

1. Алексеев А.С., Олферьев А.Г., Шик С.М. Объяснительная записка к унифицированным стратиграфическим схемам верхнего мела Восточно-Европейской платформы. СПб., 1995. 58 с.
2. Андрухович А.О. Разноранговые глинисто-карбонатные циклиты в верхнемеловых отложениях Крыма и запада Средней Азии // Новые достижения в науках о Земле. Тез. докл. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников, аспирантов и студентов МГГА. М., 1994. 9 с.
3. Атабекян А.А., Лихачева А.А. Верхнемеловые отложения Западного Копетдага // Проблемы нефтегазоносности Средней Азии. Л.: Гостоптехиздат, 1961. 242 с.
4. Атлас литолого-палеогеографических карт СССР / Под ред. А.Н.Виноградова. Т. III. М., 1969.
5. Бушинский Г.И. Литология меловых отложений Днепровско-Донецкой впадины // Тр. ИГН АН СССР. В. 156. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 308 с.
6. Бушинский Г.И., Шуменко С.И. Песчаный мел и его происхождение // Литолог. и полезные ископаемые. 1979. № 2. С. 37—55.
7. Верхний мел юга СССР / М.М. Алиев, Н.А. Крылов, М.М. Павлов и др. М.: Наука, 1986. 232 с.
8. Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 1. Русская платформа. Л.: Недра, 1985. 356 с.
9. Доронин Ю.П. Региональная океанология. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 304 с.
10. Назаревич И.А. Формации нижнего мела восточной части Русской плиты // Формации осадочных бассейнов. Увсес. семинар, 4—6 февраля 1985 г. Тез. докл. М., 1985. С. 81—82.
11. Смирнов Ю.П. Региональная стратиграфия верхнего мела и дания Северного Кавказа и Предкавказья. Автореферат дисс. докт. геол.-мин. наук. Ставрополь-Москва, 1998. 44 с.
12. Цейслер В.М. Введение в тектонический анализ осадочных формаций. М.: Наука, 1977. 152 с.
13. Цейслер В.М. Формационный анализ. М.: Изд-во РУДН, 2002. 186 с.
14. Эйнзель Г. Известняково-мергельные циклы (периоды): диагностика, значение, причины образования // Циклическая и событийная седиментация / Под ред. Г. Эйнзеля, А. Зейлаха. М.: Мир, 1985. С. 16—63.
15. Romaine J., Cita M.B., Decourt J., Boyusse P., Retto F.L., Faure-Muret A. International stratigraphic chart. IUGS. 2004.

Московский государственный
геологоразведочный университет
Рецензент — В.М. Цейслер

УДК 551.2

К.А. ДОКУКИНА

КОЛЛИЗИОННАЯ СИСТЕМА ЗАПАДНОГО ПРИБАЙКАЛЯ: СООТНОШЕНИЕ СИНМЕТАМОРФИЧЕСКИХ ГРАНИТНЫХ ЖИЛ И МРАМОРНОГО МЕЛАНЖА

В коллизионной системе Западного Прибайкалья обнаружены необычные типы контактовых соотношений между синметаморфическим мраморным меланжем и синсдвиговыми гранитами. Взаимопроникающие контакты флюидальные, пламенеvidные и другие характерны для границ двух жидкостей с разной вязкостью при их взаимодействии. Показано, что генезис таких образований связан со специфическими условиями взаимодействия гранитного расплава и мраморов, обладавшими предельно низкой вязкостью при реализации сдвигового тектогенеза в условиях амфиболитовой фации метаморфизма.

В каледонской коллизионной системе Ольхонского региона (рис. 1) в пределах распространения пород амфиболитовой фации метаморфизма (силлиманитовая ступень) обнаружены необычные соотношения между породами мраморного меланжа и синсдвиговыми дуплекс-гранитами. Контакты между гранитоидами и мраморным меланжем неровные, фестончатой и пламенеvidной форм.

Метаморфические породы Ольхонского террейна характеризуются зональностью с постепенной сменой фаций: от эпидот-амфиболитовой до гранулитовой. Породы несут следы деформаций покровного, листрического, купольного и сдвигового генезисов, отражающие раннепалеозойские коллизионные события [7]. Деформации сопровождались внедрением синметаморфических гранитов. Наиболее широко распространены граниты, связанные со сдвиговым этапом тектогенеза. Синсдвиговые граниты занимают разные структурные позиции: внедряются согласно главному направлению сдвигового транспорта, заполняют оперяю-

щие трещины Риделя или структуры растяжения типа пулл-аппарт. В участках транспрессии, с выжатными из зон максимального сжатия вторичными покровами, недавно обнаружены субгоризонтальные гранитные жилы, сопровождающие образование дуплекс-структур.

