

## Особенности формирования и пегматитоконтролирующая роль взбросо-надвиговых структур Мамской мусковитоносной провинции

А. П. Кочнев<sup>1</sup>, А. В. Черемных<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, e-mail: kochnev@istu.irk.ru

<sup>2</sup>Институт земной коры СО РАН, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, e-mail: cherem@crust.irk.ru

Поступила в редакцию 03.05.2018 г., принята к печати 09.07.2019 г.

**Объект исследований.** В пределах Мамской мусковитоносной провинции (ММП), тяготеющей к зоне краевого шва Сибирской платформы с Байкальской горно-складчатой областью, известны многочисленные региональные и локальные разрывы надвигового и взбросового типов, характерные для зон сжатия. **Материалы и методы.** В статье на основе многолетних исследований авторов, а также анализа литературных и фондовых материалов дана обобщенная характеристика наиболее крупных разломов района, показана их позиция в региональной структуре провинции, рассмотрена их связь с основными этапами тектонического развития, пегматито- и слюдообразования. Для уточнения механизма образования взбросо-надвиговых разломных структур региона проведена корреляция этапности их развития со стадийностью и динамикой формирования зон сжатия по материалам физического моделирования, проведенного в лаборатории тектонофизики Института земной коры СО РАН. **Результаты.** На основе сопоставления материалов экспериментальных и натуральных наблюдений показано, что в эволюции разломной тектоники ММП выделяется шесть крупных этапов, четко увязывающихся с процессами складчатости, магматизма, пегматито- и слюдообразования: седиментационный, допегматитовый инверсионный, или коллизионно-складчатый, раннесинпегматитовый, позднесинпегматитовый, постпегматитовый и неотектонический. **Выводы.** Установлено, что формирование взбросо-надвиговых разломных структур ММП находит четкое отображение в процессе разрывообразования при моделировании зон сжатия как в плане стадийности, так и в специфике динамики структурообразования. Показано, что пегматитоконтролирующая роль взбросов и надвигов района определяется их возрастными соотношениями со стадийностью процесса пегматито- и слюдообразования. Выделены и кратко охарактеризованы основные типы слюдоносных пегматитовых полей в зонах взбросо-надвиговых структур ММП, откартированных в процессе геологосъемочных работ и тематических исследований.

**Ключевые слова:** взбросы, надвиговые структуры, моделирование, пегматитоконтролирующие структуры, Мамская мусковитоносная провинция

### Благодарность

Работа выполнена в рамках базового проекта № 0346-2018-0003 “Тектонофизика современных геодинамических процессов в литосфере Центральной Азии как основа прогноза чрезвычайных ситуаций природного характера”.

## Formation features and the pegmatite-controlling role of the thrusts and reverse faults in the Mamskaya muscovite province

Anatoly P. Kochnev<sup>1</sup>, Aleksandr V. Cheremnykh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov st., Irkutsk 664074, Russia, e-mail: kochnev@istu.irk.ru

<sup>2</sup>Institute of the Earth's Crust SB RAS, 128 Lermontov st., Irkutsk 664033, Russia, e-mail: cherem@crust.irk.ru

Received 03.05.2018, accepted 09.07.2019

**Research subject.** The Mamskaya muscovite province (MMP) is located on the border between the Siberian platform and the Baikal orogenic area, near the boundary fault. The MMP hosts numerous regional and local thrust and reverse faults, which are typical of compression zones. This article aims to present a generalized description of the largest faults in the study area, to show their position in the regional structure of the province, as well as to consider their relationship with the main MMP tectonic stages, pegmatite and mica formation. **Materials and methods.** The study was conducted on the

**Для цитирования:** Кочнев А.П., Черемных А.В. (2020) Особенности формирования и пегматитоконтролирующая роль взбросо-надвиговых структур Мамской мусковитоносной провинции. *Литосфера*, **20**(1), 93-105. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-1-93-105

**For citation:** Kochnev A.P., Cheremnykh A.V. (2020) Formation features and the pegmatite-controlling role of the thrusts and reverse faults in the Mamskaya muscovite province. *Lithosphere*, **20**(1), 93-105. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-1-93-105

basis of literature and archive data, as well as those obtained during the authors' long-term research. The correlation between the formation stages of the MMP reverse faults and the dynamics of the compression zone formation was investigated using the methods of physical modelling at the Laboratory for Tectonophysics, Institute of the Earth's crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. *Results.* A comparison of experimental and field observations revealed the following six major stages in the evolution of the MMP fault tectonics: sedimentation, pre-pegmatite inversion or collisional-folded, early pegmatite, late pegmatite, post pegmatite and neotectonic. These stages were linked with the processes of folding, magmatism, pegmatite and mica formation. *Conclusions.* It was established that the formation of reverse faults and thrusts in the MMP resembled the process of fracturing in compression zones. The pegmatite-controlling role of the thrusts and reverse faults is determined by their age relations with the stages of the pegmatite and mica formation process. The main types of the mica-rich pegmatite fields in the MMP fault zones, which were mapped during geological survey studies, were distinguished and characterized.

**Keywords:** reverse faults, thrust, modeling, pegmatite structure, Mamskay muscovite province

#### Acknowledgements

The work was carried out within the framework of the basic project No. 0346-2018-0003 "Tectonophysics of modern geodynamic processes in the lithosphere of Central Asia as a basis for predicting natural emergencies".

## ВВЕДЕНИЕ

В пределах Мамской мусковитоносной провинции (ММП) откартированы многочисленные региональные и локальные разрывы надвигового и взбросового типов (рис. 1), формирующиеся в условиях сжатия (Черемных, Кочнев, 1996; Кочнев, 2001). Краткая характеристика разломов дана в работах Л.И. Салопа (1967), В.Н. Чеснокова (1966), а наиболее полно разломная тектоника освещена в публикациях А.П. Кочнева (1991, 2001, 2002). Условия образования и пегматитоконтролирующая роль надвигов и взбросов трактуется неоднозначно в зависимости от представлений о региональной структуре ММП и истории ее формирования.

По мнению большинства исследователей, ММП контролируется одноименным синклинорием (Семененко, 1948; Таевский, Таевская, 1961; Великославинский и др., 1963; Другов и др., 2011; и др.), хотя существует мнение об антиклинорном строении ММП, о моноклиальном залегании мамской толщи (Завалишин, Львова, 1954), о контроле ММП наложенной на синклинорий зоной смятия (Кочнев, 1991, 2001) или тектономагматической активизации (Васильева, 1962; Флаасс, 1971).

Мамский синклинорий имеет пологое северо-западное и крутое юго-восточное крылья, вдоль его оси откартировано Центральное антиклинальное поднятие, в ядре которого залегают массивы гранитов и пегматитов, фиксируя надшовную зону Центрального глубинного разлома (Кочнев, 1991). Крылья синклинория осложнены продольными разломами взбросо-надвигового типа: в северо-западном крыле выделяется три зоны таких разломов – Чуйская, Слюдянская, Мочикитско-Могучинская, а в юго-восточном крыле две – Абчадская и Мамская (см. рис. 1). Предполагается слияние этих разломов на глубине и примыкание их

