

УДК 551.251, 552.164

МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПОРОД В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЕ ПРИМОРСКОГО РАЗЛОМА (ЗАПАДНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)

© 2023 г. А. В. Григорьева^{1,2,*}, В. М. Козловский¹, Г. А. Гридин², А. А. Остапчук²

Представлено академиком РАН Л.Я. Арановичем 20.04.2023 г.

Поступило 24.04.2023 г.

После доработки 02.05.2023 г.

Принято к публикации 04.05.2023 г.

В настоящей работе сделана попытка сравнения метаморфических преобразований вещества в “кислых” и “основных” породах в зоне интенсивных тектонических движений. Объект исследования располагается в районе сместителя главного коллизийного шва центральной эксгумированной части Приморского разлома (в районе реки Хорга), соединяющего Сибирский кратон и Ольхонский террейн. Установлено, что метаморфические породы, слагающие выбранный участок, представлены как “кислыми” (плагиогранитогайеисы), так и более “основными” (амфибол-биотитовыми плагиогнейсами) породами, контактирующими друг с другом и отличающимися по химическому составу. В то же время в обоих типах пород отмечается образование одинаковых метаморфических минералов групп граната и эпидота, связанное с процессами высокобарического регионального метаморфизма и, возможно, более поздними коллизийными событиями. Изучение химического состава породообразующих минералов позволило оценить *PT*-параметры метаморфизма этих пород методом мультиминеральной термобарометрии. Было установлено, что в амфибол-биотитовом плагиогнейсе сохраняются условия раннего метаморфизма, отвечающего высокобарической амфиболитовой фации умеренной температуры, пограничной с эклогитовой фацией. В плагиогранитогайеисах фиксируются параметры более позднего метаморфизма, проходившего также при повышенном давлении, но при меньшей температуре – в парагонит-кианит-цоизитовой субфации эклогитовой фации, пограничной с фацией зеленых сланцев. Ассоциации, отвечающие раннему метаморфизму, в плагиогнейсах сохраняются плохо.

Ключевые слова: метаморфизм, Приморский разлом, плагиогранитогайеисы, амфибол-биотитовые плагиогнейсы, эпидот, гранат, минеральные равновесия, *PT*-условия

DOI: 10.31857/S2686739723600807, **EDN:** WGVIQA

ВВЕДЕНИЕ

В предлагаемой работе поставлена задача изучения поведения разных по петрографическому и химическому составу пород в зоне долгоживущего крупного разлома в земной коре. В процессе изучения метаморфических пород, представленных плагиогранитогайеисом и амфибол-биотитовым плагиогнейсом, были определены *PT*-условия фиксирующих метаморфические преобразования минералов в этих породах и проведено сравнение результатов таких преобразований в разных породах, находящихся в одинаковых

условиях при тектонических воздействиях. Объектом исследования был выбран центральный участок Приморского разлома в Западном Прибайкалье (рис. 1). В ходе проведенных полевых работ производился отбор образцов пород, слагающих главный коллизийный шов по профилям, расположенным перпендикулярно направлению разлома. Приморский разлом является долгоживущим, период его становления охватывает длительный интервал времени от позднего протерозоя до настоящего времени, в течение всего этого периода первичные породы претерпевали многоэтапные динамо-метаморфические и физико-химические преобразования [8], однако по данным большого числа исследователей ([1, 3, 9, 11] и др.) хронологический интервал всех надежно датированных (U–Pb-метод по циркону) наиболее интенсивных метаморфических и магматических событий в пределах Ольхонского террейна охватывает период от ~510 до ~460 млн лет. При этом нередко оценки возраста метаморфических со-

¹Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, Москва, Россия

²Институт динамики геосфер им. академика М.А. Садовского Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: grig@igem.ru