Синметаморфические дуплекс-граниты выявлены на участке Нутгей в породах, измененных в условиях амфиболитовой фации метаморфизма (силлиманитовая ступень). Здесь развиты мраморный меланж и гранитные жилы. На контакте мраморный матрикс меланжа и граниты обнаруживают необычные соотношения.

Участок Нутгей

Исследованный участок (рис. 2) расположен в пределах Нутгейского домена, который приурочен к сдвиговой пластине, под углом $\approx 15^\circ$ примыкающей к Главной сдвиговой зоне [7]. В пределах пластины установлена система крупных лежащих складок и пакетов покровных пластин, образованных в

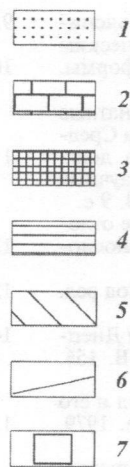
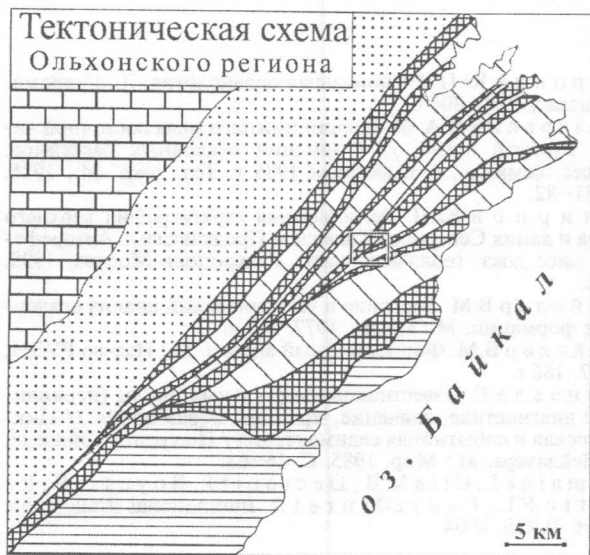


Рис. 1. Тектоническая схема Ольхонского региона (по [7]): 1–2 – Сибирская плита: 1 – линейно-складчатые и гнейсово-купольные ансамбли, образованные раннедокембрийскими метаморфитами, 2 – платформенный чехол, неметаморфизованные слабдеформированные осадочные толщи рифея и палеозоя; 3–6 – Ольхонский террейн: 3 – синметаморфические линейные покровные и сдвиговые складчатые ансамбли, образованные метаосадочными породами и метамагматами, в том числе метабазами толситовой серии; 4 – синметаморфические линейные покровные и сдвиговые складчатые ансамбли, сформированные метаосадочными породами и метамагматами шошонитовой серии; 5 – гнейсово-купольные зоны; 6 – границы основных сдвиговых пластин и чешуй, 7 – участок Нутгей

основном кварцитами и мраморами, реже карбонатно-силикатными гнейсами, амфиболитами, метагабброидами [1]. Лежачие складки деформированы куполами, а также многочисленными узкими синметаморфическими сдвиговыми зонами, переработанными и купола, и лежачие складки, и пакеты покровных пластин. В пределах Нутгейского поля породы изменены в условиях амфиболитовой фации (изограда силлиманита).

Участок с запада ограничен бластомилонитовым швом, отделяющим Нутгейскую сдвиговую пластину от Главной сдвиговой зоны. С севера его ограничивает крупная правосдвиговая складка с субвертикальными шарниром и осевой плоскостью, граница которой также маркируется милонитовым швом. В строении участка выделяют карбонатно-силикатные породы, кварциты, мраморный меланж и турмалиновые гранитные жилы (рис. 2). Меланж формирует пологие тела, несогласно срезающие складчатые карбонатно-силикатные гнейсы.

Мраморный меланж широко развит на всей территории Ольхонского региона во всех метаморфических зонах. Меланж представляет собой тектоническую смесь: крупные и мелкие обломки метаморфических и магматических пород пестрого состава, сцементированные мраморным матриком белого или светло-серого цвета. Происхождение меланжа В.С. Федоровский связывает со сдвиговым этапом тектогенеза, «возникновением локальных, но многочисленных узлов концентрации напряжения. Неравновесные по давлению ситуации в реологически неоднородной геологической среде завершились тектоническим выжиманием и протрузией мраморов, давших начало меланжу [6, с. 43]. Локальные концентрации напряжений при сдвиговых деформациях реализуются как сочетание сжатия и сдвига и соответствуют обстановке транспрессии [10].