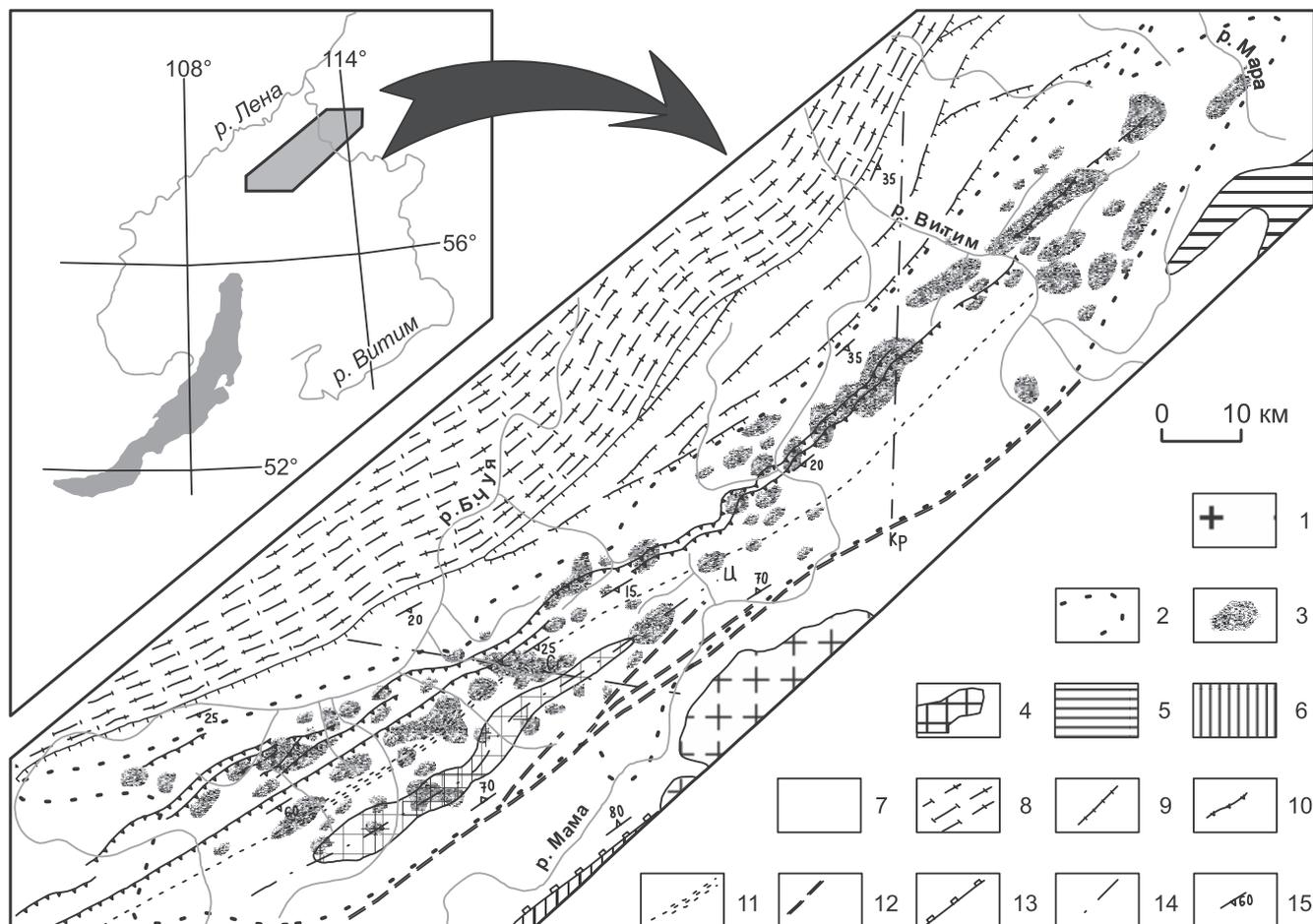
к магистральному Центральному разлому фундамента. Кроме продольных по гравиметрическим данным выделены также поперечные Согдиондонский и Краснореченский разломы, разбивающие синклинорий на три тектонических блока: Витимский, Мамский и Чуйский.

Основную пегматитоконтролирующую роль играют продольные разломы: Чуйский и Мамский служат границами провинции, Мочикитско-Могучинский и Абчадский отделяют ЦАП от крыльев синклинория, а Слюдянский, Центральный и Мочикитско-Могучинский контролируют основные зоны слюдоносных пегматитов (Кочнев, 1991).

Разнообразие взглядов на этапность структурного развития ММП сводится к двум основным точкам зрения – о ее моно- и полицикличности.

Сторонники моноциклического развития ММП (Таевский, 1961; Салоп, 1967) связывают ее формирование с рифейским циклом геосинклинального развития, выделяя в его пределах седиментационный, инверсионный и постинверсионный этапы, увязывая пегматитогенез и слюдообразование с инверсионным этапом. Сторонники полициклического развития ММП (Кочнев, 1961, 2001, 2002; Флаасс, 1971; и др.) выделяют несколько этапов и циклов формирования современной структуры региона, а пегматитогенез и слюдообразование связывают с наложенными этапами активизации.

Эта сложная задача выявления этапности геологического развития ММП решена на основе анализа возрастных соотношений разнотипных жильных форм при полевых наблюдениях и их структурно-геологических связей со складчатыми и разломными дислокациями разных генераций с учетом изотопных датировок жильных образований и вмещающих их пород. Разные варианты полициклических схем развития ММП различаются количеством этапов (от 2 до 4) пегматитообразования и их возрастными соотношениями с основными



**Рис. 1.** Схема разломной тектоники Мамской мусковитоносной провинции. Составители А.П. Кочнев, А.В. Черемных.

1 – палеозойские конкудеро-мамakanские гранитоиды; 2 – контур распространения слюдоносных пегматитов; 3 – слюдоносные поля и узлы; 4 – контур Центрального антиклинального поднятия; 5 – площадь развития пород Бодайбинского синклинория; 6 – раннепротерозойская муйская толща; 7 – площадь развития рифейских пород Мамского синклинория; 8 – площадь развития раннепротерозойских комплексов Чуйского антиклинария; 9 – надвиги и взбросы Чуйской зоны разломов; 10 – надвиги Слюдянской зоны разломов; 11 – зоны расщепления и дробления Мочикитско-Могучинского тектонического шва; 12 – взбросы Абчадской зоны разломов; 13 – Мамский глубокий разлом; 14 – скрытые конседиментационные разломы фундамента: Центральный (Ц), Согдиондонский (Сг), Краснореченский (Кр); 15 – элементы залегания магистральных сместителей разломов.

**Fig. 1.** The scheme of fault tectonics of the Mamskaya muscovite province. Compilers are A.P. Kochnev, A.V. Cheremnykh.

1 – Paleozoic Konkudera-Mamakan granitoids; 2 – contour of distribution of mica-bearing pegmatites; 3 – mica-bearing fields and nodes; 4 – the contour of the Central anticlinal uplift; 5 – the area of formation of rocks of the Bodaibo synclinorium; 6 – Muya early Proterozoic strata; 7 – area of formation of the Riphean rocks of the Mamsky synclinorium; 8 – the area of formation of early Proterozoic complexes in the Chuya anticlinorium; 9 – thrusts and reverse faults of the Chui fault zone; 10 – thrusts of the Slyudyanka fault zone; 11 – zones of shearing and shattering of the Mochikitsko-Moguchinskaya tectonic suture; 12 – reverse faults of the Abchadskaya fault zone; 13 – Mamsky deep fault; 14 – hidden consedimentational faults of the basement: Central (Ц), Sogdiondon (Сг), Krasnorechensky (Кр); 15 – attitude of the main faults.

структурными формами: линейными и наложенными складками, разломами, ЦАП и др.

В целом по этим схемам, несмотря на некоторые разногласия, в истории становления структуры ММП выделяются следующие основные этапы (Кочнев, 1991).

В седиментационный этап, формировались терригенные осадки мамской толщи. Ее рифейский возраст устанавливается по изотопным датировкам метаморфических пород в интервале 520–670 млн лет (Салоп, 1967) и обосновывается несогласным залеганием их на раннепротерозойских гранитоид-

дах Чуйского антиклинория, калий-аргоновые датировки которых колеблются от 523 до 1780 млн лет (Салоп, 1967), а рубидий-стронциевые и свинцовые датировки составляют 1700–2100 млн лет (Казакевич и др., 1971). Кроме того, они прорываются жильными дериватами палеозойских гранитов конкудеро-мамаканского и сиенитов сыннырского комплексов – 304–349 млн лет (Жидков и др., 1963).

*Допегматитовый инверсионный или коллизионно-складчатый этап* – образование линейных складок и осложняющих их надвигов, панрегиональный зелено-сланцевый метаморфизм, становление гнейсо-гранитов и метасоматитов, продольно-секущие пластообразные тела которых и субсогласные зоны метасоматической переработки контролируются взбросо-надвиговыми структурами в основном вдоль осевых поверхностей линейных складок.

*Синпегматитовый этап тектоно-магматической активизации* продолжается от конца рифея до середины палеозоя, что определяет большой разброс изотопных датировок мамских пегматитов: калий-аргоновые датировки дают возраст от 260 до 754 млн лет, а свинцовые по циркону – 690–756 млн лет (Салоп, 1967). Имеются единичные определения абсолютного возраста до 1800 млн лет (Соколов и др., 1985), но основная часть изотопных датировок соответствует возрасту калишпатовых мусковитовых пегматитов – 315–371 млн лет (Шмакин, 1976). Эти данные подтверждают существующие еще с 1930-х гг (Марков, 1930, 1934) эмпирически установленные факты о наличии в районе двух возрастных групп пегматитов – ранних плагиоклазовых и поздних калишпатовых, пересекающих первые. Позднее по мере увеличения детальности исследований предпринимались попытки разделения этих основных групп пегматитов на несколько фациальных разновидностей и фаз их формирования (Спиридонов и др., 1978). Все эти материалы логически привели к необходимости выделения двух самостоятельных синпегматитовых этапов – раннесинпегматитового и позднепегматитового (Кочнев, 1991, 2001, 2002).

