

На правах рукописи

ОВЧИННИКОВ Роман Олегович

**ДРЕВНЕЙШИЕ КОМПЛЕКСЫ БУРЕЙНСКОГО
КОНТИНЕНТАЛЬНОГО МАССИВА (ЦЕНТРАЛЬНО-
АЗИАТСКИЙ СКЛАДЧАТЫЙ ПОЯС): ВОЗРАСТ,
ИСТОЧНИКИ, ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ
ФОРМИРОВАНИЯ**

Специальности: 25.00.01 – общая и региональная геология
25.00.04 – петрология, вулканология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Благовещенск – 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук (ФГБУН ИГиП ДВО РАН, г. Благовещенск).

Научный руководитель:	Сорокин Андрей Анатольевич, Чл. -Корр. РАН, доктор геолого-минералогических наук, директор ИГиП ДВО РАН, зав. лаборатории петрогенезиса и геодинамики ИГиП ДВО РАН
Официальные оппоненты:	Туркина Ольга Михайловна, д.г.-м.н., ведущий научный сотрудник ИГМ СО РАН (г. Новосибирск) Александров Игорь Анатольевич, к.г.-м.н., директор ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток)
Ведущая организация:	ФГБУН Институт Геологии и Геохронологии докембрия РАН

Защита диссертации состоится « » ##### 2021 года в _ часов на заседании диссертационного совета Д. 003.022.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте земной коры СО РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ИЗК СО РАН и на сайте http://www.crust.irk.ru/newsfull_173.html

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять ученому секретарю совета к.г.-м.н. Ю.В. Меньшагину по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128 , или e-mail: men@crust.irk.ru

Автореферат разослан « » ##### 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д. 003.022.02,
кандидат геолого-минералогических наук

Ю.В. Меньшагин

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Проблема формирования и эволюции континентальной коры относится к числу наиболее актуальных проблем современной геологии и петрологии и на протяжении нескольких десятилетий служит предметом постоянных дискуссий. Данная работа является составной частью исследований, направленных на решение указанной проблемы на примере Буреинского континентального массива восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП).

Основной структурный план ЦАСП определяется сочетанием континентальных массивов и разделяющих их разновозрастных складчатых поясов [Моссаковский и др., 1993 и др.]. В пределах восточного сегмента пояса к числу наиболее крупных массивов (террейнов) относятся Аргунский, Буреинский, Малохинганский (Цзямусинский) и Ханкайский. В качестве условно раннедокембрийского "фундамента" этих массивов традиционно рассматриваются разнообразные по составу метаосадочные и метавулканические породы, степень метаморфизма которых достигает высокотемпературной амфиболитовой, редко гранулитовой фации. В тоже время, в результате целенаправленных U-Pb геохронологических и Sm-Nd изотопно-геохимических исследований показано, что метаморфические комплексы Аргунского, Цзямусинского, Ханкайского массивов имеют более молодой (неопротерозойский, палеозойский или мезозойский) возраст.

Полученные к настоящему времени данные позволили предложить различные тектонические сценарии эволюции восточной части ЦАСП (например [Zhou et al., 2010, 2011; Tang et al., 2013; Zhou, Wilde, 2013; Wilde, 2015]). В тоже время эти сценарии остаются неполными без решения вопроса о происхождении Буреинского массива, который относится к числу наиболее крупных континентальных массивов восточной части ЦАСП. В свою очередь, решение этого вопроса невозможно без определения возраста и природы протолита наиболее древних метаморфических и магматических образований, принимающих участие в его геологическом строении.

Цели и задачи исследования. Главная цель диссертации состоит в том, чтобы на основе комплексных исследований условно раннедокембрийских метаморфических и магматических пород Буреинского континентального массива, рассматривающихся в качестве его "фундамента", получить достоверные данные о геологической эволюции массива на ранних стадиях его формирования

В соответствии с поставленной целью, главные задачи исследований сводятся к следующему:

- определить минералого-петрографические, геохимические, изотопно-геохимические особенности метаморфических и магматических образований, рассматривающихся в качестве условно раннедокембрийского "фундамента" Буреинского массива;

- провести реконструкцию первичного состава протолита условно раннедокембрийских метаморфических образований туловчихинской свиты и дягдаглейской толщи, установить возраст их протолита, определить РТ-условия метаморфизма;

- установить возраст, источники, геодинамические обстановки формирования условно палеопротерозойских магматических образований.

Объектами исследований являлись метаморфические породы туловчихинской свиты и дягдаглейской толщи условно неархейского возраста, в центральной и северной части Буреинского массива, а также условно палеопротерозойские магматические породы нятыгранского комплекса в центральной части Буреинского массива.

Фактический материал.

Работа выполнена в лаборатории петрогенезиса и геодинамики Института геологии и природопользования ДВО РАН. В основе диссертации лежат материалы, собранные автором в ходе полевых исследований Буреинского массива в 2014-2019 гг. Для обоснования защищаемых положений изучено более 240 шлифов, использовано 67 оригинальных химических анализов пород (главные и редкие элементы). Выполнены Sm-Nd изотопные исследования валового состава 27 образцов магматических и метаморфических пород. Геохронологические U-Pb исследования циркона из 5 образцов магматических пород выполнены методом ID-TIMS, зерна циркона из 4 образцов метаморфических пород методом LA-ICP-MS. В последнем случае в 67 зернах циркона из 4 образцов были проведены изотопные Lu-Hf исследования. Геохронологические исследования биотита из гнейса туловчихинской свиты выполнены $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом.

Защищаемые положения:

1). Протолитами биотитовых и амфибол-биотитовых гнейсов и амфиболитов туловчихинской свиты являются неархейские породы габбро-диорит-гранитной ассоциации, метаморфизованные в условиях эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций.

2). Протолитами биотитовых и двуслюдяных гранатсодержащих гнейсов дягдаглейской толщи являются первично осадочные породы. Нижняя возрастная граница формирования оценивается возрастом около 487 млн лет. Породы вскоре после образования испытали структурно-метаморфические преобразования в условиях амфиболитовой фации метаморфизма.

3). Интрузивные породы нятыгранского комплекса имеют неархейский возраст. При этом в составе комплекса оказались объединенными породы, по крайней мере, двух этапов магматизма. К первому (940-933 млн лет) этапу относятся метагабброиды и амфибол-биотитовые гнейсо-граниты, ко второму (804-789 млн лет) – биотитовые лейкограниты и гастингсит-лепидомелановые граниты. Породы первого этапа сформировались в обстановке островной дуги на континентальном основании или активной континентальной

окраины, породы второго этапа близки по геохимическим особенностям к внутриплитным гранитоидам.

Научная новизна.

Впервые показано, что метаморфические породы туловчихинской свиты и дягдаглейской толщи Буреинского континентального массива, традиционно рассматриваемые в качестве его раннедокембрийского "фундамента", имеют не архейский, а неопротерозойский и раннепалеозойский возраст соответственно. Впервые установлен возраст пород нятыгранского интрузивного комплекса. Показано, что они имеют неопротерозойский, а не палеопротерозойский возраст, как было принято считать ранее. Полученные данные позволяют говорить о проявлении в истории формирования рассматриваемого массива, как минимум, двух этапов неопротерозойского магматизма: 940-933 млн лет и 804-789 млн лет.

Практическая значимость.