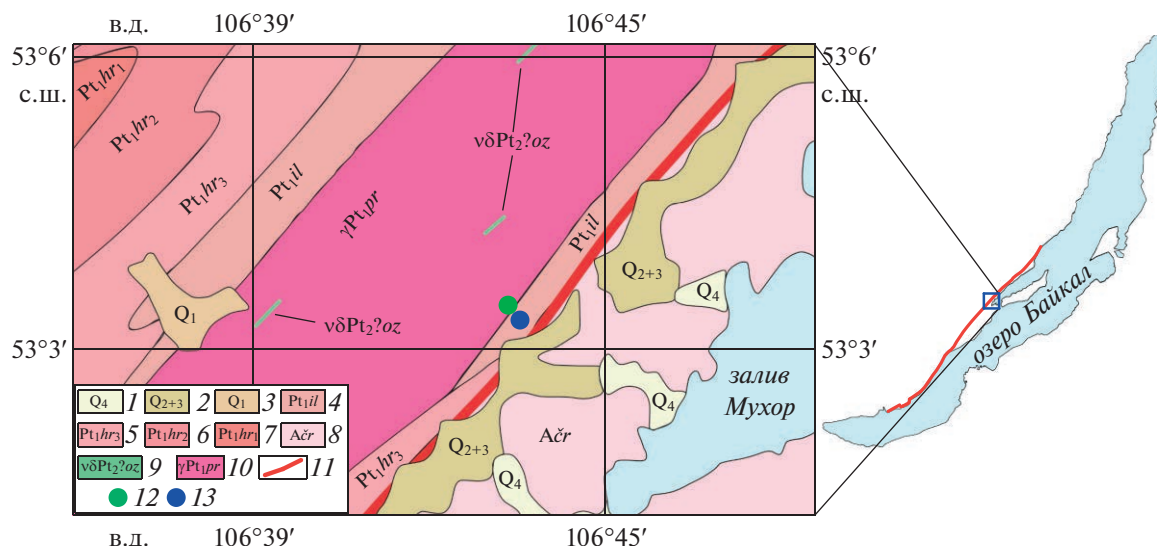


Рис. 1. Геологическая карта участка исследования Приморского разлома (по ВСЕГЕИ, 1960 г.): Четвертичная система. 1 – Современный отдел; 2 – Средний и верхний отделы нерасчлененные; 3 – Нижний отдел; Протерозойская группа. Нижний протерозой. Сарминская серия. 4 – Иликитинская свита; Харгитуская свита. 5 – Верхняя подсвита; 6 – Средняя подсвита; 7 – Нижняя подсвита; 8 – Архейская группа. Святоносская толща. Чернорудская свита; 9 – Среднепротерозойские интрузии Озерского комплекса; 10 – Нижнепротерозойские интрузии Приморского комплекса; 11 – Приморский разлом; 12 – Точка отбора образца Б-21-25; 13 – Точка отбора образца Б-21-33.

бытий и эпизодов магматических проявлений оказываются тесно сближенными [10].

Метаморфические преобразования пород в тектонически активных областях с определением метаморфических фаций и субфаций изучались многими исследователями [2, 4, 5], но особенности влияния коллизионных процессов, происходящих в одно время, на разные петрографические типы пород, недостаточно изучены. Поэтому цель нашей работы состояла в том, чтобы оценить *PT*-условия локального метаморфизма породы в зоне Приморского разлома и показать, как проявлены метаморфические преобразования в породах разного химического состава. В ходе работы были произведены петрографическое описание пород, определение их химического состава, а также определение химического состава породообразующих и метаморфических минералов. Полученные данные дали возможность оценить *PT*-параметры метаморфизма пород, при которых происходило образование метаморфических минералов и определить, какие фации метаморфизма сохранились в разных типах пород при воздействии на них тектонических процессов, происходивших в близких по времени событиях в зоне коллизионного шва, сочленяющего Сибирский кратон и Ольхонский террейн. Петрографическими исследованиями установлено, что центральная часть коллизионного шва в районе реки Хорга сложена бластокатаклазитами по плагиогранитогайеисам, сопрягающимися с катаклазитами по амфибол-биотитовым плагиогнейсам.

По химическому составу плагиогранитогайеис относится к “кислым” породам, а амфибол-биотитовый плагиогнейс к “более основным”, тем не менее, как в плагиогранитогайеисах, так и в амфибол-биотитовых плагиогнейсах были выявлены новообразованные метаморфические минералы групп граната и эпидота, образовавшиеся, по всей вероятности, в процессе последних коллизионных событий в районе главного коллизионного шва Приморского разлома во временном интервале от ~ 510 до ~460 млн лет. Было установлено, что эти породы фиксируют разные стадии метаморфизма последних интенсивных тектонических событий.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Метаморфические породы объекта в районе реки Хорга изучались оптическими, электронно-микроскопическими и химическими методами. Для петрографического изучения пород были изготовлены прозрачно-полированные шлифы, по которым проводилось определение минерального состава и петрографического типа пород. Эти исследования проведены с помощью поляризационного микроскопа NICON Polarizing ECLIPSE 50i POL в проходящем и отраженном свете. Электронно-микроскопические исследования образцов выполнены на сканирующем электронном микроскопе JSM-5610LV (Япония) в отраженных электронах (BSE COMPO), отображающих контраст в зависимости от среднего атомного номера элемента. Электронный микро-

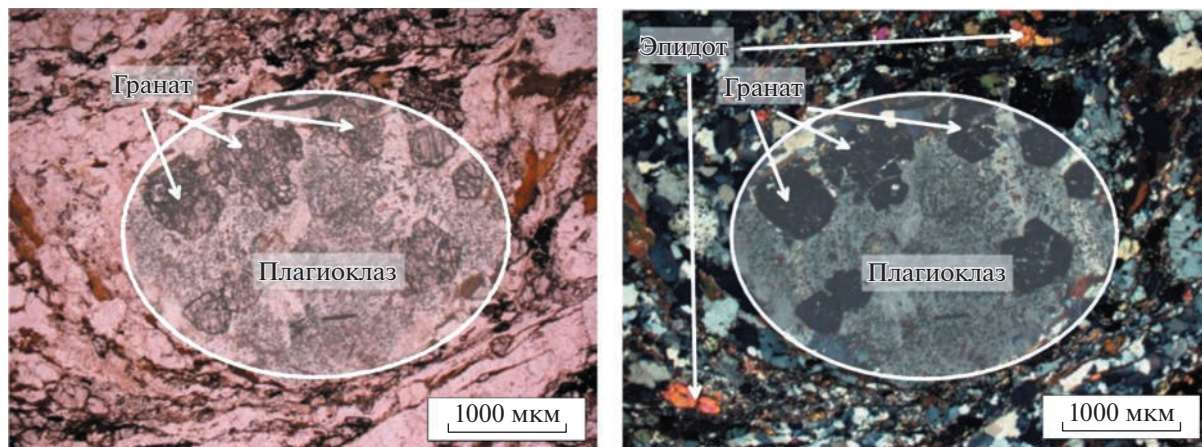


Рис. 2. Блестокатаклазит по плагногранитогайсу, прозрачно-полированный шлиф Б-21-25: слева — фото при одном никеле, справа — фото в скрещенных никелях. Увеличение 20.