*Раннесинпегматитовый этап тектоно-магматической активизации* – образование ЦАП, наложенных структурных террас, взбросов, зон расланцевания и дробления, региональный амфиболитовый метаморфизм, внедрение плагиогранитов и плагиопегматитов с трещинным ослюдением. Плагиограниты и плагиопегматиты в виде прерывистых систем субсогласных и продольно-секущих жильных тел располагаются вдоль зон трещиноватости северо-восточной ориентировки и на многих участках пересекаются телами калишпатовых пегматитов. Изотопные датировки их варьируют от 1800 до 300 млн лет.

*Позднепегматитовый этап тектоно-магматической активизации* – образование присдвиговых складок субширотного направления в надшовной зоне Слюдянского разлома и куполов в надшовной зоне Центрального разлома, сдвигов, сбросо- и взбросо-сдвигов, гидротермально-метасоматический метаморфизм, внедрение калишпатовых гранитов и пегматитов с пегматоидным и кварц-мусковитовым ослюдением. Калишпатовые граниты, гранит-пегматиты и пегматиты в виде сложной системы разноориентированных секущих жильных тел располагаются вдоль зон трещиноватости, сопровождающих латентные сдвиговые структуры, и часто пересекают тела плагиопегматитов. Их изотопные датировки составляют 315–371 млн лет (Шмакин, 1976).

*Постпегматитовый этап тектоно-магматической активизации* – внедрение позднепалеозойских гранитоидов конкудеро-мамаканского и сыннырского комплексов, образование Байкало-Патомского сводового поднятия, разрывных нарушений типа сбросов и взбросов. Жильные граниты конкудеро-мамаканского и сиениты сыннырского комплекса, пересекающие калишпатовые пегматиты, имеют позднепалеозойский возраст, по данным многочисленных изотопных исследований, порядка 300–350 млн лет (Жидков и др., 1963; Салоп, 1967).

*Неотектонический мезо- и кайнозойский этап активизации* – выход толщи на земную поверхность, образование молодых неминерализованных трещин, сбросов и взбросов, формирование современного рельефа.

В связи с многоэтапным становлением структуры ММП возможно образование разновозрастных разрывных нарушений и неоднократное подновление и смена знаков движений по одним и тем же разломам, что можно видеть при краткой характеристике основных разломных зон.

## ОСНОВНЫЕ РАЗЛОМЫ МАМСКОЙ МУСКОВИТОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

**Чуйский разлом** проходит вдоль северо-западной границы ММП и отделяет нижнепротерозойскую чуйскую от рифейской мамской толщи. Картируется в виде широкой зоны катаклаза и милонитизации, срезая нижние горизонты мамской толщи. Падение сместителя юго-восточное под углами 13–15° в районе Чуйской излучины и до 50° в районе р. Чукчи; амплитуда смещения уменьшается с юго-запада на северо-восток. По последним данным (Кочнев, 1991, 2001; Черемных, Кочнев, 1996), разлом долгоживущий: он заложен в седиментационный этап как сброс, активизирован в инверсионный этап как взбросо-надвиг, в синпегматитовый этап – как левый сдвиг, а в постпегматитовый этап – как взбросо-надвиг.

**Слюдянский разлом** (Кочнев, 1991) представлен зоной локальных надвигов шириной 1–3 км, прослеживающейся в северо-западном крыле синклинория на протяжении 100–130 км. Сместители локальных надвигов падают на юго-восток под углами 20–60°, параллельно осевым поверхностям линейных складок. Изменение элементов их залегания происходит на границах тектонических блоков и в участках наложенной складчатости, но в целом на юго-западе они крутые (60°), а на северо-востоке пологие (20–30°). Амплитуда смещения составляет от 100–120 м на Кочекте и до 300–400 м на Слюдянке. На юго-западе в Чуйском блоке надвиги выполнены гнейсо-гранитами (Нюрдобинское, Левомочикитское тела и др.), а в центральной части (в Мамском блоке) и на северо-востоке (в Витимском блоке) они прослеживаются по выходам гранат-биотитовых и гранат-амфиболовых метасоматитов с магнетитом. Заложение разломов связывается (Кочнев, 1991) с инверсионным этапом развития региона, на что указывает их генетическая связь с линейными складками, телами гнейсо-гранитов и метасоматитов. Его активизация происходила частично в раннесинпегматитовый этап в виде зон расщепления надвигового типа, контролирующих жилы плагиопегматитов, но преимущественно в позднеинпегматитовый этап в качестве левого сдвига (Кочнев, 1991), о чем свидетельствует тесная связь разлома с зоной присдвиговых наложенных складок и локальных сдвигов, контролирующих основные поля калишпатовых слюдоносных пегматитов.

**Мочикитско-Могучинский взбросо-надвиг** прослеживается вдоль северо-западного крыла ЦАП по системе жил плагиопегматитов с трещинным ослюдением. Сместитель его круто (60–80°) падает на юго-восток, амплитуда смещения неизвестна. Он был заложен в раннесинпегматитовый этап активизации как система сближенных взбросов и зон дробления одновременно с формированием ЦАП.

**Центральный разлом** прослеживается вдоль оси ЦАП и затушеван обильным насыщением толщи гранит-пегматитовым материалом. Предполагается (Чесноков, 1966; Кочнев, 1991) субвертикальное падение его сместителя и заложение в инверсионный этап развития, судя по наличию в шовной зоне выходов гнейсо-гранитов и метасоматитов. Высокая концентрация в надшовной зоне разлома плагиогранитов, калишпатовых гранитов и пегматитов свидетельствует об активизации его деятельности в ранне- и позднеинпегматитовый этапы развития ММП (Кочнев, 1991).

**Абчадский взброс** (Салоп, 1967) прослеживается вдоль юго-восточного крыла ЦАП в виде системы постпегматитовых зон дробления, локальных взбросов с крутым падением (70–85°) на северо-запад. Он отделяет высокометаморфизованные

породы ММП от слабометаморфизованных отложений юго-восточного крыла Мамского синклинория (Делюн-Уранской структурно-формационной зоны). Заложение его, возможно, происходило при формировании ЦАП, а максимальная активизация приходится на постпегматитовый этап, так как разлом ограничивает область развития слюдоносных пегматитов, которые также подвергаются дроблению.

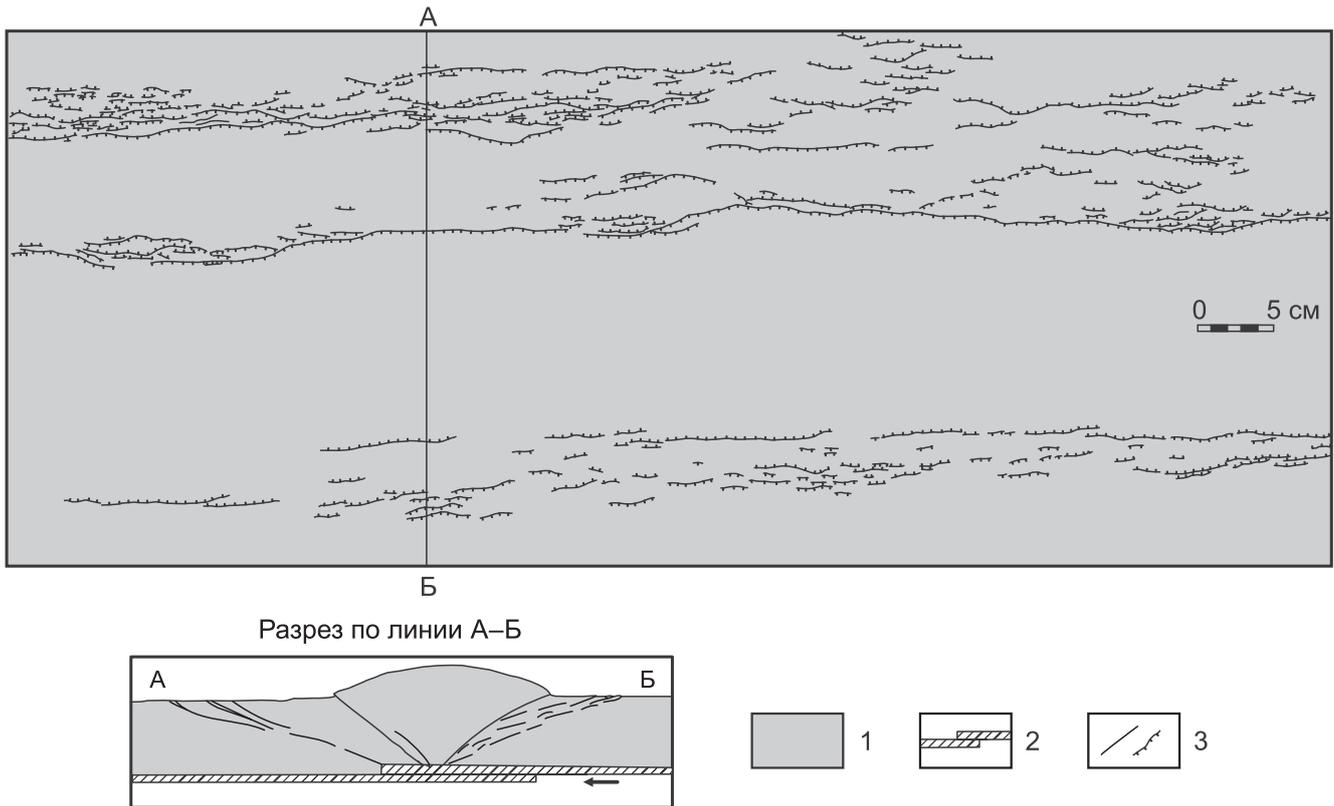
**Мамский разлом** ограничивает синклинорий с юго-востока, отделяя рифейские отложения мамской толщи от раннепротерозойских образований Муйской глыбы (Салоп, 1967). Падение его сместителя крутое (60–80°) северо-западное. Он заложен в конседиментационный этап как сброс и активизирован в постпегматитовый этап развития в качестве взброса (Чесноков, 1966).