На участке Нутгей (рис. 2) в меланже представлены обломки силикатно-карбонатных пород в карбонатном матрике. Цвет мраморов от серого до темно-серого. Поле меланжа находится в тылу крупной правосдвиговой сигмоидальной складки. В меланже локализируются граниты, которые представлены комплексом эшелонированных тел двух морфологических типов: субгоризонтальные склад-

чатые тела и субвертикальные дайки. Пологозалегающие тела деформированы вместе с породами меланжа в кулисообразные ассиметричные складки с субгоризонтальными шарнирами и наклонными осевыми плоскостями. Простираение шарниров складок 20–35°, осевые плоскости субпараллельны направлению основных сдвиговых деформаций в Нутгейском домене, углы погружения осевых плоскостей варьируют от субвертикальных до 40° (падение на северо-запад). Амплитуда складок не превышает несколько десятков метров. Видимая мощность пологозалегающих тел колеблется от одного до нескольких десятков метров. Внутренняя структура деформированных гранитных тел не свидетельствует о наложенной складчатости. Субвертикальные дайки небольшой мощности (от 50 см до 1,5 м) деформированы с образованием в плане Z-образных изгибов и кулисообразных разрывов. Установлен парагенезис двух типов тел: вертикальная дайка по простиранию переходит в пологое гранитное тело, далее по простиранию, когда заканчивается пологое тело, опять наблюдается маломощная вертикальная дайка (рис. 2, б-д). По-видимому, субвертикальные дайки играют роль магмоподводящих каналов для формирования пологих тел.

Структуры гранитов варьируют от аллотриоморфных до гипидиоморфных, порфириовидные разновидности редки; преобладают пегматоидные разновидности, в которых обычны графические взаимоотношения кварца и полевых шпатов. Граниты лейкократовые, хорошо раскристаллизованные, сложенны кварцем, альбит-олигоклазом и калиевым полевым шпатом, присутствует турмалин и мусковит. Кристаллы турмалина (0,5–7 см) разноориентированные, образуют характерные сростания. По соотношению $\text{SiO}_2/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ граниты относятся к субщелочным (содержание $\text{SiO}_2 \approx 75$ мас. %) с высококалиевым уклоном (8,27–8,83 мас. % K_2O ; 2,12–1,93 мас. % Na_2O) и аномально низким содержанием редкоземельных элементов ($\Sigma \text{PЗЭ}$ 7,7%), в том числе Eu (0,09 ‰). Одновременно установлены низкие концентрации Ba (82–88 ‰) и Sr (80–100 ‰), т. е. элементов, коэффициент распределения которых между расплавом и флюидом смещен в сторону последнего [2]. В некоторых

случаях составы гранитов обнаруживают признаки контаминации гранитных расплавов карбонатным матриксом. Иногда на контакте в мраморах наблюдается очень тонкие (0,5–2,5 см) зоны с повышенным содержанием кристаллов диопсида и графита. Отсутствие ярко выраженных зон закалки на границе гранитов и мраморов, характер деформирования, неизменная внутренняя структура гранитов

свидетельствуют о синметаморфическом и синкинематическом внедрении этих жил.

На участке Нутгей образование меланжа связано с реализацией обстановки транспрессии в режиме правого сдвига. Протрузии меланжа сопровождаются формированием складок покровного типа и образуют асимметричную структуру «пальмового дерева» (palm tree-structure). На западе уча-