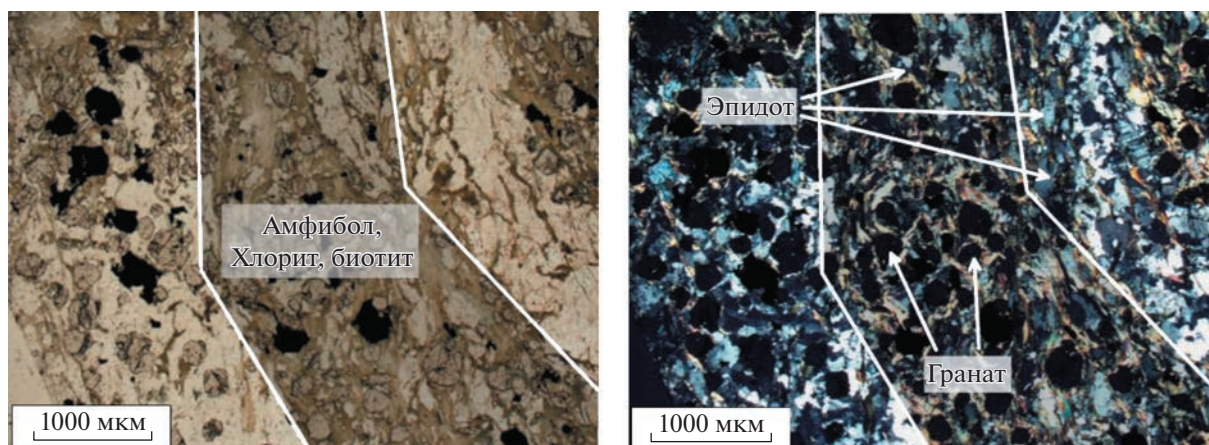


Рис. 3. Катаклазит по амфибол-биотитовому плагногайсу, прозрачно-полированный шлиф Б-21-33: слева — фото при одном никеле справа — фото в скрещенных никелях. Увеличение 20.

скоп оснащен энергодисперсионным аналитическим спектрометром INCA-Energy 450 (Великобритания), который позволяет проводить качественный и полуколичественный анализ с рельефных образцов, и количественный анализ с полированных образцов для определения всех элементов тяжелее “С”. Химический состав породообразующих и метаморфических минералов определялся методом рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) на электронно-зондовом анализаторе “JEOL”-8200. Химический состав пород изучен методом рентгено-флуоресцентного анализа (РФА). Определение концентрации главных оксидов и некоторых микроэлементов в пробах выполнено методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (XRF) на вакуумном спектрометре последовательного действия (с дисперсией по длине волны), модель Axios mAX производства компании “PANalytical” (Нидерланды). Спектрометр снабжен рентгеновской

трубкой мощностью 4 кВт с Rh-анодом. Максимальное напряжение на трубке 60 кВ, максимальный анодный ток 160 мА. Оценка *PT*-параметров метаморфизма проводилась методом мультиминеральной термобарометрии (метод TWEEQU [15] с использованием взаимно согласованных термодинамических данных [7, 12, 14–16], которые сведены в электронную базу данных DEC06, адаптированную для расчетов этим методом. Расчет термодинамических характеристик слюд проводился с учетом корректировки соотношения $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ в их кристаллохимических формулах (СМЗ). Состав эпидота учитывался с помощью введения активности C_{Zr} в предположении об идеальности твердого раствора эпидота и смешения Fe^{3+} и Al только на двух из трех октаэдрических позиций в структуре, что соответствует выражению $a_{C_{\text{Zr}}} = [(\text{Al}-1)/(\text{Al}-1 + \text{Fe})]^2$. В образце 25 $a_{C_{\text{Zr}}} = 0.48$; в образце 33 $a_{C_{\text{Zr}}} = 0.37$. Для расчета