Таким образом, совершенно четко фиксируется разное время как заложения, так и активизации продольных разломов, что и определяет их разную пегматитоконтролирующую роль.

## О ДИНАМИКЕ ФОРМИРОВАНИЯ РАЗЛОМОВ

Определенная помощь в интерпретации условий формирования разломных структур может быть получена при сравнении эволюции структуры Мамского синклинория на разных этапах ее развития и специфики разрывообразования при моделировании зон сжатия, так как экспериментальные методы около 200 лет применяются для воспроизведения динамики развития деструктивного процесса (Schellart, Strak, 2016). Моделирование проведено в лаборатории тектонофизики Института земной коры СО РАН по методике, изложенной в монографии (Шерман и др., 1994). При детальном сопоставлении динамики структурообразования в моделях зон сжатия активного механизма (рис. 2) и этапности развития структуры синклинория наблюдается очевидное сходство общей деформационной картины ММП с этапами деструкции моделей условно-активного механизма образования взбросо-надвиговых структур зон сжатия (рис. 3). Геометрическое подобие позволяет предположить близкий механизм формирования модели и взбросо-надвиговых зон Мамской провинции.

На первой стадии деформирования в моделях образуется поднятие над границей подвижного и неподвижного штампов экспериментальной установки. Эта стадия названа пластической, так как на поверхности моделей нет видимых разрывов. Пластическая стадия заканчивается формированием на границах образовавшегося свода двух взбросо-надвиговых зон, имеющих падение в сторону поднятия (см. рис. 3б). В дальнейшем деструкция сосредотачивается в зоне со стороны неподвижного штампа, где развивается единый магистральный сместитель с достаточно крутым падением

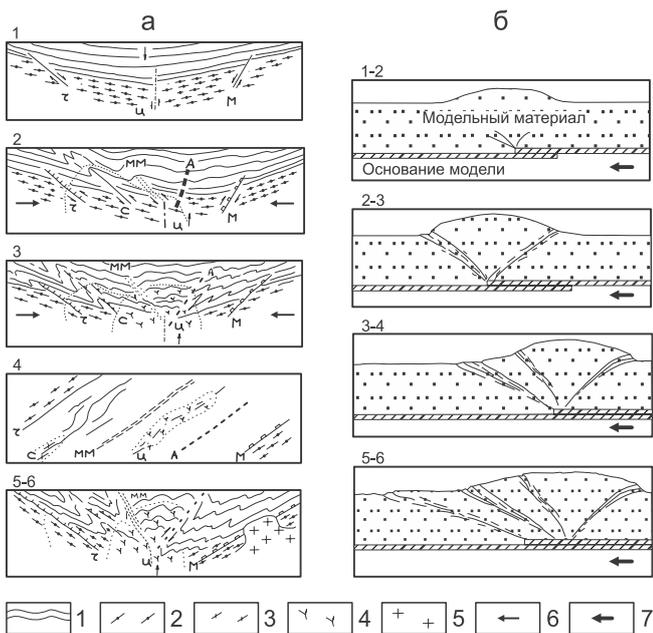


**Рис. 2.** Моделирование зон сжатия активного типа.

1 – модельный материал – водная суспензия бурой глины, 2 – штампы экспериментальной установки (стрелкой показано направление смещения подвижного штампа), 3 – разрывы (берг-штрихами показано направление падения сместителя).

**Fig. 2.** The active type compressional zone modeling.

1 – model material – aqueous suspension of brown clay, 2 – stamps of the experimental installation (the arrow shows the direction of displacement of the movable stamp), 3 – breaks (strokes indicate the direction of fall of the displacer).



**Рис. 3.** Сопоставление этапов развития Мамской мусковитоносной провинции (а) с динамикой формирования взбросо-надвигов в моделях зон сжатия (б).

1 – породы Мамской толщи, 2 – породы фундамента, 3 – области гранитизации, 4 – области развития пегматитов, 5 – Конкудеро-Мамаканский гранитоиды, 6 – направление действия сжимающих напряжений, 7 – направление перемещения штампа экспериментальной установки. Разломы: Ч – Чуйский, С – Слюдянский, ММ – Мочикитско-Могучинский, Ц – Центральный, А – Абчадский, М – Мамский.

**Fig. 3.** Comparison of the formation stages of the Mamskaya muscovite-bearing province (a) and the dynamics of uplift-thrust formation in compression zone models (b).

1 – Mamskaya strata of rocks, 2 – rocks of the basement, 3 – areas of granitization, 4 – areas of pegmatite formation, 5 – Konkudera-Mamakanskiy granitoids, 6 – compression stress directions, 7 – the direction of movement of the stamp of the experimental installation. The faults: Ч – Chuyiskii, С – Slyudyanskiy, ММ – Mochikitsko-Moguchinskiy, Ц – Central, А – Abchadskii, М – Mamskii.

в сторону подвижного штампа установки (см. рис. 2). Так как поверхность основного сместителя сформировавшегося взброса составляет с осью сжатия значительный угол, движения по нему прекращаются. Однако под продолжающимся действием нагрузки происходит заложение более пологой зоны во фронте расширяющегося в направлении неподвижного штампа поднятия. Зона образуется на некотором удалении от сместителя, что главным образом зависит от толщины модели (Шерман и др., 1994). В результате воздействия постоянного внешнего источника напряжений во фронте наступающего поднятия будут формироваться все новые более пологие надвиговые зоны.

Второй этап, когда в процессе инверсии вертикальные движения по краевым Чуйскому и Мамскому разломам трансформировались в горизонтальное СЗ-ЮВ сжатие, происходило сокращение площади выхода толщи и образование линейных складок. В конце этапа возникали срывы типа надвигов вдоль осевых поверхностей складок, вдоль них внедрялись реоморфизованные гнейсограниты фундамента и образовались метасоматиты как продукты базификации при гранитизации, а в надшовной зоне Центрального разлома было заложено Центральное поднятие. Этот этап также сопоставляется с ранней дизъюнктивной стадией структурообразования в зонах сжатия (Шерман и др., 1994).

На раннесинпегматитовом этапе в процессе роста ЦАП в связи с гранитизацией вдоль Центрального разлома в его крыльях обособились две зоны взбросов: Абчадская пассивная и Мочикитско-Могучинская активная зона в моделях. В ходе образования магистрального сместителя активной зоны произошло подновление ранее заложённых надвигов в зоне Слюдянского разлома. Это связано с постоянным действием энергетического источника: движения блоков фундамента продолжались, а плоскость сместителя Мочикитско-Могучинского взброса была слишком крутой для реализации по ней подвигеж, которые легче могли происходить вдоль более пологого Слюдянского разлома (см. рис. 3).