Результаты исследований могут быть использованы при средне-, крупномасштабном картировании, разработке и корректировке региональных схем корреляции геологических комплексов, а так же служить основой для металлогенических построений нового поколения. Кроме того, полученные результаты имеют важное значение для понимания геологической эволюции не только Буреинского массива, но и всей восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса, и могут быть использованы для разработки интегрированной геодинамической модели формирования восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса.

Апробация работы и публикации.

По теме диссертации опубликовано 24 работы, в том числе 8 статей, входящих в международную систему цитирования WOS. Результаты исследований были представлены на научных конференциях: "Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов восточной Азии" (Благовещенск: ИГиП ДВО РАН, 2016, 2018), "Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)" (Иркутск: ИЗК СО РАН, 2016, 2017, 2018, 2019), "Геология и минерагения Северной Евразии" (Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2017), "Методы и геологические результаты изучения изотопных систем минералов и пород" (Москва: ИГЕМ РАН, 2018), VI Российская конференция по проблемам геологии и геодинамики докембрия "Этапы формирования и развития протерозойской земной коры: стратиграфия, метаморфизм, магматизм, геодинамика" (Санкт-Петербург: ИГГД, 2019), "Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии: X Косыгинские чтения: материалы Всероссийской конференции с международным участием" (Хабаровск : ИТиГ, 2019).

Объем и структура диссертации.

Объем работы – 137 страниц, включая 16 таблиц, 54 иллюстрации. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения. Список литературы содержит 111 наименований.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю чл. –корр. РАН, д.г.-м.н. А.А.Сорокину за наставничество, всестороннюю помощь и поддержку на всех этапах исследования и подготовки диссертации. Автор также признателен за советы и рекомендации А.Б. Котову, В.П. Ковачу, Е.Б. Сальниковой, С.Д. Великославинскому, П.Я. Азимову, Д.В. Доливо-Добровольскому (ИГГД РАН), Ю.Р. Волковой (ФГУГП “Амургеология”). Неоценимую помощь в проведении аналитических исследований оказали Н.М. Кудряшов (ГИКНЦ РАН), Ю.В. Плоткина (ИГГД РАН), Е.Н. Воропаева, О.Г. Медведева, В.И. Рождествина, Е.С. Сапожник, Е.В. Ушакова (ИГиП ДВО РАН), А.В. Штарева, А.Ю. Лушникова (ИТиГ ДВО РАН), А.В. Травин, В.А. Пономарчук, А.В. Пономарчук (ИГМ СО РАН), М. Пеша (ArizonaLaserChronCenter, USA).

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Определение содержаний главных элементов и микроэлементов и Zr в породах выполнено рентгенофлуоресцентным методом в Институте геологии и природопользования ДВО РАН (г. Благовещенск) на рентгеновском спектрометре Pioneer 4S и методом ICP-MS (Rb, Sr, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y, Nb, Ta, Th, U, Pb, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn) в Институте тектоники и геофизики ДВО РАН (г. Хабаровск) на масс-спектрометре Elan 6100 DRC.

Определение состава породообразующих минералов выполнено в Санкт-Петербургском государственном университете. Работы проводились с использованием электронного микроскопа HITACHI S-3400N, оснащенного энергодисперсионным спектрометром EDX Oxford X-Max 20.

Sm-Nd изотопно-геохимические исследования выполнены в Институте геологии и геохронологии докембрия РАН (г. Санкт-Петербург). Изотопные составы Sm и Nd были измерены на многоколлекторном масс-спектрометре TRITON TI в статическом режиме.

U-Pb геохронологические исследования (ID-TIMS) циркона из магматических пород выполнены в Геологическом институте КНЦ РАН (г. Апатиты). Выделение циркона проводилось по стандартной методике с использованием магнитной сепарации и тяжелых жидкостей. Концентрации U и Pb определялись методом изотопного разбавления на масс-спектрометре Finnigan MAT-262 (RPQ) с использованием смешанного изотопного индикатора $^{208}\text{Pb}+^{235}\text{U}$.

U-Th-Pb геохронологические исследования (LA-ICP-MS) циркона из метаморфических пород выполнены в Геохронологическом Центре Аризонского Университета (Arizona LaserChron Center, USA) с использованием системы лазерной абляции Photon Machines Analyte G2 и ICP масс-спектрометра Thermo Element 2. Диаметр кратера составлял 20 мкм, глубина - 15 мкм. Детали аналитической методики изложены на сайте www.laserchron.org. Взвешенные средние возрастов, конкордантные возрасты (Concordia Ages) и диаграммы с конкордией построены с использованием программы Isoplot v. 4.15 [Ludwig, 2008]. При построении гистограмм, кривых относительной вероятности возрастов

детритовых цирконов и вычислении их пиков [Gehrels, 2011] использовались только конкордантные оценки возраста.

Lu-Hf изотопные исследования циркона выполнены в Геохронологическом Центре Аризонского Университета (Arizona LaserChron Center, USA) с использованием многоколлекторного масс-спектрометра с индукционно-связанной плазмой (MC-ICP-MS) Nu High-Resolution и эксимерного лазера Analyte G2. Hf изотопные анализы проводились в том же месте цирконов, что и U-Th-Pb анализы. Диаметр лазерного пучка составлял 40 мкм, мощность лазера около 5 Дж/см², частота 7 Гц, скорость абляции около 0.8 мкм/с. Детали аналитической методики изложены на сайте www.laserchron.org.

Термобарометрические исследования. Для определения P-T условий формирования метаморфических пород, были использованы: метод мультиравновесной термобарометрии TWEEQU (версия 2.32) [Berman, 1991] с уточненной базой данных Р.Г. Бермана и Л.Я. Арановича (1996); программа GPT, позволяющая рассчитать параметры метаморфических процессов [Reche, Martinez, 1996]; мономинеральные термобарометры PT-A-1 [Герь, 2002] и PT-A-2 [Zenk, Schultz, 2004], амфибол-плаггиоклазовые термометры T-AP-1 [Jaques, 1982], T-AP-2 [Holland, Blundy, 1994] и барометр P-AP [Ферштатер, 1990].

⁴⁰Ar/³⁹Ar изотопно-геохронологические исследования были проведены в Институте Геологии и Минералогии, им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, при использовании метода ступенчатого прогресса [Travin et al., 2019].

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ БУРЕЙНСКОГО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО МАССИВА

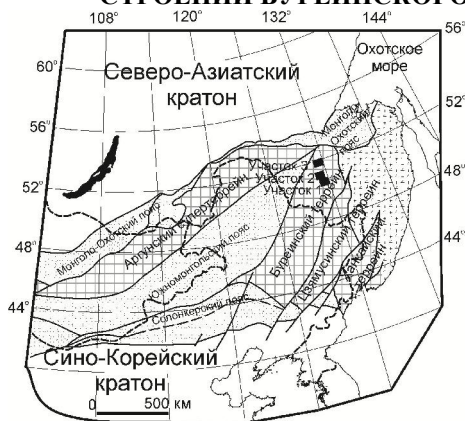


Рис.1. Основные тектонические элементы восточной части ЦАСП (по [Парфенов и др., 2003] с изменениями автора).

Бузейский массив (рис.1) является одним из наиболее крупных континентальных массивов в восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса. Часто он рассматривается в качестве составной части Бузейско-Цзямусинского супертеррейна [Парфенов и др., 2003; Ханчук, 2000].