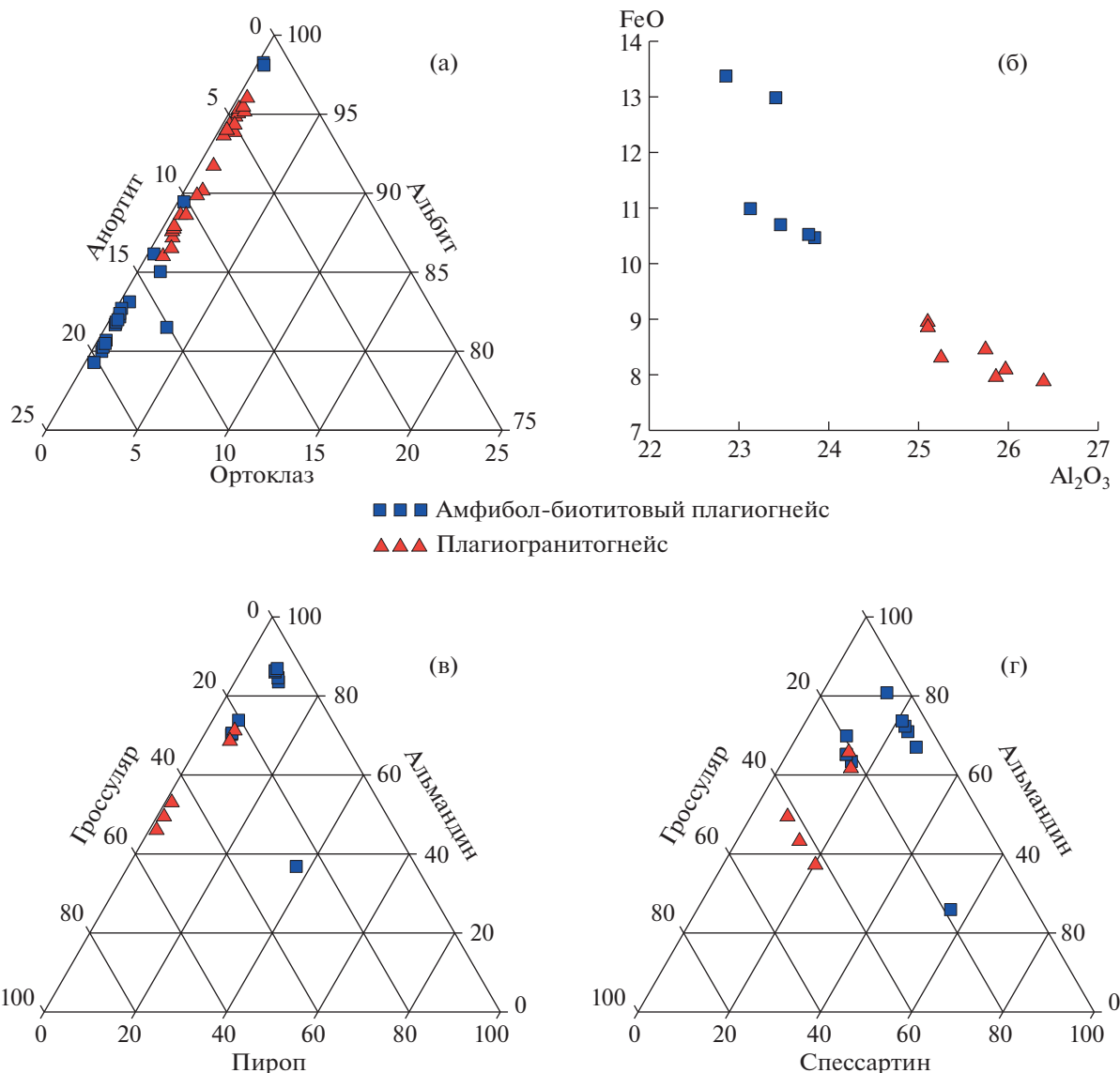


Рис. 4. Химический состав плагиоклазов, граната и эпидота в метаморфических породах центральной части Приморского разлома: а) плагиоклазы; б) эпидот; в) и г) гранаты.

равновесий с участием слюд и клиноцоизита активность H_2O во флюиде условно принята равной 1, хотя в реальных условиях эта величина может быть существенно ниже. Все расчеты и построение линий моновариантных равновесий проводились с использованием программ win TWQ_v234 (автор Р. Берман) и приложений к TWQ_view TWQ_comb (автор Д.В. Доливо-Добровольский). Примеры термобарометрических оценок приведены на рис. 5 и 6.

ПЕТРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД

Бластокатаклазит по плагиогранитогнейсу (образец Б-21-25). Крупные (до 3мм) порфиробла-

сты плагиоклаза погружены в матрикс, состоящий из перетертого слюдястого материала и тонко гранулированного кварца. По полевым шпатам развиты эпидот, гидрослюды и гранат. В матриксе также отмечено образование рассеянных и очаговых скоплений кристаллов эпидота и граната. Минеральный состав, %: кварц – 45; полевые шпаты – 28; эпидот – 10; амфибол – 5; биотит – 2; гранат – 10. На рис. 2 иллюстрируется фрагмент плагиогранитогнейса, в центральной части которого располагается крупный вкрапленник плагиоклаза, по которому развивается сосюрит и гранат; он окружен матриксом тонкогранулированного кварца, в межзерновом пространстве которого выделяется эпидот.