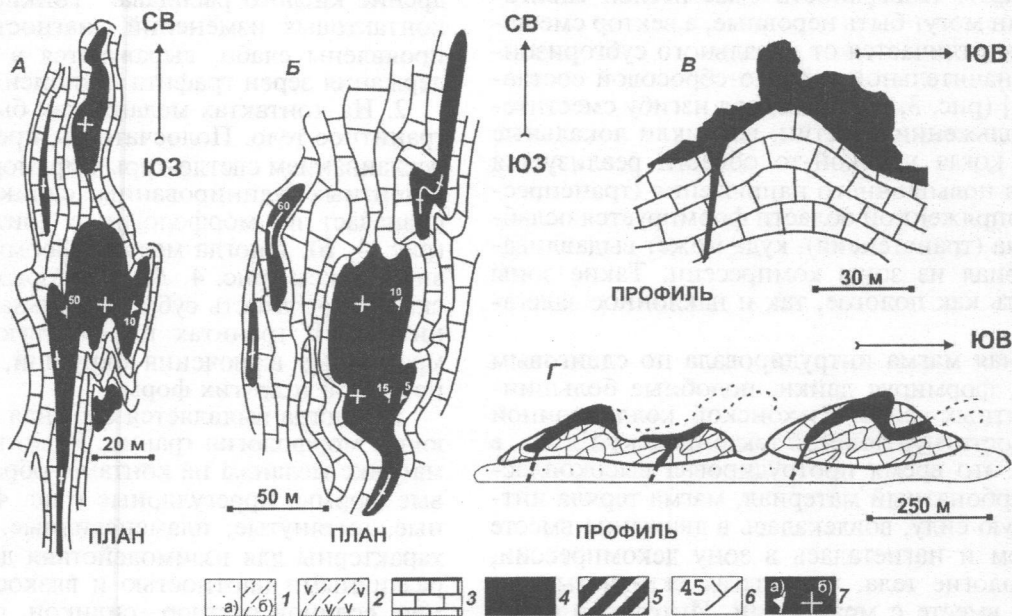
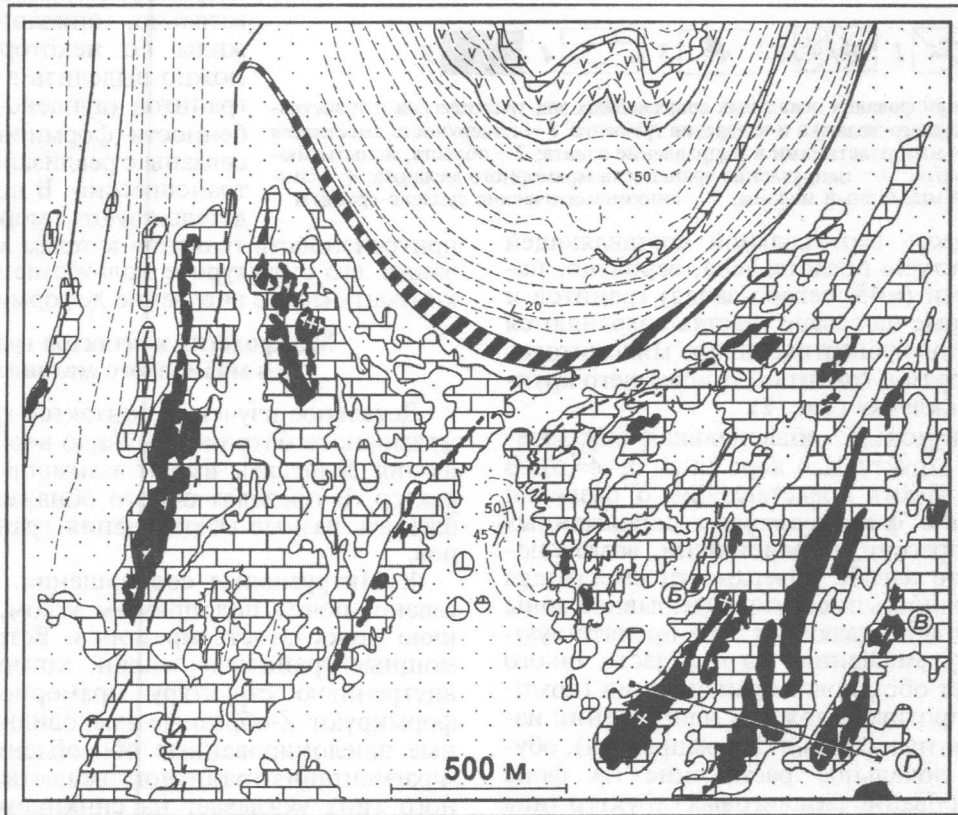


Рис. 2. Геологическая схема участка Нутгей: 1 – амфибол- и пироксенсодержащие силикатно-карбонатные гнейсы: а – картируемые по высыпкам, б – коренные; 2 – кварциты; 3 – мраморы; 4 – жильные синметаморфические граниты с гранатом и турмалином; 5 – милонитовый шов по мраморам и гранитам; б – элементы залегания метаморфических пород; 7 – элементы залегания гранитных жил: а – горизонтального, б – наклонного; А–Г – схематические зарисовки гранитных тел