На позднесинпегматитовом этапе в связи с изменением плана напряжений под действием субмеридионального сжатия вдоль продольных разломов возникали левосдвиговые перемещения, особенно интенсивные вдоль Слюдянского и менее активные вдоль Центрального разломов. В надшовных зонах возникали присдвиговые складки, локальные сдвиги, взбросо- и сбросо-сдвиги, присдвиговая трещиноватость, послужившая вместилищем для калишпатовых пегматитов. При моделировании в условиях сжатия этот этап не реконструируется.

На постпегматитовом этапе активизации, когда формировался Байкало-Патомский свод и внедрялись конкудеро-мамаканские гранитоиды, ради-

альные движения центральной части свода трансформировались в его крыльях в тангенциальное сжатие, что вызвало продолжение деформаций в ММП, соответствующих поздним стадиям динамики развития взбросо-надвиговых зон (Шерман и др., 1994). На этом этапе в связи с консолидацией Слюдянского, Центрального и Мочикитско-Могучинского разломов гранит-пегматитовым материалом движения по ним стали затруднительными и происходило подновление более пологого Чуйского разлома с надвиганием мамской толщи на породы чуйского комплекса гранито-гнейсов, мигматитов и метаморфитов.

На неотектоническом этапе, когда пегматитовая толща вышла на земную поверхность и сформировался современный рельеф, доминировали вертикальные движения, захватывающие всю Байкальскую горную область. Они не реконструировались нами при моделировании взбросо-надвиговых зон.

#### ПЕГМАТИТОКОНТРОЛИРУЮЩАЯ РОЛЬ ДИЗЪЮНКТИВОВ ВЗБРОСО-НАДВИГОВОГО ТИПА

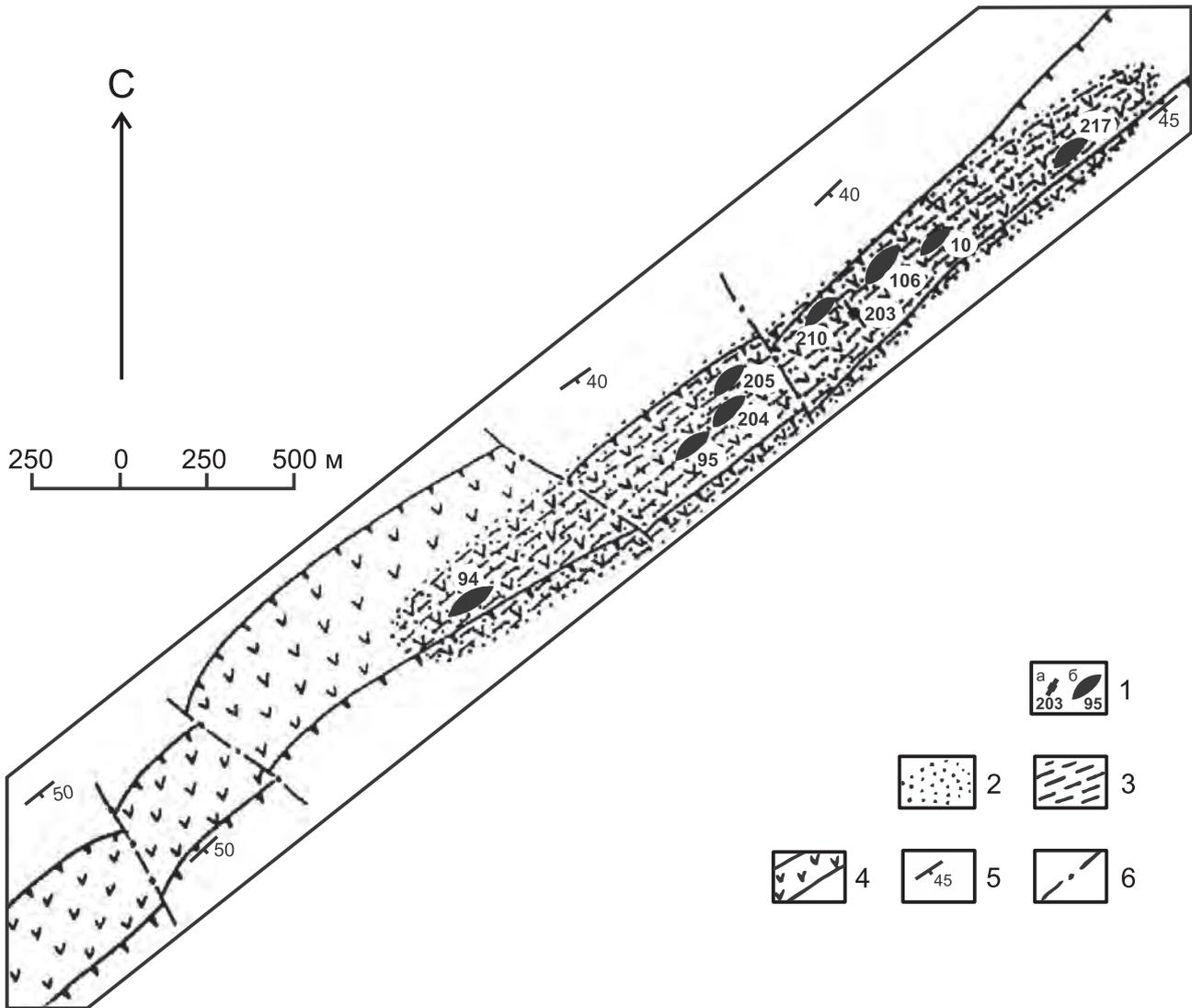
Рассмотренная выше эволюция разломной тектоники ММП достаточно четко объясняет ограниченную пегматитоконтролирующую роль *допегматитовых разрывных нарушений* – они становятся пегматито-контролирующими в участках их активизации в синпегматитовый этап.

*Допегматитовые дизъюнктивы* ММП обычно продольные, параллельные кливажу осевой поверхности линейных складок или слоистости, чаще в опрокинутых крыльях. По морфогенетическим особенностям это надвиги, взбросо-надвиги, зоны рассланцевания и межпластовые срывы, определяющие позиции трех основных типов пегматитовых полей этой группы:

- в зонах надвиговых структур (1-й тип);
- в зонах рассланцевания (2-й тип);
- в межпластовых срывах типа взбросо-надвигов, взбросо-сдвигов и сдвиго-взбросов (3-й тип).

При подновлении таких разрывов в раннесинпегматитовый этап они контролируют линейные поля плагиопегматитов 1–2-го типов, а в позднесинпегматитовый этап – поля калишпатовых пегматитов 3-го типа. Примерами таких полей являются *Аралатско-Эпидотовское* и *Могучинское* поля Колотовской группы месторождений (рис. 4, 5).

*Аралатско-Эпидотовское поле 1-го типа* (см. рис. 4) мусковитизированных плагиоклазовых гнейсо-пегматитов контролируется раннесинпегматитовой зоной рассланцевания и мусковитизации, наложенной на Аралатское тело метасоматитов, формирующихся вдоль допегматитовых надвигов. Поле объединяет 10 промышленных жил – на гольце Аралатском это жилы 94, 95, 106, 204,