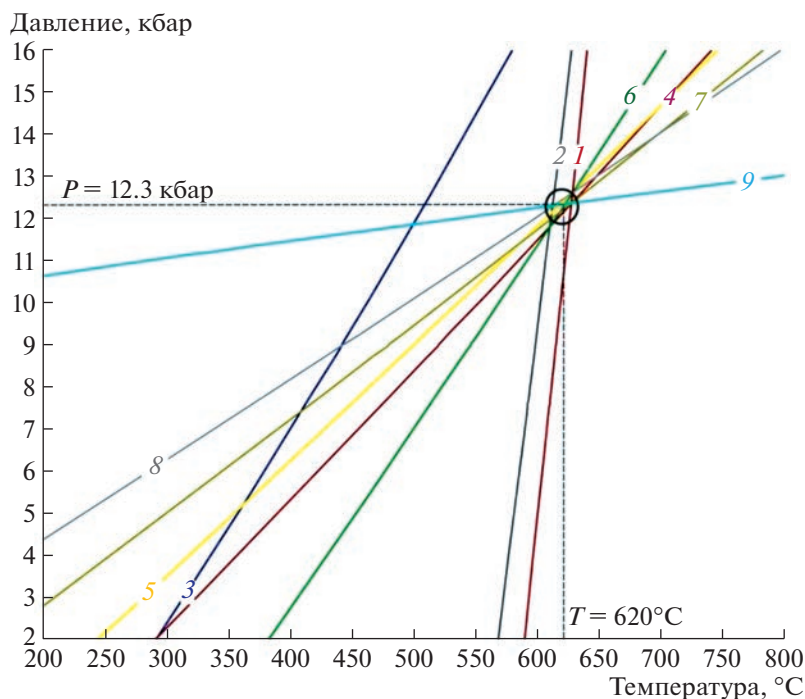


Рис. 5. Линии моновариантных равновесий для эпидотизированных гранат-биотитовых хлорит-амфиболовых сланцев (обр. Б-21-33). Номера соответствуют уравнениям минеральных равновесий: 1) $\text{Alm} + \text{Phl} = \text{Prp} + \text{Ann}$; 2) $3\text{Eas} + 2\text{Alm} = 2\text{Prp} + 3\text{Sid}$; 3) $\text{Qtz} + 4\text{cZo} = \text{Grs} + 5\text{An} + 2\text{H}_2\text{O}$; 4) $3\text{Sid} + 6\text{Qtz} + 2\text{Grs} + \text{Alm} = 3\text{Ann} + 6\text{An}$; 5) $6\text{Qtz} + 2\text{Grs} + 3\text{Eas} + \text{Alm} = \text{Ann} + 6\text{An} + 2\text{Phl}$; 6) $3\text{Alm} + 3\text{Eas} + 2\text{Grs} + 6\text{Qtz} = 2\text{Prp} + 6\text{An} + 3\text{Ann}$; 7) $3\text{Sid} + 6\text{Qtz} + \text{Prp} + 2\text{Grs} = 2\text{Ann} + 6\text{An} + \text{Phl}$; 8) $6\text{Qtz} + \text{Prp} + 2\text{Grs} + 3\text{Eas} = 6\text{An} + 3\text{Phl}$; 9) $3\text{Sid} + 6\text{Qtz} + 3\text{Prp} + 2\text{Grs} = 2\text{Alm} + 6\text{An} + 3\text{Phl}$.

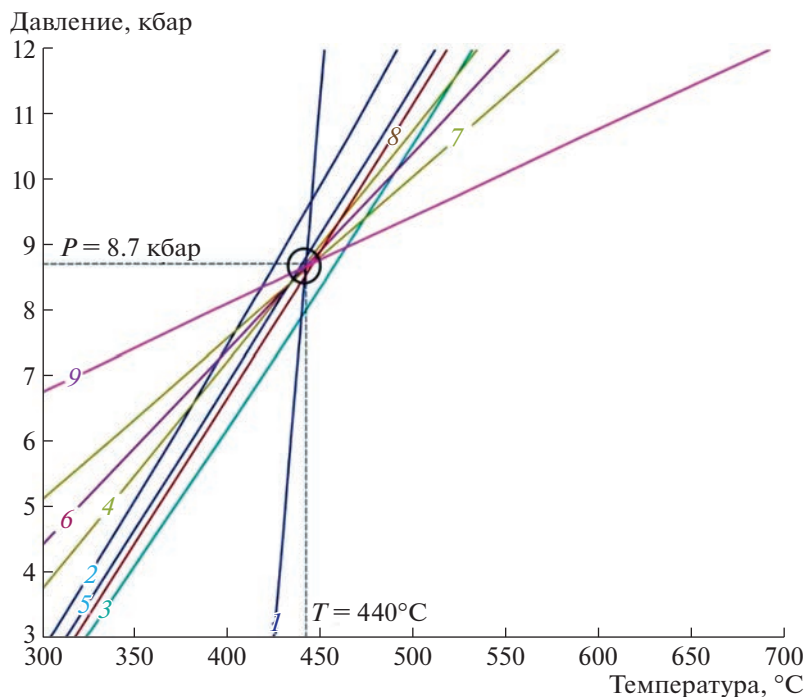


Рис. 6. Линии моновариантных равновесий для эпидотизированных гранат-биотитовых плагиогранитогайнейсов (обр. Б-21-25). Номера соответствуют уравнениям минеральных равновесий: 1) $\text{Alm} + \text{Phl} = \text{Prp} + \text{Ann}$; 2) $\text{Qtz} + 4\text{cZo} = \text{Grs} + 5\text{An} + 2\text{H}_2\text{O}$; 3) $\text{Pg} + 2\text{Qtz} + 2\text{cZo} = 4\text{An} + \text{Ab} + 2\text{H}_2\text{O}$; 4) $3\text{Sid} + 6\text{Qtz} + 2\text{Grs} + \text{Alm} = 3\text{Ann} + 6\text{An}$; 5) $3\text{Sid} + 6\text{Qtz} + \text{Grs} = 2\text{Ann} + 3\text{An} + \text{Ms}$; 6) $\text{Alm} + \text{Grs} + \text{Ms} = 3\text{An} + \text{Ann}$; 7) $2\text{Alm} + \text{Grs} + 3\text{Ms} = 3\text{Sid} + 6\text{Qtz} + 3\text{An}$; 8) $2\text{Alm} + 2\text{Ms} + \text{Phl} = 3\text{Sid} + 6\text{Qtz} + \text{Prp}$; 9) $\text{Prp} + \text{Ms} + \text{Grs} = 3\text{An} + \text{Phl}$.