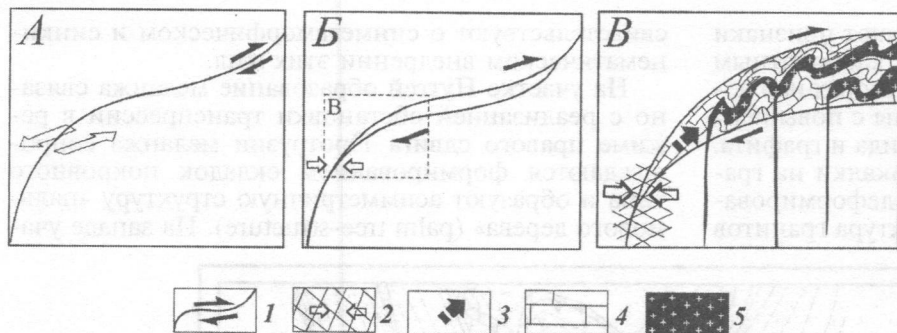


Рис. 3. Модель формирования локальных сопряженных зон транспрессии и транстенсии; протрузии мраморного меланжа и внедрения гранитов: 1 — поверхность сместителя между двумя сдвиговыми пластинами и направление сдвига; 2 — область, испытывающая напряжение сжатия; 3 — направление транспорта мраморного меланжа; 4 — син-метаморфический мраморный меланж; 5 — синкинематические дуплекс-граниты

стка верхняя часть вертикальной составляющей пальмовой структуры представлена, вероятно, наклонными телами ($\approx 45^\circ$ северо-запад) гранитов и мраморов, которые на севере участка сохраняются в виде фрагментов субвертикального милонитового шва по мраморам и гранитам, огибающего крупную сдвиговую складку (рис. 2).

Предлагается модель, объясняющая образование пальмовой структуры в коре (рис. 3, А–В). В основе модели лежит представление о развитии сдвиговой зоны с формированием сопряженных областей транспрессии и транстенсии, возникающих в результате изгиба поверхности сместителя [10]. Если поверхность сместителя разрывной зоны имеет изгиб, ограничивающий или препятствующий сдвиговому смещению, то в области такого изгиба возникает обстановка транспрессии (компрессия), а при противоположном направлении изгиба реализуется транстенсия (декомпрессия), обуславливающая локальное растяжение на фоне сдвига и формирование раздвиговых структур типа «пулл-аппарт». Поверхности сместителей сдвиговых пластин могут быть неровные, а вектор смещения по ним отличается от идеального субгоризонтального значительной взбросо-сбросовой составляющей [1] (рис. 3, А). Благодаря изгибу сместителя при скольжении пластин, возникли локальные ситуации, когда в какой-то области реализуется обстановка повышенного напряжения (транспрессия), а в сопряженной области формируется ослабленная зона (транстенсия), куда может выдавливаться материал из зоны компрессии. Такие зоны могут иметь как пологое, так и наклонное залегание.

Гранитная магма интродировала по сдвиговым трещинам, формируя дайки, подобные большинству гранитных тел в Ольхонской коллизионной системе. Достигнув пологой тектонической зоны, в которую в это время протрудировал высокопластичный карбонатный материал, магма теряла интродуцирующую силу, вовлекалась в движение вместе с меланжем и нагнеталась в зону декомпрессии, образуя пологие тела, испытывая складчатые деформации вместе с мраморами. Интересно отметить, что мощность гранитных жил, выполняющих магмоподводящие каналы в несколько десятков раз меньше, чем мощность пологих гранитных тел.

За пределами распространения мраморного меланжа на участке Нутгей также наблюдаются жилы

синсдвиговых гранитоидов. Это протяженные субвертикальные тела, фиксирующие сдвиговые зоны или занимающие позицию сопряженных трещин. В составе таких гранитоидов существенно снижено содержание калия, в отличие от гранитов, приуроченных к мраморному меланжу [2]. Следовательно, описанные гранитные жилы по некоторым признакам можно выделить в отдельный тип гранитов (дуплекс-граниты), особенности формирования которых связаны с реализацией обстановки транспрессии. В пользу этого свидетельствуют морфология жил, приуроченность гранитов к телам мраморного меланжа, его структурное положение меланжа и синкинематическое внедрение деформированных жил.

Морфология контактов гранитов и мраморного меланжа

Детальное изучение контактов гранитных тел и мраморного матрикса выявило необычные соотношения. Контакты имеют взаимопроникающий характер. В пределах одного обнажения можно наблюдать разные соотношения гранитов и мраморов.