По существующим на данный момент представлениям, [Петрук, Волкова, 2006; Забродин и др., 2007; Сережников, Волкова, 2007; Васькин, Дымович, 2009], к наиболее древним образованиям Бузейского массива относятся условно позднеархейские метаморфические комплексы, P-T-условия формирования которых соответствуют амфиболитовой фации – это породы "амурской серии" и дягдагейской толщи (рис. 2).

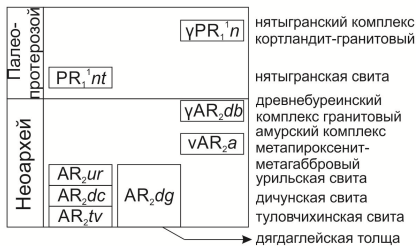


Рис. 2. Схема расчленения условно раннедокембрийский комплексов Буреинского континентального массива (по [Петрук, Волкова, 2006; Забродин и др., 2007; Сережников, Волкова, 2007]).

"Амурская серия", первоначально выделенная в Цзямусинском континентальном массиве, включает следующую последовательность снизу-вверх): туловчихинская (биотитовые, биотит- амфиболовые гнейсы, прослойки слюдистых, амфибол- хлоритовых кристаллических сланцев, амфиболитов, кварцитов), дичунская (амфиболиты, амфиболовые, амфибол-биотитовые гнейсы, кристаллические сланцы) и уральская (биотитовые, двуслюдяные, биотит-хлоритовые, мусковитовые, альбитовые кристаллические сланцы, хлорит-актиннолитовые сланцы, амфиболиты, кварциты) свиты.

Дягдаглейская толща выделена в северной части Буреинского массива в составе: биотитовые, гранат- биотитовые, двуслюдяные гнейсы, кристаллические сланцы, амфиболиты, кварциты, мраморы.

С образованиями амурской серии и дягдаглейской толщи пространственно ассоциируют тела метаморфизованных габброидов амурского и гранитоидов древнебуреинского комплексов (рис. 2), также условно отнесенных к позднему архею [Петрук, Волкова, 2006; Забродин и др., 2007; Сережников, Волкова, 2007; Васькин, Дымович, 2009]. Однако, как показали результаты геохронологических исследований последних лет магматические породы, относимые к этим комплексам, имеют не раннедокембрийский, а позднепалеозойский и раннемезозойский возраст [Овчинников и др., 2018].

К условно палеопротерозойским образованиям Буреинского массива относятся слюдистые, гранат- и кордиеритсодержащие сланцы, с пластами графитовых сланцев, кварцитов и мраморов нятыгранской свиты. С ними пространственно ассоциируют интрузии габброидов и гранитоидов нятыгранского комплекса, которым также приписывается палеопротерозойский возраст.

Условно неопротерозойские образования Буреинского массива представлены преимущественно терригенными, терригенно-карбонатными и вулканическими отложениями, слагающими многочисленные, но незначительные по размерам тектонические блоки в различных частях массива. Геохронологические данные, свидетельствующие об их неопротерозойском возрасте, отсутствуют.

Эдиакарские и нижнекембрийские терригенно-карбонатные отложения, содержащие микрофитоциты и археоциты представлены в центральной части Буреинского континентального массива в пределах Мельгинского прогиба.

Большую часть площади Буреинского массива занимают выходы ранне- и позднепалеозойских, а также раннемезозойских гранитоидов. При этом, критерии отнесения гранитоидов к тому или иному комплексу, а также вопросы их возраста остаются предметом дискуссий.

Таким образом, Буреинский массив представляет собой коллаж разновозрастных и различных по составу геологических комплексов, при этом, на данный момент, наименее исследованными из них являются те, которым условно приписывается докембрийский возраст. Эта неопределенность создает существенные трудности в понимании истории формирования как этого массива, в частности, так и истории развития восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса.

В этой связи, объектами наших исследований были выбраны метаморфические породы туловчихинской свиты и дягдагейской толщи, которые традиционно рассматриваются в качестве раннедокембрийского "фундамента" Буреинского континентального массива, а также интрузии нятыгранского комплекса условно палеопротерозойского возраста (рис. 2). Несмотря на то, что эти объекты без сомнения относятся к "ключевым", какие-либо геохронологические, изотопно-геохимические данные, позволявшие судить об их возрасте, до сих пор отсутствовали.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

1. Протолитами биотитовых и амфибол-биотитовых гнейсов и амфиболитов туловчихинской свиты являются неопротерозойские породы габбро-диорит-гранитной ассоциации, метаморфизованные в условиях эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций.

Метаморфические породы туловчихинской свиты были исследованы нами в бассейне р. Буря на участке между устьями рек Тырма и Верхний Мельгин (приложение 1) и в бассейне р. Чепкан (приложение 2), где они представлены в небольших береговых обнажениях. В нашей коллекции преобладают биотитовые, амфибол-биотитовые гнейсы и амфиболиты.

Для определения первичной природы биотитовых, амфибол-биотитовых гнейсов и амфиболитов нами были использованы дискриминантные функции DF_{shaw} [Shaw, 1972] и $DF(X)$ [Великославинский и др., 2013].

Биотитовые и амфибол-биотитовые гнейсы туловчихинской свиты характеризуются положительными значениями DF_{shaw} (1.1-2.7), что указывает на вероятное первичное магматическое происхождение этих пород (рис. 3). В тоже время амфиболиты туловчихинской свиты имеют более широкий диапазон значений DF_{shaw} (от -3.88 до +1.16).

Значения дискриминантной функции $DF(X)$ для биотитовых и амфибол-биотитовых гнейсов туловчихинской свиты находятся в диапазоне от -0.4 до -1.5, что характерно для первично магматических пород (рис. 3). Амфиболиты туловчихинской свиты имеют строго отрицательные значения $DF(X)$ (от -2.13 до -1.83), что также характерно для первично магматических пород.

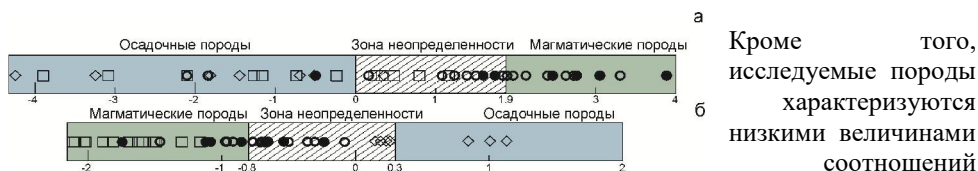


Рис.3. Диаграммы, отражающие значения дискриминантных функций DF_{shaw} (a) [Shaw, 1972] и DF (б) [Великославинский и др., 2013] для метаморфических пород Буреинского массива. туловчихинская свита: ● - биотитовые гнейсы; ○ - амфибол-биотитовые гнейсы; □ - амфиболиты; дьягдлейская толща: ◇ - биотитовые и двуслюдяные гранатосодержащие гнейсы

элементов. Как следует из анализа этих диаграмм, составы ортогнейсов и ортоамфиболитов туловчихинской свиты соответствуют первично магматическим породам кислого, среднего и основного составов нормальной щелочности.