Таблица 1. Химический состав пород (РФА)

Оксиды, %	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅
обр. Б-21-25	4.56	0.81	14.75	67.32	2.45	2.71	0.63	0.08	5.09	0.18
обр. Б-21-33	3.37	3.28	15.9	48.49	2.8	2.34	1.05	0.39	20.28	0.1
Элементы, ppm	Ba	Zr	Sr	Cr	V	Zn	Rb	Ni	Cu	Zn
обр. Б-21-25	2555	505	210	14	61	62	87	<10	72	62
обр. Б-21-33	333	176	144	132	196	137	160	43	71	137

Катаклазит по амфибол-биотитовому плагиогнейсу (образец Б-21-33), который в процессе метаморфических преобразований изменен до хлорит-амфиболового сланца, который затем подвергся динамическому воздействию с образованием матрикса, состоящего из гранулированного кварца, раздробленного полевого шпата, биотита. В матриксе отмечаются выделения тонкозернистого эпидота (0.01–0.1 мм) и более крупных (0.1–0.15 мм) кристаллов граната; кварц гранулирован и находится в тонком срастании с серицитом и биотитом; матрикс перемят во взаимно перпендикулярных направлениях, полевые шпаты в нем замещаются эпидотом; гранат отмечается по всей площади шлифа (рис. 3). Амфибол замещается хлоритом и биотитом, агрегаты этих минералов образуют лентообразные выделения, обуславливающие сланцеватость. Минеральный состав, %: кварц – 38; полевые шпаты – 7; амфиболы – 10, хлорит – 25, гранат – 15, биотит – 3, эпидот – 2.

Исходя из химического состава, порода обр. Б-21-25 относится к области “кислых” пород (граниты), а порода, представленная обр. Б-21-33, к “более основным”. Эти породы слагают центральную часть Приморского разлома на участке Хорга и при тектонических подвижках, происшедших в указанное выше время, находились в близких термодинамических условиях.

В процессе работы был изучен химический состав породообразующих и метаморфических минералов в этих породах, который показал, как новообразованные эпидот и гранат различаются по химическому составу, в зависимости от типа породы, в которой они образовались (рис. 4).

По химическому составу плагиоклазы разделяются на две группы: в плагиогранитоогнейсе содержание An находится в пределах 3.39–13.02 ($Ab_{86.14-96.17}An_{3.39-13.02}Or_{0.33-1.05}$), а в амфибол-биотитовом плагиогнейсе – значительно увеличивается содержание анортитовой компоненты до 20 ($Ab_{79.28-98.27}An_{13.51-20.23}Or_{0.28-3.36}$) (рис. 4 а). Соответственно, химический состав эпидота в образце Б-21-25 (плагиогранитоогнейс) более глиноземистый и менее железистый по сравнению с образцом Б-21-33 (амфибол-биотитовый плагиогнейс) (рис. 4 б). Гранаты, образовавшиеся в плагиогра-

нитоогнейсе, преимущественно отличаются высоким содержанием гроссулярового и спессартиновоминалов (рис. 4 в, г), в то время как в гранатах по амфибол-биотитовому плагиогнейсу преобладает альмандиновый минал. Кроме того, как в той, так и в другой породе присутствуют гранаты, очень близкие по химическому составу, образуя обособленную группу. В приложении представлены таблицы полного химического состава плагиоклазов, биотита и граната из плагиогранитоогнейса (обр. Б-21-25) и амфибол-биотитового плагиогнейса (обр. Б-21-33), данные из которых были использованы при расчете *PT*-условий метаморфизма в этих породах.

ТЕРМОБАРОМЕТРИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД

Для термобарометрических оценок было выбрано два образца, отобранных из разных по петрографическому составу пород: обр. Б-21-25 – плагиогранитоогнейс; Б-21-33 – хлорит-амфиболовый сланец, содержащих в небольшом количестве мусковит и эпидот. Оба образца характеризовались однородной текстурой и равновесными срастаниями главных породообразующих минералов без явных признаков коррозии или реакционного взаимодействия.

В образце Б-21-33 практически все комбинации минералов переменного состава – биотита и граната демонстрируют удовлетворительное пересечение линий моновариантных равновесий. В этих равновесиях, как правило, участвуют только наиболее “основные” анализы плагиоклазов, соответствующие альбит-олигоклазу $An = 10–16$ мол. %. Равновесия с более “кислыми” плагиоклазами – альбитами не образуют хороших пересечений. Пересечение линий равновесий для одной из характерных комбинаций составов приведено на рис. 5. По всей совокупности анализов получен интервал оценок $P = 9.0–13.5$ кбара, $T = 560–630^\circ\text{C}$. Однако равновесия с участием эпидота (например, равновесие (3)) смещено в более низкотемпературную область от области пересечения линий минеральных равновесий, в которых эпидот не участвует (более чем на 150°C). Уменьшение активности воды в системе приводит к еще большему смещению равновесия (3) в низкотем-

пературную область. Следовательно, такое расположение линий минеральных равновесий может указывать на то, что эпидот в данной породе не равновесен с гранатом, биотитом и плагиоклазом. Вероятно, что эпидот мог сформироваться в этой породе при низкотемпературных преобразованиях главного гранат-биотит-плагиоклазового парагенезиса.