1. Интрузивные соотношения. Граниты несогласно, почти под прямым углом, рвут внутреннюю полосчатость мраморов. Встречаются мало мощные гранитные жилки, которые пересекают внутреннюю структуру мраморного меланжа и формируют Z-образные языковидные и каплевидные эшелонированные обособления (рис. 4, А). Фрагментация гранитного вещества вязкопластичного типа указывает на синкинематическое внедрение кислого расплава. Тонкие зоны (2–5 см) контактовых изменений диагностируются редко, проявлены слабо, выражаются в повышении содержания зерен графита и диоксида в мраморах.

2. На контактах меланж как бы вдавливается в гранитное тело. Полосчатость, представленная переслаиванием светло-серых мраморов и более компетентных будинированных силикатных прослоев, совпадает по морфологии с контактом гранитов (рис. 4, Б). Иногда меланж формирует вытянутые аппендиксы (рис. 4, В), в которых метаморфическая полосчатость субпараллельна контакту с гранитами. В гранитах присутствуют бескорневые мраморные включения округлой, угловатой, серповидной и других форм.

3. Иногда выявляется сложная взаимопроникающая морфология границ. Граниты и мраморный матрикс меланжа на контакте образуют причудливые формы: иррегулярные (рис. 4, Г), флюидальные, вытянутые, пламенеvidные. Такие границы характерны для взаимодействия двух жидкостей с различными плотностью и вязкостью [8] (например, соляной раствор—силикон, глицерин—вода). Таким образом, взаимодействие образований гранитного и мраморного составов происходило, когда гранитный расплав находился в жидком состоянии, а мраморы имели суперпластичные маловязкие свойства. Другой пример флюидального

взаимодействия представлен на рис. 4, Д. Карбонатное вещество внедряется в гранитный расплав, фрагментируется в гранитный расплав, фрагментируется в виде серпообразных капель и как бы рассеивается внутри гранита.

Складки нагнетания в матрице меланжа на контакте с гранитами представлены на рис. 4, Е. Амплитуда складок не превышает 15 см. В 5 м от этого обнажения в гранитном теле выявлена серия поздних кварцевых жил, деформированных в хрупкопластических условиях. Эти жилы и складки нагнетания в мраморах указывают на то, что вязкость гранитного расплава была выше, чем вязкость пластифицированных мраморов.

Обсуждение

Контактные соотношения гранитов и мраморного меланжа на участке Нутгей необычны. Прежде всего бросается в глаза то, что синметаморфическое внедрение гранитов сопровождается формированием морфологии контактовых зон, которая типична для реологического взаимодействия маловязких жидких сред [8]. Смешение жидкостей [13] сопровождается механическими и химическими процессами. Две взаимодействующие жидкости должны испытывать межфазовое поверхностное натяжение и деформацию для увеличения области поверхности их контакта [9, 14]. В таком случае может осуществляться химическая реакция между жидкостями, сопровождающаяся высвобождением или поглощением теплоты, или механическое взаимодействие, когда жидкости контрастны по вязкостным и плотностным свойствам. В геологии известно механическое смешение при взаимодействии кислых и более основных синплутонических магм [13], при взаимодействии маловязких магм с нелитифицированными обводненными осадками [12].

В [11] показано, что в условиях амфиболитовой фации метаморфизма, при соответствующих параметрах давления и высокой температуры среды, мрамор ведет себя как суперпластичное вещество с очень низкими параметрами вязкости. Гранитный расплав в условиях амфиболитовой фации пребывает в субсолюдусном состоянии. Высокое содержание флюида [2] свидетельствует о достаточно низкой вязкости гранитной магмы. Граниты содержат турмалин, следовательно, в кислой магме был бор, который понижает вязкость и температуру кристаллизации [3, 4]. Дополнительными факторами, отвечающими за снижение вязкости кислой магмы, является температура, отвечающая параметрам амфиболитовой фации; а также дефор-

