0.67	0.05813	2.8	0.61038	3.3	0.07779	1.5	0.45	0.02520	1.98	534	120	483	14	484	25	503	20	90
49*	2	21	0.46	0.07278	5.4	0.82181	6.8	0.07354	1.9	0.28	0.02477	4.36	1008	211	457	17	609	62	495	43	45
50*	8	106	0.55	0.0644	2.9	0.66683	3.5	0.07166	1.5	0.43	0.02309	2.21	755	120	446	13	519	29	461	20	59

Примечание. Погрешности возрастов приводятся на уровне  $2\sigma$ .  $\rho$  – коэффициент корреляции ошибок отношений  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  и  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ,  $D$  – дискордантность. \* - номера точек, результаты которых не использованы при расчете средневзвешенного возраста.