В образце Б-21-25 ситуация совершенно иная. В большинстве комбинаций из составов минералов — граната, биотита и плагиоклаза — не обнаруживается даже удовлетворительного пересечения линий моновариантных равновесий в локальной области. Следовательно, мы можем предположить, что равновесие в этой породе было нарушено при протекании каких-то более поздних процессов; первичные составы минералов не сохранились. Однако наиболее железистые разновидности биотита и граната образуют линии равновесий с участием эпидота и мусковита, сходящиеся в локальной области. Хорошее пересечение наблюдается только при достаточно кислом составе плагиоклаза, соответствующего альбиту — $An = 5-9$ мол. % (рис. 6). По всей совокупности комбинаций составов, показавших хорошие пересечения линий моновариантных равновесий, был получен интервал оценок $P = 8-10$ кбар и $T = 440-450^\circ\text{C}$. Линии минеральных равновесий с участием эпидота, мусковита и воды хорошо ложатся в точку пересечения линий минеральных равновесий других (безводных) минералов. При этом активность воды в системе задавалась равной 1.00. Следовательно, мы можем предполагать, что рассматриваемая минеральная ассоциация сформировалась под действием существенно водного флюида.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе установлено, что в разных по петрографическому и химическому составу породах, находящихся в близком контакте друг с другом и подвергшихся близким динамическим воздействиям, сопровождающимися повышением температуры и давления, сохраняются разные уровни метаморфических преобразований. Исходя из результатов, полученных при изучении серии из двух шлифов, можно сказать, что в данном метаморфическом комплексе наблюдалось два события метаморфического минералообразования. Первое событие — вероятно, региональный метаморфизм — отвечает амфиболитовой фации метаморфизма умеренной температуры и повышенного давления, пограничной с эклогитовой фацией (согласно сетке фаций метаморфизма С.А. Бушмина и В.А. Глебовицкого [4, 5]). Этому событию отвечает ассоциация гранат + биотит + плагиоклаз (олигоклаз $An 10-16$), представленная в образце Б-21-33. В этом образце минералы

новообразованной ассоциации, содержащей эпидот, взаимно не равновесны. Возможно, это является следствием незавершенности метаморфических реакций минералообразования. Второе событие отвечало самой низкотемпературной области эклогитовой фации (парагонит-кианит-цоизитовой субфации), пограничной с фацией зеленых сланцев. В ходе второго события происходило изменение составов главных минералов: биотит и гранат становились более железистыми, а состав плагиоклаза приближался к альбиту. Кроме того, в равновесии с этими минералами сформировались новые минералы — эпидот и мусковит. Минералы, отвечающие второму событию, сформировали взаимно равновесную ассоциацию только в более кислых породах — гранат-биотитовых плагиогнейсах. Достаточно высокobarический уровень второго события позволяет предполагать, что в этой области был устойчив не эпидот, а его высокobarическая разновидность — цоизит, который впоследствии заместился более железистым эпидотом при выводе комплекса на менее глубокие уровни коры.

Установленные два метаморфических события могли развиваться как в одном цикле метаморфизма, так и принадлежать к разным циклам. В первом случае мы можем интерпретировать эту последовательность как остывание метаморфического комплекса на глубине нижней-средней коры. Во втором — как низкотемпературную эпидотизацию и мусковитизацию более древних высокobarных и высокотемпературных метаморфических комплексов в условиях повторного метаморфизма в зоне Приморского разлома.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа по определению PT -условий метаморфизма была выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 20-77-10087). Коллекционирование и хранение образцов поддерживаются в рамках темы государственного задания № 122032900178-7.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бибикина Е.В., Карпенко С.Ф., Сумин Л.В., Богдановская О.Г., Кирнозова Т.И., Ляликов А.В., Макаров В.А., Аракелянц М.М., Кориковский С.П., Федоровский В.С., Петрова З.И., Левицкий З.И. U-Pb, Sm-Nd и K-Ar возраст метаморфических и магматических пород Приольхонья (Западное Прибайкалье) // Геология и геохронология докембрия Сибирской платформы и ее обрамления. Л.: Наука. 1990. С. 170–183.
2. Бушмин С.А., Глебовицкий В.А. Схема минеральных фаций метаморфических пород // Зап. РМО. 2008. Ч. CXXXVII. № 2. С. 1–13.
3. Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Федоровский В.С., Мазукабзов А.М. Происхождение и эволюция Оль-