В результате U-Th-Pb (LA-ICP-MS) геохронологических исследований, было установлено, что в исследуемых породах присутствует только по одной возрастной популяции циркона, а именно: в биотитовых гнейсах (обр. R-58-1) ~ 950±2 млн лет, в амфибол-биотитовых гнейсах (обр. C-1278) ~ 923±9 млн лет, в амфиболитах (обр. R-94-1) ~ 940±4 млн лет (приложение 4). Форма зерен циркона дающих конкордантный возраст и наличие осциляторной зональности указывают на их магматическое происхождение. В зернах циркона из амфиболитов, в результате исследований с использованием оптического микроскопа с увеличением до x 500-1000, были обнаружены расплавные включения, что также предполагает магматическое происхождение исследуемых зерен циркона.

Полученные результаты геохронологических исследований, во-первых, подтверждают сделанный выше вывод о магматическом происхождении протолита, и, во-вторых, свидетельствуют о том, что рассматриваемые породы относятся не к раннедокембрийскому, как было принято считать ранее, а к более молодому, неопротерозойскому, этапу геологической истории.

Для определения источников вещества протолита первично магматических пород туловчихинской свиты нами были выполнены Sm-Nd изотопные исследования валового состава пород, а так же Lu-Hf изотопные исследования цирконов их этих пород.

Кроме того, исследуемые породы характеризуются низкими величинами соотношений MgO/CaO и $K_2O/(K_2O+Na_2O)$, что обычно свойственно метаморфическим породам, имеющих первично магматическое происхождение.

В целом, геохимические особенности биотитовых, амфибол-биотитовых гнейсов и амфиболитов туловчихинской свиты свидетельствуют в пользу их формирования за счет преобразования первично магматических пород.

С учетом метаморфических преобразований для приближенной реконструкции состава первичных пород, мы использовали классификационные диаграммы Nb/Y - Zr/Ti и $(Zr/TiO_2)*0.0001 - SiO_2$ (приложение 3), основанные на соотношении немобильных при метаморфизме

Величины $\epsilon_{Nd(0.95)}$ и двухстадийного Nd- модельного возраста ($t_{Nd(DM2-st)}$) гнейсов варьируют от -5.9 до +0.6 и от 2.1 до 1.6 млрд. лет, что указывает на участие гетерогенных источников для протолитов гнейсов. Для амфиболитов характерны значения $\epsilon_{Nd(0.95)}$ варьирующие от +0.1 до -1.7, и величины одностадийного Nd- модельного возраста от 1.9 до 1.6 млрд. лет.

Анализируя результаты Sm-Nd изотопно-геохимических исследований, можно предполагать, что протолиты метаморфических пород туловчихинской свиты образовались за счет плавления пород имевших мезо-палеопротерозойские модельные возрасты или в результате смешения неопротерозойской ювенильной и мезо- палеопротерозойской коры в условиях дуги на континентальном основании.

Широкие вариации в изотопном составе Hf в зернах циркона и наличие ядер с возрастом 1.05 – 1.40 млрд лет, скорее всего указывают на плавление гетерогенного источника и/или смешение магм во время образования протолитов гнейсов. Мы предполагаем, что протолит биотитовых, амфибол-биотитовых гнейсов туловчихинской свиты был образован из неопротерозойских ювенильных расплавов, контаминировавших материал мезопротерозойской коры в условиях континентальной дуги, или путем плавления мезо-палеопротерозойского корового и неопротерозойского ювенильного источников. Изотопные составы Hf в цирконах из амфиболитов указывают на обогащенный мантийный источник или деплетированный мантийный источник в сочетании с контаминацией родоначальных расплавов материалом верхней коры.

Результаты термобарометрических исследований свидетельствуют о том, что протолиты биотитовых гнейсов метаморфизованы в условиях эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма (470-610 °C и 2.1 – 3.4 кбар). Для амфибол-биотитовых гнейсов и амфиболитов получены оценки параметров, соответствующие амфиболитовой фации (579-611 °C, 4.5-8.2 кбар, и 505-612 °C. 3.5-5.8 кбар соответственно).

В результате $^{40}Ar/^{39}Ar$ изотопно-геохронологических исследований, установлено, что возраст биотита из биотитовых гнейсов (образец R-58-1) туловчихинской свиты составляет – 227 ± 3 млн. лет (77% выделенного Ar). Полученный возраст соответствует самому молодому термальному событию, наложенному на породы туловчихинской свиты. Это событие может быть связано с окончательным закрытием Палеоазиатского океана, или, возможно, было вызвано деформацией блоков Восточной Азии в связи с начальными этапами закрытия Монголо-Охотского океана.

2. Протолитами биотитовых и двуслюдяных гранатсодержащих гнейсов дягдаглейской толщи являются первично осадочные породы. Нижняя возрастная граница формирования оценивается возрастом около 487 млн лет. Породы вскоре после образования испытали структурно-метаморфические преобразования в условиях амфиболитовой фации метаморфизма.

Эта толща была нами исследована в стратотипической местности - в верховьях ручья Дягдагле, а также в тектонических блоках среди палеозойских и раннемезозойских гранитоидов в бассейне ручья Завальный (приложение 5).

В нашей коллекции, представляющей дягдаглейскую толщу, преобладают биотитовые, двуслюдяные гранатсодержащие гнейсы.

Для определения первичной природы гнейсов дягдаглейской толщи нами были использованы дискриминантные функции DF_{shaw} и $DF(X)$. Значения дискриминантной функции DF_{shaw} для гнейсов дягдаглейской толщи находятся в интервале от -4.24 до -0.52, что указывает на вероятное первично осадочное происхождение этих пород (одна точка попадает в поле неопределенности) (рис. 3). Значения дискриминантной функции $DF(X)$ для пород дягдаглейской толщи находятся в интервале от + 0.15 до + 1.77, что также характерно для парапород (рис. 3).

Кроме того, гнейсы дягдаглейской толщи характеризуются низкими величинами соотношения P_2O_5/TiO_2 , что обычно свойственно метаморфическим породам, имеющим первично осадочное происхождение.

В целом, основываясь на полученных геохимических данных, можно достаточно уверенно предполагать, что биотитовые, двуслюдяные гранатсодержащие гнейсы дягдаглейской толщи образовались за счет метаморфических преобразований осадочных пород.

U-Pb геохронологические (LA-ICP-MS) исследования выполнены для цирконов из двуслюдяного гранатсодержащего гнейса (обр. R-71), отобранного в верховьях ручья Дягдагле.

Всего из данного образца было проанализировано 122 зерна циркона для которых получены 92 конкордантных оценки возраста, находящихся в интервале 956-474 млн лет. Пики на кривой относительной вероятности возраста зерен циркона соответствуют значениям 487, 541, 690, 778 и 896 млн лет (приложение 6). Следует отметить, что значения палеозойского возраста ($^{206}Pb/^{238}U$) получены для ядер и оболочек зерен циркона. При этом ядра отличаются высоким (до 2600 мкг/г) содержаниями урана и низкими Th/U отношениями (0.02-0.08).

Lu-Hf изотопные исследования выполнены для 18 зерен с конкордантными значениями возрастов в тех же точках, что и U-Th-Pb исследования. Согласно полученным результатам зерна циркона по Hf-изотопным параметрам могут быть разделены на две группы (приложение 7). Первая группа включает зерна циркона как неопротерозойского, так палеозойского возраста, причем последние как правило представлены ядрами с низкой интенсивностью люминесценции, характеризуется положительными значениями $\epsilon_{Hf(t)}$ от +0.3 до +10.9 и модельными возрастными $t_{Hf(C)}$ в интервале 1.2-0.8 млрд лет. Зерна циркона палеозойского возраста второй группы отличаются отрицательными величинами $\epsilon_{Hf(t)}$ от -4.0 до -5.2 и более древними модельными возрастными $t_{Hf(C)} = 1.5-1.4$ млрд лет. При этом большая часть изотопных анализов, относящихся ко второй группе, соответствуют оболочкам.