**Рис. 4.** Араратско-Эпидотовская жильная зона мусковитоносных плагиопегматитов. Составитель А.П. Кочнев.

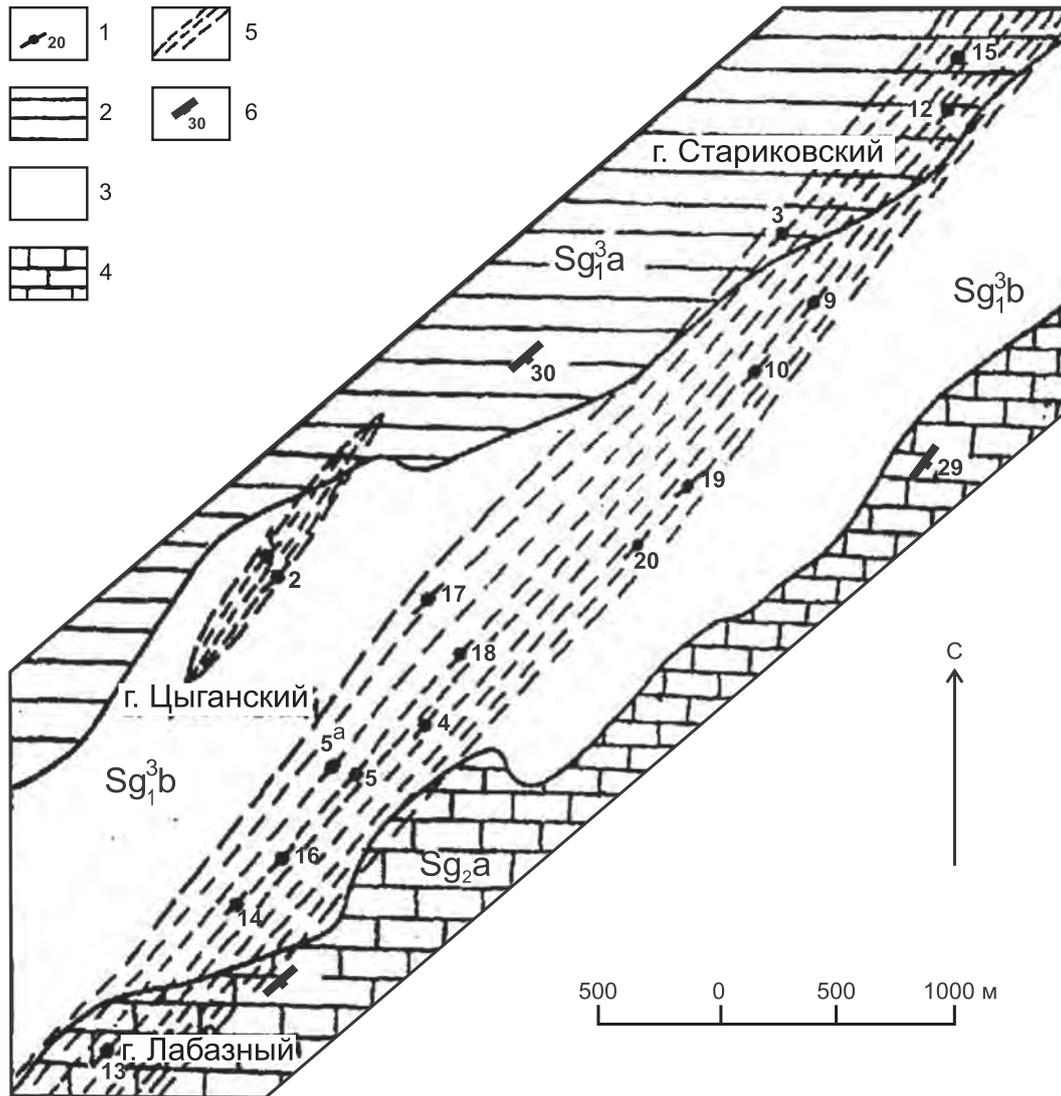
1 – промышленные жилы и их номера: а – калишпатовые, б – плагиоклазовые; 2 – жильная зона мусковитоносных плагиопегматитов; 3 – раннесинпегматитовая зона расщепления; 4 – допегматитовый надвиг, выполненный метасоматитами; 5 – парапорты и элементы их залегания; 6 – постпегматитовые сбросы.

**Fig. 4.** Ararat-Epidote zone of mica-bearing pegmatites. Compiled by A.P. Kochnev.

1 – industrial veins and their numbers: a – potassium feldspar, б – plagioclase; 2 – vein area of amuscovites plagioclase pegmatites; 3 – early synpegmatite cleavage zone; 4 – prepegmatite overthrust filled by metasomatites; 5 – paraporti and elements of their attitude; 6 – postpegmatite normal faults.

205, на гольце Эпидотовом – жилы 106, 10, 210, 217 и 203. Большинство жил представляет собой пластообразные субогласные тела. Ослюденение в них представлено кварц-мусковитовым типом, реже мусковит развивается по биотиту. Только жила 203 относится к другому морфогенетическому типу: она имеет поперечно-секущее залегание, дайкообразную форму и сложена калишпатовым пегматитом с кварц-мусковитовым и пегматоидным ослюденением.

Могучинское поле плагиопегматитов 2-го типа (см. рис. 5) с трещинным и кварц-мусковитовым ослюденением контролируется зонами расщепления в надшовной части Мочикитско-Могучинского разлома взбросо-надвигового типа. Пегматитоконтролирующая зона расщепления имеет северо-восточное простирание, субвертикальное падение и кососекущее положение относительно генерального простирания мамской толщи. Она пересекает горизонты  $Sg_1^3a$  на гольце Стариковском,



**Рис. 5.** Могучинское поле плагиопегматитов. Составитель А.П. Кочнев.

1 – слюдоносные жилы и их номера; 2 – переслаивание гранат-биотитовых гнейсов и известкисто-силикатных пород; 3 – кyanит-двуслюдяные сланцы и биотитовые гнейсы; 4 – мраморы, известкисто-силикатные породы; 5 – зона рассланцевания; 6 – элементы залегания пород.

**Fig. 5.** Moguchinsky pegmatite field. Compiled by A.P. Kochnev.

1 – mica cores and their numbers; 2 – garnet-biotite gneiss and calcareous-silicate rocks; 3 – kyanite-two-mica schists and biotite gneisses; 4 – marble, calcareous-silicate rocks; 5 – cleavage zone; 6 – rocks attitude.

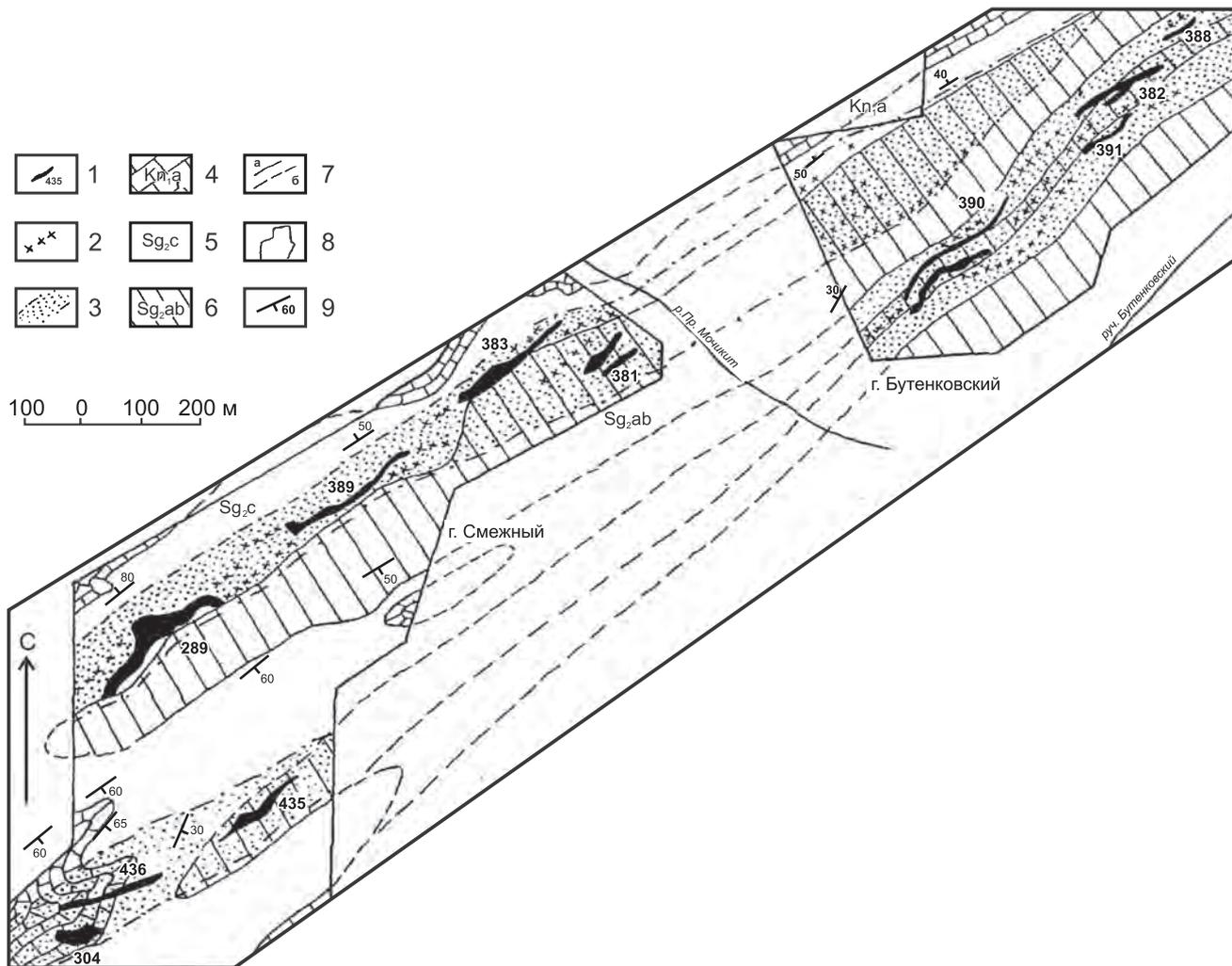
$Sg_1^{3b}$  на гольце Цыганском и  $Sg_2^a$  на гольце Лабазном. Протяженность ее не менее 6–7 км. Мощность около 500 м. Могучинская жильная зона включает около 15 субогласных промышленных жил пластобразной формы (жилы 3–5, 5а, 9, 10, 12–20). Основная зона рассланцевания сопровождается более мелкими сателлитными зонами, которые иногда также контролируют промышленные жилы плагиопегматитов (жилы 1 и 2 гольца Цыганского).