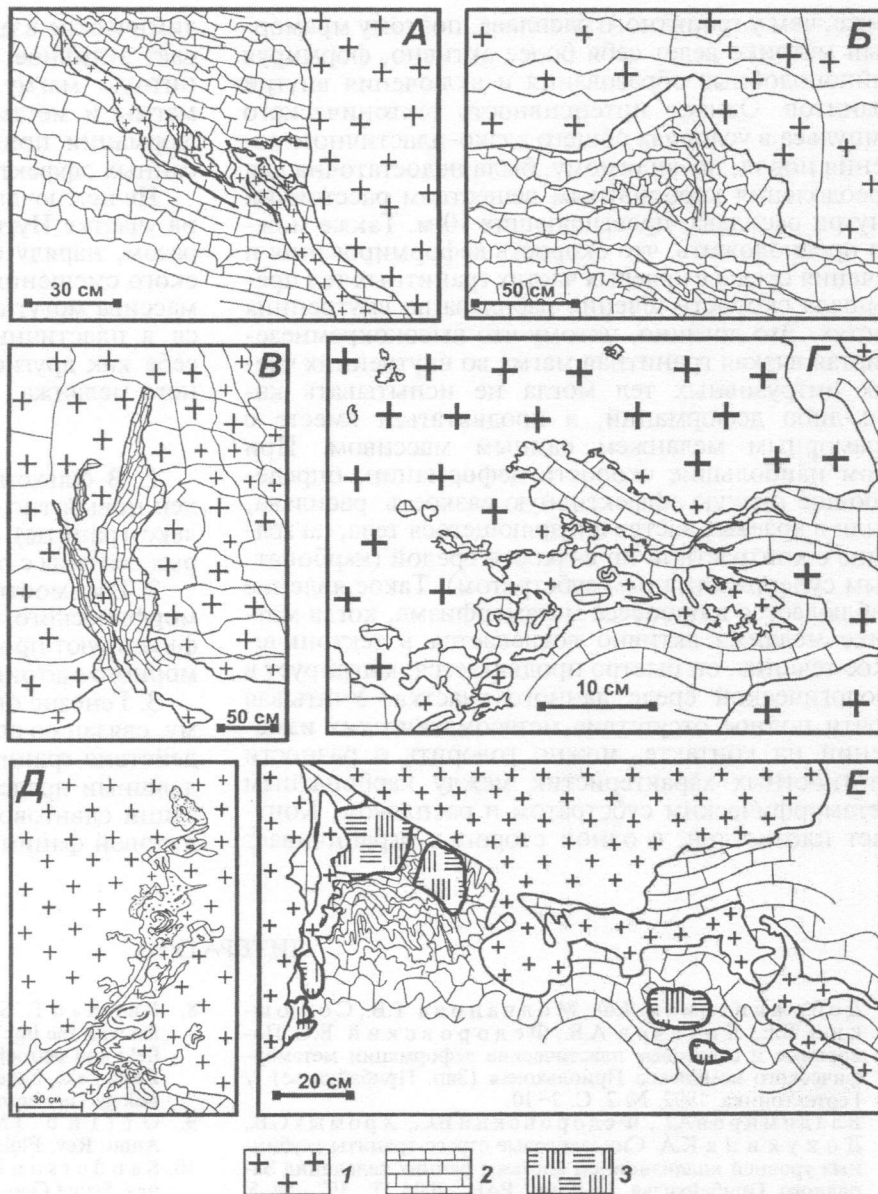


Рис. 4. Характер контактов между гранитами и мраморным меланжем (пояснения в тексте): 1 — граниты; 2 — мраморы; 3 — карбонатно-силикатные включения в мраморах

мация среды при внедрении гранитов. По-видимому, в данных условиях (совокупность РТ параметров, сдвигово-дуплексный тектогенез) вязкость гранитного расплава и мрамора сопоставимы, в результате был инициирован процесс смешения. Эффекты смешения наблюдаются только на контакте между интрузивными телами и мраморным матриксом в граничной зоне, не превышающей 10 м. Если иметь ввиду вязкостные свойства гранитной магмы, то она резко отличается от маловязких магм основного состава. Гранитный расплав малоподвижен, это достаточно вязкая субстанция. В системе мраморный матрикс—гранит все деформации сосредотачиваются в карбонатном веществе. В условиях механического смешения основной и кислой магм, когда гетерогенная смесь двух расплавов деформируется, все деформации сосредотачиваются в наиболее маловязком базитовом расплаве, в то время как кислый расплав ведет себя пассивно. Возможно, в данном случае, карбонатный субстрат обладает вязкостными свойствами

ниже, чем у гранитного расплава, поэтому мраморный матрикс ведет себя более активно, формируя дайкоподобные образования и включения внутри гранитов. Однако интенсивность тектонического импульса в условиях общего вязко-пластичного течения пород, по-видимому, была недостаточна для преодоления карбонатным веществом расстояний внутри расплава, превышающих 10 м. Также можно предположить, что скорость деформирования и течения среды в краевых частях гранитных тел превышала скорость течения расплава во внутренних частях. Это логично, потому что высококремнезистая вязкая гранитная магма во внутренних частях интрузивных тел могла не испытывать каких-либо деформаций, а продвигаться вместе с мраморным меланжем единым массивом. При этом наибольшие скорости деформации, определяющие низкую эффективную вязкость расплава, были в краевых частях внедряющегося тела, на границе с контрастной по вязкости средой (карбонатным суперпластичным субстратом). Такое явление наблюдается в процессе метаморфизма, когда матрикс меланжа активно вовлекается в тектоническое течение, он быстро продвигается, мигрирует в геологической среде данного участка. Учитывая почти полное отсутствие метасоматических изменений на контакте, можно говорить о разности плотностных характеристик между карбонатным метаморфическим субстратом и расплавом. Контраст плотностей, с одной стороны, ограничивает