Наиболее молодой пик на кривой относительной вероятности возрастов (приложение 6) соответствует возрасту 487 млн лет, что определяет нижнюю возрастную границу накопления протолита рассматриваемых пород. Результаты проведенных исследований позволяют нам утверждать, что дягдаглейская толща имеет не раннедокембрийский, как было принято считать ранее [Забродин и др., 2007; Сережников, Волкова, 2007; Решения..., 1994; Геодинамика..., 2006 и др.], а палеозойский возраст и не может рассматриваться в качестве "фундамента" Буреинского континентального массива. Близость значений возраста части ядер и оболочек зерен циркона, свидетельствует о том, что породы протолита вскоре после образования испытали структурно-метаморфические преобразования в Р-Т условиях амфиболитовой фации метаморфизма.

Обратившись к анализу кривой относительной вероятности возраста (приложение 6) следует обратить внимание на то, что наиболее часто встречающиеся значения конкордантных возрастов соответствуют позднему кембрию – раннему ордовику. Их источниками, по нашему мнению, могли являться интрузии кивилийского (?) комплекса с возрастом 474 ± 1 млн лет [Сорокин и др., 2011a], риолиты "туранской серии" с возрастом 504 ± 1 млн лет [Сорокин и др., 2011b]. В качестве источников зерен циркона раннего неопротерозоя можно рассматривать интрузии габбро-диорит-гранитной (933 ± 12 , 933 ± 12 , 940 ± 11 млн лет) и гранит-лейкогранитной (789 ± 4 , 804 ± 8 млн лет) ассоциаций [Сорокин и др., 2017]. Не находят своей интерпретации источники эдиакарских зерен циркона, присутствующие в парагнейсах дягдаглейской толщи (приложение 6), но это объясняется плохой геохронологической изученностью магматизма Буреинского массива.

3. Интрузивные породы нятыгранского комплекса имеют неопротерозойский возраст. При этом в составе комплекса оказались объединенными породы, по крайней мере, двух этапов магматизма. К первому (940-933 млн лет) этапу относятся метагабброиды и амфибол-биотитовые гнейсо-граниты, ко второму (804-789 млн лет) – биотитовые лейкограниты и гастингсит-лепидомелановые граниты. Породы первого этапа сформировались в обстановке островной дуги на континентальном основании или активной континентальной окраины, породы второго этапа близки по геохимическим особенностям к внутриплитным гранитоидам.

Интрузивные породы нятыгранского комплекса были исследованы нами в бассейне р. Буря (приложение 1) и в бассейне р. Чепкан (приложение 2). В нашей коллекции, представляющей нятыгранский комплекс, в бассейне р. Буря преобладают: амфибол-биотитовые гнейсо-граниты, метагаббро и метагаббро-диориты; в бассейне р. Чепкан: биотитовые лейкограниты и гастингсит-лепидомелановые граниты.

В результате U-Pb (ID-TIMS) геохронологических исследований было установлено, что возраст метагаббро (обр. С-1211) бассейна р. Буря составляет

933±12 млн лет, возраст амфибол-биотитовых гнейсо-гранитов бассейн р. Буряя (обр. С-1191 и обр. С-1154) составляет 933±8 млн лет и 940±11 млн лет, возраст биотитового-лейкогранита бассейн р. Чепкан (обр. С-1226) составляет 789±4 млн лет и возраст гастингсит-лепидомеланового гранита бассейн р. Чепкан (обр. С-1257-1) составляет 804±8 млн лет (приложение 8).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что изученные магматические породы нятыгранского комплекса, имеют не палеопротерозойский, как было принято считать ранее [Мартынюк и др., 1999; Забродин и др., 2005; Геодинамика..., 2006; Сережников, Волкова, 2007], а неопротерозойский возраст. Кроме того, они принадлежат по крайней мере к двум возрастным группам - 940-933 и 804-789 млн лет.

К группе наиболее древних (940-933 млн лет) интрузий относятся метагабброиды и амфибол-биотитовые гнейсограниты бассейна р. Буряя. В целом, по геохимическим и минералогическим особенностям амфибол-биотитовые гнейсограниты сопоставимы с фракционированными гранитами островных дуг на континентальном основании и активных континентальных окраин (приложение 9).

К группе более молодых (804-789 млн. лет) интрузий относятся биотитовые лейкограниты и гастингсит-лепидомелановые граниты бассейна р. Чепкан. По геохимическим особенностям биотитовые лейкограниты близки к амфибол-биотитовым гнейсо-гранитам бассейна р. Буряя. В тоже время они в меньшей степени деплетированы в отношении Nb и Y, в силу чего на тектонических диаграммах Дж. Пирса (приложение 9) фигуративные точки их составов максимально приближены к полю составов внутриплитных гранитоидов.

Гастингсит-лепидомелановые граниты бассейна р. Чепкан существенным образом отличаются от всех изученных гранитоидов. Они характеризуются высокой суммой щелочей, превышающей 9 масс %, значительными концентрациями REE при ярко выраженной отрицательной европиевой аномалии, отчетливым обогащением Ga, Th, U, Pb, Nb, Ta, Zr, Y, относительным дефицитом Sr, Ti. По соотношению $FeO^*/(FeO^*+MgO)$, $Al_2O_3=12.75-13.64$, $Al_2O_3/(K_2O+Na_2O)=1.36-1.43$, рассматриваемые граниты отвечают окисленным гранитам А-типа по классификации [Dall'AgnoI, Oliveira, 2007], что согласуется с их минералогическим составом, а именно, присутствием щелочного амфибола, высоко-Fe биотита и магнетита. На тектонических диаграммах Дж. Пирса [Pearce et al., 1984] (приложение 9) фигуративные точки их составов попадают в поле внутриплитных гранитоидов.

Исходя из результатов геохронологических исследований, полученных для метаморфических пород туловчихинской свиты, приведенных в первой главе, и магматических пород нятыгранского комплекса мы можем предполагать, что протолитами биотитовых, амфибол-биотитовых гнейсов и амфиболитов туловчихинской свиты являются интрузии гранитоидов и габброидов нятыгранского комплекса, для которых получены неопротерозойские определения

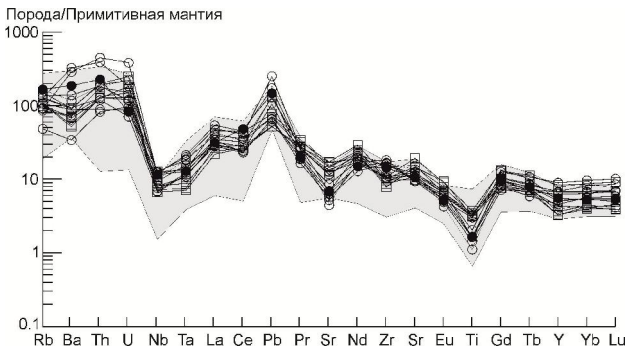


Рис. 4. Распределение редких элементов в метаморфических породах туловчихинской свиты Буреинского массива. Состав примитивной мантии по [Sun, McDonough, 1989].
 ○—○ для биотитовых гнейсов; ●—● для амфибол-биотитовых гнейсов; □—□ для амфиболитов. Поля составов неопротерозойских габбро и гранитов нятыгранского комплекса показаны серым цветом

возраста в интервале – 940–933 млн лет. Не противоречит такому предположению и геохимические данные. В частности, поля интрузивных пород нятыгранского комплекса и метаморфических пород туловчихинской свиты практически идентичны (рис. 4).