Поля 3-го типа сравнительно редки, поскольку межпластовые срывы, контролирующие их, кар-

тируются с трудом из-за субогласного залегания. Чаще они развиты вдоль контактов мощных пачек дистенсодержащих гнейсов в опрокинутых крыльях линейных складок.

Раннесинпегматитовые дизъюнктивы взбросового и взбросо-надвигового типов синхронны этапу формирования пегматитов ранней генерации существенно плагиоклазового состава и контролируют поля плагиопегматитов 4-го типа.

Кинематический тип этих нарушений устанавливается по их пространственно-генетической свя-



**Рис. 6.** Бутенковское поле мусковитоносных плагиопегматитов (Мочикитская группа месторождений). Составитель А.П. Кочнев, геологическая основа по Н.И. Гаврись и Л.Е. Кузнецовой.

1 – промышленные слюдоносные жилы с трещинным ослоудением и их номера, 2 – пегматитовые тела с непромышленным ослоудением, 3 – зоны расланцевания и повышенной трещиноватости, 4 – мраморы и известковисто-силикатные породы конкудерской свиты, 5 – дистен-двуслюдяные гнейсы и сланцы согдиондонской свиты, 6 – переслаивание биотитовых гнейсов и известковисто-силикатных пород согдиондонской свиты, 7 – геологические границы достоверные (а) и предполагаемые (б), 8 – границы детально изученных участков, 9 – элементы залегания слоистости парапород.

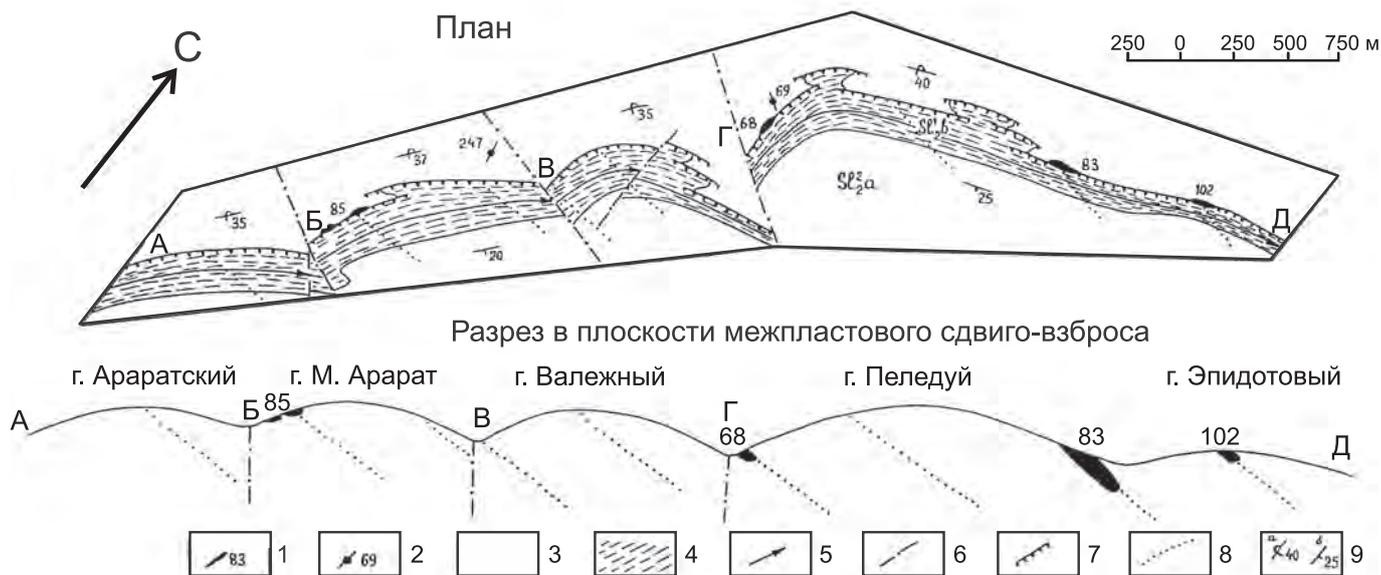
**Fig. 6.** Butenkov muscovite plagiopegmatite field (Mochikitskaya group of deposits). Compiled by A.P. Kochnev, geological data by N.I. Gavris' and L.E. Kuznetsova.

1 – industrial micaceous cores with cracks filled by mica and their numbers, 2 – pegmatite bodies with unindustrial concentration of mica, 3 – zones of shearing and increased fracturing, 4 – marble and calcareous-silicate rocks of the competitive suite, 5 – kyanite-two-mica gneisses and slates of the Sogdiondon suite, 6 – interlayering of biotite gneisses and calcareous-silicate rocks of the Sogdiondon suite, 7 – geological boundaries are reliable (a) and supposed (b), 8 – boundaries of detailed study sites, 9 – attitude of layering para-rocks.

зи с продольными структурными террасами, формирующимися в условиях деформации сжатия пород по восстанию. В эрозионном срезе они выделяются в виде зон дробления и трещиноватости, минерализованной плагиопегматитами, которые образуют здесь крупные линейно вытянутые сложно ветвящиеся тела типа гиганто-мигматитов и сетчатых залежей.

Крупные поля плагиопегматитов 4-го типа разведаны в основном в надшовной зоне Мочикитско-Могучинского взброса. Примерами их являются Бутенковское (рис. 6) и Молодежное поля плагиопегматитов с трещинным типом ослоудения.

Бутенковское поле мусковитоносных плагиопегматитов входит в состав Мочикитской группы месторождений. Поле находится в верховьях



**Рис. 7.** Эпидотовско-Пеледуйское поле мусковитовых плагиопегматитов (Колотовская группа месторождений). Составитель А.П. Кочнев.

1, 2 – промышленные жилы: 1 – плагиоклазовые, 2 – калишпатовые; 3 – пачка переслаивания биотитовых гнейсов и известковисто-силикатных пород горизонта  $Sl_2^a$ ; 4 – дистеновые гнейсы горизонта  $Sl_2^b$ ; 5 – ось линейной антиклинальной складки; 6 – постпегматитовые взбросы; 7 – раннесинпегматитовые межпластовые сдвиго-взбросы; 8 – створы тел плагиопегматитов; 9 – элементы опрокинутого (а) и нормального (б) залегания слоистости.

**Fig. 7.** Epidote-Peleduyskoe muscovite plagiopegmatite field (Kolotovskaya group of deposits). Compiled by A.P. Kochnev.

1, 2 – industrial cores: 1 – plagioclase, 2 – potassium feldspar; 3 – biotite gneisses and calcareous-silicate of the  $Sl_2^a$  layer; 4 – kyanite gneisses of the  $Sl_2^b$  layer; 5 – axis of linear anticlinal fold; 6 – postpegmatite reverse faults; 7 – early synpegmatite interlayer strike-slip faults with reverse component; 8 – orientation of plagiopegmatite bodies; 9 – attitude of the overturned (a) and normal (b) layering.

р. Правый Мочикит и охватывает гольцы Бутенковский и Смежный. Оно контролируется двумя зонами раннесинпегматитовой трещиноватости и рассланцевания. Соответственно плагиопегматиты образуют две жилные зоны. Одна (юго-восточная) тяготеет к осевой части продольной антиклинальной складки и включает жилы 388, 382, 390 гольца Бутенковского и жилы 435, 403 и 436 гольца Смежного. Вторая (северо-западная) приурочена к крылу параллельной антиклинали и включает жилы 289, 389, 383 и 381 гольца Смежного.

Небольшие поля слюдоносных плагиопегматитов контролируются локальными допегматитовыми взбросо-надвигами и взбросо-сдвигами Слюдянской зоны разломов, подновленными в раннесинпегматитовый этап (гольцы Сгоревший, Зеленый, Эпидотовый, Шумливый).