химическое взаимодействие, с другой — обеспечивает активное «всплывание» мрамора через гранитную магму. Различие плотности и вязкости магмы и метаморфической среды в условиях деформации приводит к возникновению всех описанных эффектов смешения.

Не исключено, что помимо эффектов смешения на участке Нутгей возникает и меланж. Таким образом, наряду с процессами активного механического смешения двух «жидких» сред от гранитного массива могут отрываться фрагменты и вовлекаться в пластичный мраморный матрикс, где ведут себя как другие негранитные включения мраморного меланжа.

Выводы

1. В Ольхонской коллизионной системе выделен новый тип синкинематических гранитов (дуплекс-граниты), особенности формирования которых связаны с реализацией сдвигового тектогенеза.

2. Взаимоотношения между породами синметаморфического мраморного меланжа и гранитами фиксируют процесс механического смешения мраморного матрикса и кислой магмы.

3. Генезис описанных образований, по-видимому, связан со специфическими условиями взаимодействия гранитного расплава с мраморами, обладавшими предельно низкой вязкостью при реализации сдвигового тектогенеза в условиях амфиболитовой фации метаморфизма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добржинецкая Л.Ф., Молчанова Т.В., Солюшкин В.Е., Лихачев А.Б., Федоровский В.С. Покровные и сдвиговые пластические деформации метаморфического комплекса Приольхонья (Зап. Прибайкалье) // Геотектоника. 1992. № 2. С. 2–10.
2. Владимиров А.Г., Федоровский В.С., Хромых С.В., Доккина К.А. Синдвиговые стресс-граниты глубинных уровней коллизионной системы ранних каледонид Западного Прибайкалья // Докл. РАН. 2004. Т. 397. № 5. С. 643–649.
3. Лебедев Е.Б., Хитаров Н.И. Физические свойства магматических расплавов. М.: Наука, 1979. 200 с.
4. Персиков Э.С. Вязкость магматических расплавов. М.: Наука, 1984. 160 с.
5. Розен О.М., Федоровский В.С. Коллизионные гранитоиды и расхождение земной коры. М.: Научный мир, 2001. 187 с.
6. Федоровский В.С., Добржинецкая Л.Ф., Молчанова Т.В., Лихачев А.Б. Новый тип меланжа (Байкал, Ольхонский регион) // Геотектоника. 1993. № 4. С. 30–45.
7. Федоровский В.С., Владимиров А.Г., Хаин Е.В., Каргополов С.А., Гибшер А.С., Изох А.Э. Тектоника, метаморфизм и магматизм коллизионных зон каледонид Центральной Азии // Геотектоника. 1995. № 3. С. 3–22.
8. Furman T., Spera F.J. Co-mingling of acid and basic magma with the implications for the origin of mafic I-type xenoliths: field and petrochemical relations of an unusual dike complex at Eagle Lake, Saquoia National Park, California, USA // J. Volcanology Geothermal Res. 1985. V. 24. P. 151–178.
9. Ottino J.M. Mixing, chaotic advection, and turbulence // Annu. Rev. Fluid Mech. 1990. V. 22. N 207. 253 p.
10. Sanderson D.J., Marchini W.R.D. Transpression // Journ. Struct. Geol. 1984. V. 6. P. 449–458.
11. Schmid S.M., Paterson M.S., Boland J.N. High temperature flow and dynamic recrystallization in Carrara marble // Tectonophysics. 1980. V. 65. P. 245–280.
12. Skilling I.P., White J.D.L., McPhie J. Peperite: a review of magma-sediment mingling // J. of Volcanol. Geotherm. Res. 2002. V. 114. P. 1–17.
13. Snyder D., Crambes C., Tait St., Wiebe R.A. Magma mingling in Dikes and sills // J. Geology. 1997. V. 105. P. 75–86.
14. Zimanski B., Buttner R. Dynamic mingling of magma and liquefied sediments // J. Volcanol. Geotherm. Res. 2002. V. 114. P. 37–44.

Геологический институт РАН
Рецензент — А.К. Корсаков