Кроме того, в пользу вышеприведенного предположения свидетельствуют результаты Sm-Nd изотопно-геохимических исследований. Метагабброиды и амфибол-биотитовые гнейсо-граниты нятыгранского комплекса характеризуются величинами $\epsilon_{Nd(t)} = -0.4...+3.7$ для габбро и $\epsilon_{Nd(t)} = -0.6...-3.5$ и $t_{Nd(DM2-st)} = 1.7 - 1.9$ млрд лет для гранитов, схожими с значениями характерными для метаморфических пород туловчихинской свиты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате проведенных исследований впервые показано, что метаморфические породы туловчихинской свиты и дягдаглейской толщи Буреинского континентального массива имеют не архейский, а неопротерозойский и раннепалеозойский возраст соответственно. В этой связи они не могут рассматриваться в качестве "раннедокембрийского фундамента" этого массива, как было принято считать ранее.

2. Гнейсы и амфиболиты туловчихинской свиты имеют первично магматическое происхождение. В исследованных породах присутствует только по одной возрастной популяции цирконов, а именно: в биотитовых гнейсах $\sim 950 \pm 2$ млн лет, в амфибол-биотитовых гнейсах $\sim 923 \pm 9$ млн лет, в амфиболитах $\sim 940 \pm 4$ млн лет. Их протолитами являются неопротерозойские породы габбро-диорит-гранитной ассоциации, неравномерно метаморфизованные в условиях эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций.

3. Гнейсы дягдаглейской толщи имеют первично осадочное происхождение. Возрасты детритовых цирконов из двуслюдяного гранатсодержащего гнейса варьируют в интервале 956–474 млн лет. Пики на кривой относительной вероятности возраста цирконов соответствуют значениям 487, 541, 690, 778 и 896 млн лет. Нижняя возрастная граница накопления протолита определяется

возрастом наиболее молодой популяции цирконов ~ 487 млн лет. Вскоре после образования, породы дягдалейской толщи испытали структурно-метаморфические преобразования в P-T условиях амфиболитовой фации метаморфизма.

4. Впервые установлен возраст пород нятыгранского интрузивного комплекса. Показано, что они имеют неопротерозойский, а не палеопротерозойский возраст, как было принято считать ранее. Кроме того, полученные данные позволяют говорить о проявлении в истории формирования рассматриваемого массива, как минимум, двух этапов неопротерозойского магматизма: 940-933 млн лет и 804-789 млн лет. Мы предполагаем, что именно породы нятыгранского интрузивного комплекса являются протолитами биотитовых, амфибол-биотитовых гнейсов и амфиболитов туловчихинской свиты.

Публикации по теме диссертации

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. Сорокин А.А., **Овчинников Р.О.**, Кудряшов Н.М., Котов А.Б., Ковач В.П. Два этапа неопротерозойского магматизма в истории формирования Буреинского континентального массива Центрально-Азиатского складчатого пояса // Геология и геофизика. 2017. Т. 58. № 10. - С. 1479-1499.

2. **Ovchinnikov R.O.**, Sorokin A.A., Xu W.L., Yang H., Kovach V.P., Kotov A.B., Plotkina Yu. V. Provenance and tectonic implications of Cambrian sedimentary rocks in the Bureya Massif, Central Asian Orogenic Belt, Russia // Journal of Asian Earth Sciences. 2019. V. 172. P. 393-408.

3. Sorokin A.A., **Ovchinnikov R.O.**, Xu W.L., Kovach V.P., Yang H., Kotov A.B., Ponomarchuk V.A., Travin A.V., Plotkina Yu.V. Ages and nature of the protolith of the Tulovchikha metamorphic complex in the Bureya Massif, Central Asian Orogenic Belt, Russia: evidence from U-Th-Pb, Lu-Hf, Sm-Nd, and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ data // Lithos. 2019. V. 332-333. - P. 340-354.

4. **Овчинников Р.О.**, Сорокин А.А., Ковач В.П., Котов А.Б. Раннепалеозойский возраст и природа протолита метаморфических пород дягдалейской толщи, Буреинский континентальный массив, Центрально-Азиатский складчатый пояс // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2020. Т. 28. №3. С. 48-62.

5. Yang H., Xu W.L., Sorokin A.A., **Ovchinnikov R.O.**, Ge W. Geochronology and geochemistry of Neoproterozoic magmatism in the Bureya Block, Russian Far East: Petrogenesis and implications for Rodinia reconstruction // Precambrian Research. 2020. V. 342 105676.

Подписано в печать **.**.**** г. Заказ № ****

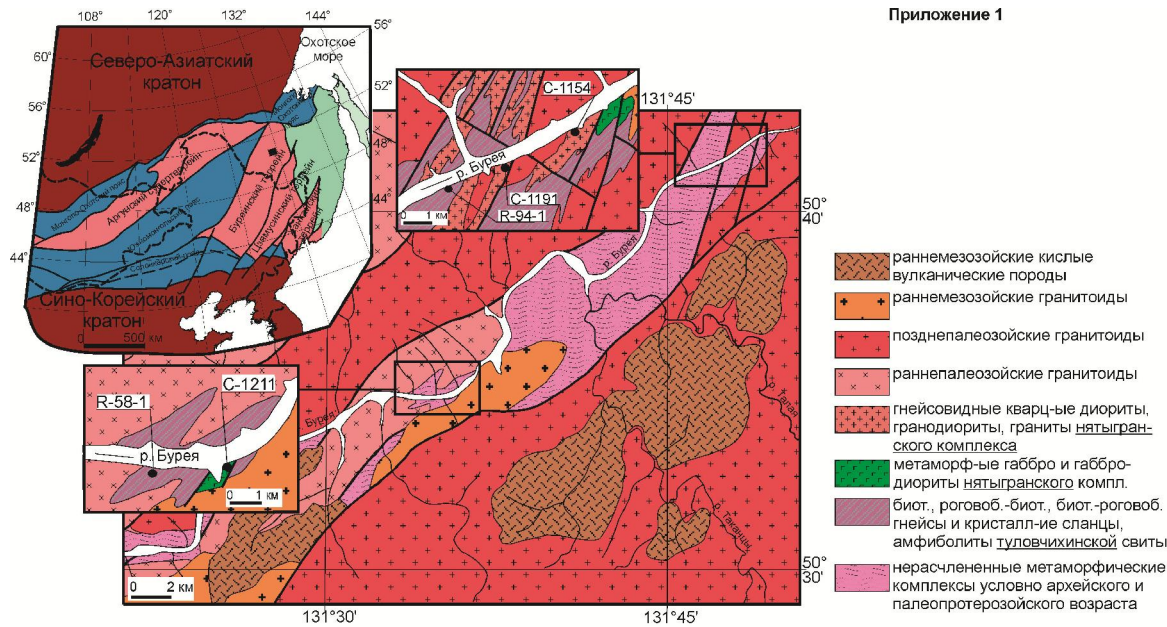
Формат 60*90/16. Усл. печ. л. 1 Тираж 130 экз.