- хонского террейна: синтез петрологических и геохронологических (SHRIMP-II) данных // Геодинамическая эволюция Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). 2007. Т. 1. № 5. С. 55–57.
4. Глебовицкий В.А. Проблема эволюции метаморфических процессов в подвижных областях. Л.: Наука. 1973. 128 с.
 5. Глебовицкий В.А. Термо- и барометрия метаморфических пород. Л.: Наука. 1977. С. 5–39.
 6. Донская Т.В., Гладкохуб Д.П., Федоровский В.С., Мазукабзов А.М., Чо М., Чонг В., Ким Дж. Синметаморфические гранитоиды (~490 млн. лет) – индикаторы аккреционной стадии в эволюции Ольхонского террейна (Западное Прибайкалье) // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 10. С. 1543–1561.
 7. Перчук А.Л., Аранович Л.Я. Термодинамика жадеит-диопсид-геденбергитового твердого раствора // Геохимия. 1991. № 4. С. 539–547.
 8. Ружич В.В., Кочарян Г.Г., Травин А.В., Савельева В.Б., Остапчук А.А., Рассказов С.В., Ясныгина Т.А., Юдин Д.С. Определение P – T условий при формировании сейсмогенных подвижек по глубинному сегменту краевого шва Сибирского кратона // ДАН. 2018. Т. 4. № 481. С. 1–4.
 9. Скляр Е.В., Федоровский В.С., Котов Ф.Б., Лавренчук Ф.Б., Мазукабзов А.М., Левицкий В.И., Сальникова Е.Б., Старикова А.Е., Яковлева С.З., Анисимова И.В., Федосеенко А.М. Карбонатиты в коллизионных обстановках и квазикарбонатиты раннепалеозойской ольхонской коллизионной системы // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 12. С. 409–427.
 10. Травин А.В., Юдин Д.С., Владимиров А.Г., Хромых С.В., Волкова Н.И., Механюшин А.С., Колотилина Т.Б. Термохронология Чернорудской гранулитовой зоны (Ольхонский регион, Западное Прибайкалье) // Геохимия. 2009. № 11. С. 1181–1199.
 11. Федоровский В.С., Скляр Е.В. Ольхонский геодинамический полигон (Байкал): Аэрокосмические данные высокого разрешения и геологические карты нового поколения // Геодинамика и тектонофизика. 2010. Т. 1. № 4. С. 331–418.
 12. Aranovich L.Y., Berman R.G. Optimized standard state and solution properties of minerals: II. Comparisons, predictions, and applications. // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1996. V. 126. P. 25–37. <https://doi.org/10.1007/S004100050232>
 13. Berman R.G., Aranovich L.Y., Pattison D.R.M. Reassessment of the Garnet-Clinopyroxene Fe-Mg exchange thermometer: II. Thermodynamic analysis. // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1995. V. 119. P. 30–42. <https://doi.org/10.1007/BF00310715>
 14. Berman R.G., Aranovich L.Y. Optimized standard state and solution properties of minerals: I. Model calibration for olivine, orthopyroxene, cordierite, garnet, and ilmenite in the system FeO-MgO-CaO-Al₂O₃-TiO₂-SiO₂. // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1996. V. 126. P. 1–24. <https://doi.org/10.1007/S004100050232>
 15. Berman R.G. Thermobarometry using multiequilibrium calculations: a new technique with petrologic applications. // Canadian Mineralogist. 1991. V. 29. P. 833–855.
 16. Mader Urs K., Berman R.G. Amphibole thermobarometry: a thermodynamic approach. // Current Research: Geological Survey of Canada. 1992. № 92-1E. P. 393–400.

METAMORPHIC TRANSFORMATIONS OF ROCKS IN THE CENTRAL PART OF THE PRIMORSKY FAULT. WESTERN BAIKALIA

A. V. Grigor'eva^{a,b,#}, V. M. Kozlovskiy^a, G. A. Gridin^b, and A. A. Ostapchuk^b

^a*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

^b*Sadovsky Institute for Dynamics of Geospheres, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

[#]*E-mail: grig@igem.ru*

Presented by Academician of the RAS L.Ya. Aranovich April 20, 2023

In this paper we compare metamorphic transformations in acid and mafic rocks in a zone of intense tectonic movements. The object of study is the exhumed part of damage zone of Primorsky fault – main collision suture, which connects the Siberian Craton and the Olkhon Terrane. The studied area is located near the Khoruga River. Collected metamorphic rock samples are represented by both acid (plagiogranitegneiss) and mafic (amphibole-biotite plagiogneisses) rocks. The samples present two different parent rocks contacting each other but differ in chemical composition. The formation of identical metamorphic minerals belonging to the groups of garnet and epidote is noted in both types of rocks. Mineral formation was associated with high-pressure regional metamorphism and possibly with later collision. Studying chemical composition of rock-forming minerals has allowed to determine the P - T condition of metamorphism in these rocks via the method of multiminer thermobarometry. It was established that conditions of early metamorphism retain in amphibole-biotite plagiogneiss. Early metamorphism is characterized by high-pressure amphibolite facies of medium temperature next to eclogite facies. In plagiogranitegneisses were found conditions of later metamorphism that formed rocks at the same pressure but at a lower temperature in the paragonite-kyanite-zoisite subfacies of the eclogite facies next to the greenschist facies. Minerals formed in the early metamorphism are poorly preserved.

Keywords: metamorphism, Primorsky fault, plagiogranitegneiss, amphibole-biotite plagiogneisses, epidote, garnet, mineral equilibrium, P – T conditions