Отпеч. В тип. ООО "Буквица",

г. Благовещенск, ул. Б. Хмельницкого, 9,

тел. 53-15-10. ИНН 2801067579.

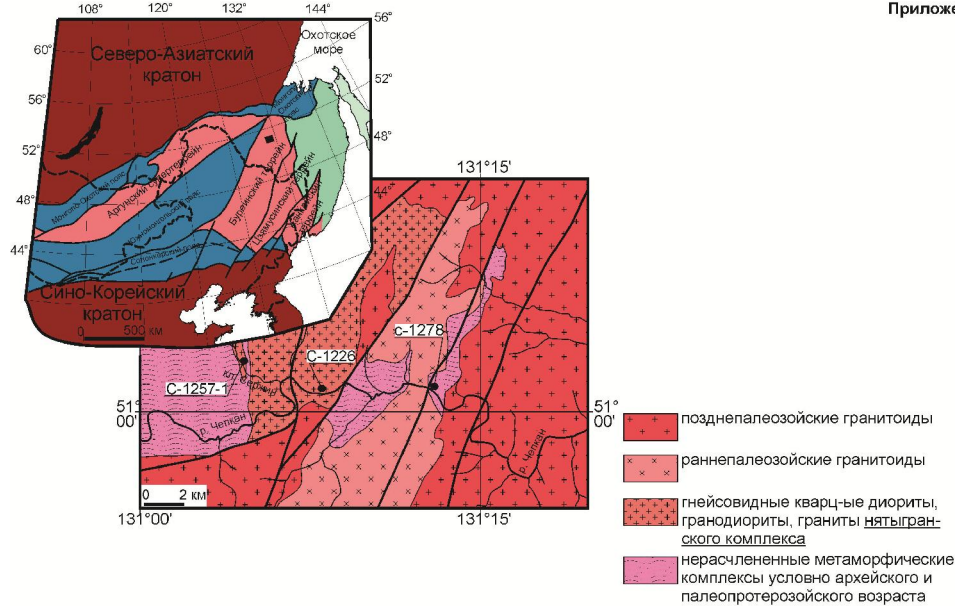
Приложение 1



Геологическая схема центральной части Буреинского континентального массива и детальных участков (в верхнем течении р. Бурей). Составлена по [Васильева и др., 1960] с изменениями автора.

- раннемезозойские кислые вулканические породы
- раннемезозойские гранитоиды
- позднепалеозойские гранитоиды
- раннепалеозойские гранитоиды
- гнейсовидные кварц-ые диориты, гранодиориты, граниты **ньягранского комплекса**
- метаморф-ые габбро и габбро-диориты **ньягранского компл.**
- биот., роговоб.-биот., биот.-роговоб. гнейсы и кристалл-ие сланцы, амфиболиты **туловчихинской свиты**
- нерасчлененные метаморфические комплексы условно архейского и палеопротерозойского возраста

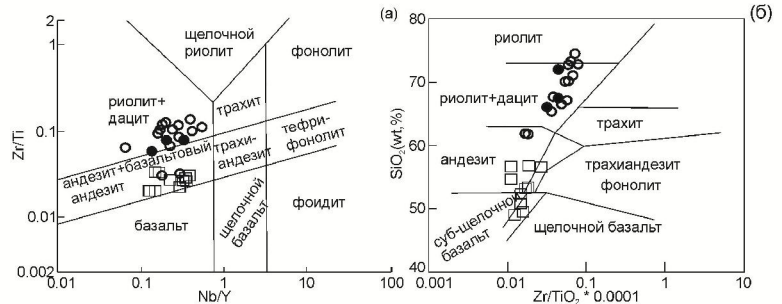
Приложение 2



Геологическая схема центральной части Буреинского континентального массива (бассейн р. Чепкан). Составлена по [Васильева и др., 1960] с изменениями автора.

- позднепалеозойские гранитоиды
- раннепалеозойские гранитоиды
- гнейсовидные кварц-ые диориты, гранодиориты, граниты **ньягранского комплекса**
- нерасчлененные метаморфические комплексы условно архейского и палеопротерозойского возраста

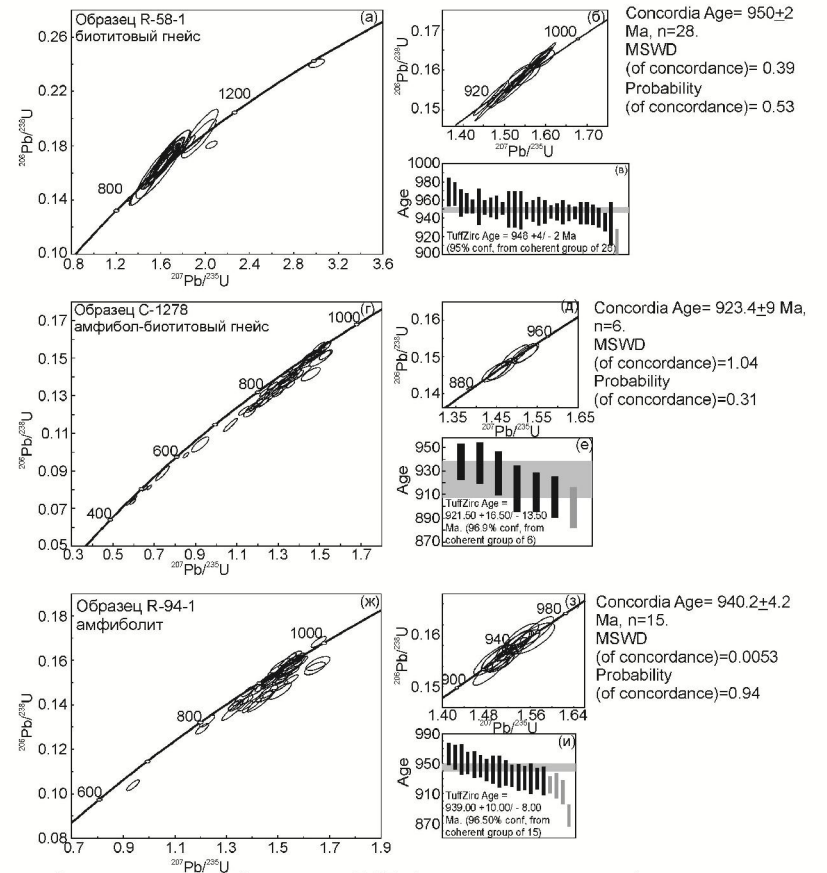
Приложение 3



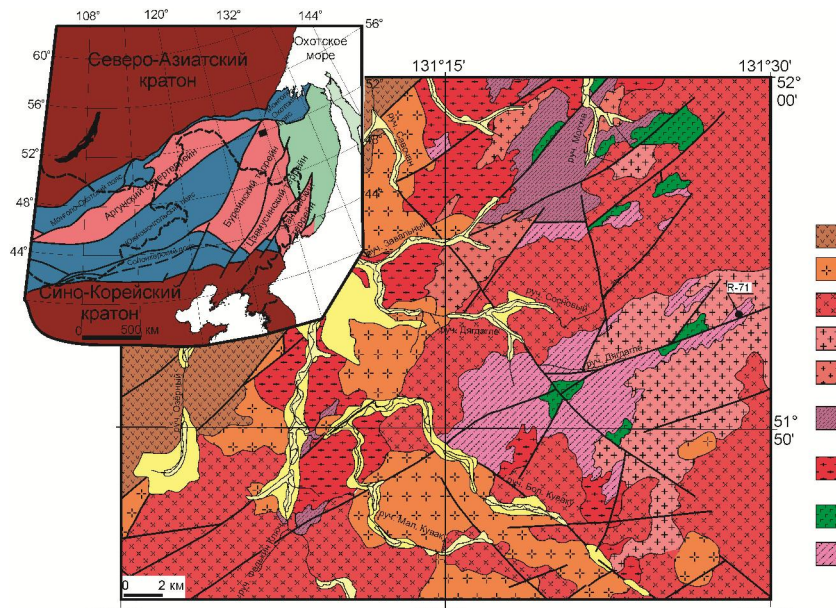
Классификационные диаграммы Nb/Y - Zr/Ti [Pearce, 1996], (Zr/TiO₂)*0.0001 - SiO₂ [Winchester, Floyd, 1977] для метаморфических пород туловчихинской свиты Буреинского континентального массива.

- биотитовые гнейсы
- амфибол- биотитовые гнейсы
- амфиболиты

Приложение 4



Диаграммы с конкордией и диаграммы TuffZircAge для циркона из метаморфических пород туловчихинской свиты: а, б, в - для циркона из биотитового гнейса (R-58-1); г, д, е - для циркона из амфибол-биотитового гнейса (C-1278); ж, з, и - для циркона из амфиболита (R-94-1).

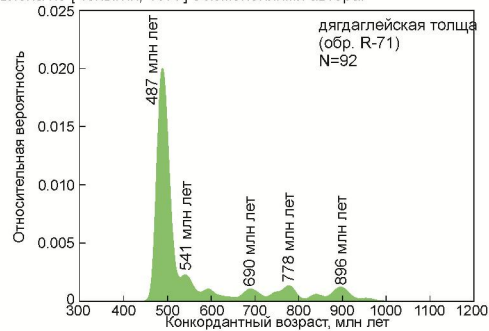


Геологическая схема северной части Бурейнского континентального массива (бассейн р. Иса). Составлена по [Чельгин, 1977] с изменениями автора.

Приложение 5

- раннемезозойские кислые вулканические породы
- раннемезозойские гранитоиды
- условно позднепалеозойские гранитоиды
- условно раннепалеозойские гранитоиды
- условно раннепротерозойские гранитоиды
- гранитоиды нятыгранского комплекса
- амфиболиты, роговооб. и диопсид
- крист-ие сланцы и гнейсы условно раннепротерозойского возраста
- условно позднеархейские гнейсовидные гранитоиды древнебурейнского комплекса
- условно позднеархейские габбро-амфиболиты амурского комплекса
- биотит. и диопсид. гнейсы и крист-ие сланцы, биотит - роговооб. гнейсы дядаглейской толщи условно верхнеархейского возраста

Приложение 6



Кривая относительной вероятности возрастов цирконов из двуслюдяного гнейса (обр. R-71) дядаглейской толщи Бурейнского континентального массива.

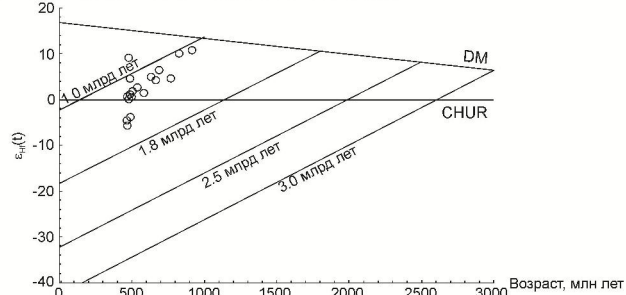
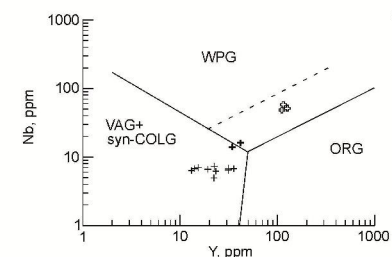
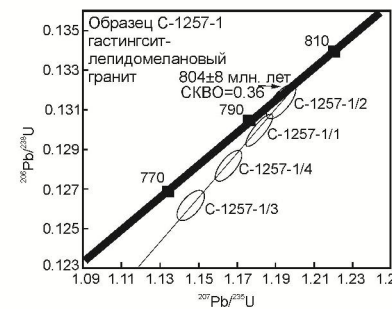
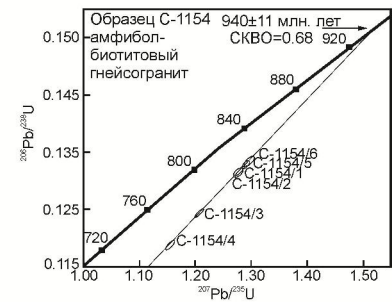
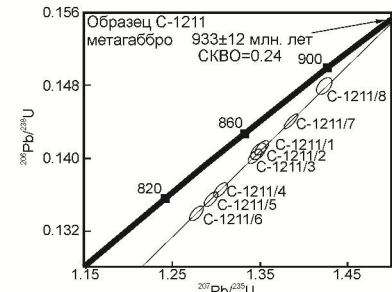


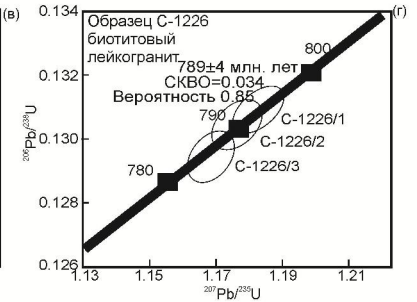
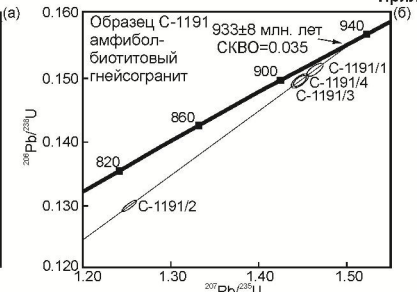
График $\epsilon_{Hf}(t)$ - возраст для детритовых цирконов из двуслюдяного гнейса (R-71) дядаглейской толщи Бурейнского континентального массива

Приложение 7



Диаграммы Y - Nb (a), (Y + Nb) - Rb [Pearce et al., 1984] для неопротерозойских гранитоидов Бурейнского континентального массива. Поля на диаграммах: ORG - граниты океанических рифтов, VAG - граниты вулканических (островных) дуг, syn-COLG - син-коллизийные граниты, WPG - внутриплитные граниты, + амфибол-биотитовые гнейсограниты, + биотитовые лейкограниты, ◊ гастингсит-лепидомелановые граниты

Приложение 8



Диаграммы с конкордией для циркона из: -метагаббро (обр. C-1211)(а); -амфибол-биотитового гнейсогранита (обр. C-1191)(б); -амфибол-биотитового гнейсогранита (обр. C-1154)(в); -биотитового лейкогранита (обр. C-1226)(г); -гастингсит-лепидомеланового гранита (обр. C-1257-1)(д).

Приложение 9