Одним из примеров таких полей может служить *Эпидотовско-Пеледуйское поле* мусковитовых плагиопегматитов Колотовской группы месторождений (рис. 7), контролируемое раннесинпегматитовыми межпластовыми срывами типа сдвиго-взброса в опрокинутом крыле линейной антиклинальной складки вдоль контакта пачки дистен-

содержащих сланцев с горизонтом известковисто-силикатных пород слюдянкинской свиты. Слюдяноносные пегматитовые жилы локализуются в плоскостях субсогласных срывов сколового типа, образуя в большинстве случаев субсогласные пластообразные залежи (жилы 68, 83, 85, 102), реже они выполняют оперяющие трещины и секущие трещины отрыва, образуя трубообразные или дайкообразные формы (жила 69). Ослюденение представлено зонами кварц-мусковитового замещения по полевым шпатам и биотиту, реже гнездами повышенного содержания клиновидных кристаллов мусковита пегматоидного типа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе полученных данных можно сделать следующие выводы:

– в эволюции разломной тектоники ММП выделяется шесть крупных этапов, четко увязывающихся с процессами складчатости, магматизма, пегматито- и слюдообразования;

– формирование взбросо-надвиговых разломных структур ММП находит четкое отображение в

процессе разрывообразования при моделировании зон сжатия как в плане стадийности, так и в особенностях динамики структурообразования;

– пегматитоконтролирующая роль взбросов и надвигов района определяется их возрастными соотношениями со стадийностью процесса пегматито- и слюдообразования;

– таким образом, в ММП можно выделить четыре типа слюдоносных пегматитовых полей в зонах взбросо-надвиговых структур.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Васильева В.П. (1962) Метаморфический комплекс пород Мамской кристаллической полосы. *Изв. вузов. Геология и разведка*, (7), 55-75.
- Великославинский Д.А., Казаков А.Н., Соколов Ю.М. (1963) Мамский комплекс Северо-Байкальского нагорья. *Тр. ЛАГЕД АН СССР*. Вып. 17. Л., 227 с.
- Другов Г.М., Сизых А.И., Черемных В.А. (2011) Геология мусковитовых пегматитов Мамской слюдоносной провинции. Иркутск: Изд-во ИГУ, 253 с.
- Жидков А.Я., Миркина С.Л., Голубчина М.И. (1963) Об абсолютном возрасте щелочных и нефелиновых сиенитов Северо-Байкальского нагорья. *Докл. АН СССР*, 149(1), 152-155.
- Забродин В.Ю. (1977) Зоны смятия. М.: Наука, 107 с.
- Завалишин М.А., Львова Н.А. (1954) Стратиграфия и геологическое строение северо-восточной части Мамского района. *Тр. Ин-та ГипроНИИслюда*. Вып. 1(3), 4-72.
- Казакевич Ю.П., Шер С.Д., Жаднова Т.П. (1971) Ленский золотоносный район. Т.1. М.: Недра, 162 с.
- Кочнев А.П. (1991) Структурное развитие Мамской зоны смятия. Иркутск: ИПИ, 160 с. Деп. ВИНТИ, № 2426-В91.
- Кочнев А.П. (2001) Пегматитоносные зоны смятия. *Вестник ИрГТУ*, 10, 76-81.
- Кочнев А.П. (2002) Структурные типы мусковитоносных пегматитовых полей и месторождений. Иркутск: изд-во ИрГТУ, 168 с.
- Марков П.Н. (1930) Строение и общая схема генезиса Мамско-Витимских месторождений мусковита. *Минеральное сырье*, (11-12), 1930.
- Салоп Л.И. (1967) Геология Байкальской горной области. М.: Недра. Т. II, 699 с.
- Семенов Н.П. (1948) Геология и петрография Мамской кристаллической полосы (Байкало-Патомское нагорье). Киев: АН УССР, 390 с.
- Соколов Ю.М., Сумин Л.В., Тимофеев Б.В., Михайлова Н.С., Остапенко Е.И., Подковыров В.Н., Шулежко И.К., Руденко С.А., Спиридонов А.В. (1985) Геологический возраст метаморфических и рудных формаций Байкало-Патомской складчатой области. *Геология рудн. месторождений*, 27(1), 48-57.
- Спиридонов А.В., Зорин Б.И. (1978) О двух возрастных группах пегматитов магматического происхождения (Мамская слюдоносная провинция). *Изв. вузов. Геология и разведка*, (12), 54-57.
- Таевский В.М., Таевская З.К. (1961) Новые данные по стратиграфии Мамской кристаллической полосы. *Материалы по геологии и полезным ископаемым Иркутской области*. Вып. 1(28). Иркутск: Иркутское геологическое управление, 7-39.

Флаасс А.С. (1971) Некоторые особенности структурного развития мамско-бодайбинской серии. *Геотектоника*, (6), 58-65.

Черемных А.В., Кочнев А.П. (1996) Надвиги и взбросы Мамской мусковитоносной провинции. *Вопросы прикладной геологии, геофизики и геоэкологии*. Иркутск: ИрГТУ, 36-42.

Чесноков В.Н. (1966) Закономерности размещения мусковитоносных пегматитовых жил в Мамском слюдоносном районе. *Геология и полезные ископаемые Байкало-Патомского нагорья*. Иркутск: изд-во ПГО "Иркутскгеология", 185-192.

Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А., Адамович А.Н., Буддо В.Ю. (1994) Разломообразование в литосфере. Зоны сжатия. Новосибирск: ВО "Наука", Сибирская издательская фирма. 263 с.

Шмакин Б.М. (1976) Гетерогенность и конвергентность мусковитовых пегматитов. *Изв. АН СССР, сер геол.*, (7), 27-36.

Schellart W.P., Strak V. (2016) A review of analogue modeling of geodynamic processes: Approaches, scaling, materials and quantification, with an application to subduction experiments. *J. Geodynam.*, (100), 7-32.

#### REFERENCES

- Cheremnykh A.V., Kochnev A.P. (1996) Thrusts and reverse faults of the Mamskay muscovite province. *Voprosy prikladnoi geologii, geofiziki i geoekologii* [The questions of applied geology, geophysics and geoecology]. Irkutsk, IrGTU Publ., 36-42. (In Russian)
- Chesnokov V.N. (1966) The patterns of placement of muscovite-bearing pegmatite veins in the Mamsk mica area. *Geologiya i poleznye iskopaemye Baikalo-Patomskogo nagor'ya* [Geology and minerals of the Baikal-Patom Upland]. Irkutsk, PGO "Irkutskgeologiya" Publ., 185-192. (In Russian)
- Drugov G.M., Sizykh A.I., Cheremnykh V.A. (2011) *Geologiya muskovitovykh pegmatitov Mamskoi sludonosnoi provintsii* [Geology of the muscovite pegmatites of the Mama mica-bearing province.]. Irkutsk, Irkutsk State Univ. Publ., 253 p. (In Russian)
- Flaass A.S. (1971) Some features of the structural development of the Mam-Bodaibo series. *Geotektonika*, (6), 58-65. (In Russian)
- Kazakevich Yu.P., Sher S.D., Zhdanova T.P. (1971) *Lenskii zolotonosnyi raion* [Lena gold-bearing area]. V.I. Moscow, Nedra Publ., 162 p. (In Russian)
- Kochnev A.P. (1991) *Strukturnoe razvitie Mamskoi zony smyatiya* [Structural development of the Mam zone of collapse]. Irkutsk, IPI Publ., 160 p. Dep. VINITI, № 2426-V91. (In Russian)
- Kochnev A.P. (2001) Pegmatite of collapse zones. *Vestnik ISTU*, (10), 76-81. (In Russian)
- Kochnev A.P. (2002) *Strukturnye tipy muskovitonoynykh pegmatitovykh polei i mestorozhdenii* [Structural types of muscovite-bearing pegmatite fields and deposits]. Irkutsk, IrGTU Publ., 168 p. (In Russian)
- Markov P.N. (1930) the Structure and General scheme of the Genesis of Mamsko-Vitim muscovite deposits. *Mineral'noe syr'e*, (11-12), 1930. (In Russian)
- Salop L.I. (1967) *Geologiya Baikalskoi gornoj oblasti* [Geology of the Baikal mountain region]. T. II. Moscow, Ne-

- dra Publ., 699 p. (In Russian)
- Schellart W.P., Strak V. (2016) A review of analogue modeling of geodynamic processes: Approaches, scaling, materials and quantification, with an application to subduction experiments. *J. Geodynam.*, (100), 7-32.
- Semenenko N.P. (1948) *Geologiya i petrografiya Mamskoi kristallicheskoi polosy (Baikal-Patomskoe nagor'e)* [Geology and petrography of the Mamskaya crystalline strip (Baikal-Patom Upland)]. Kiev, AS USSR, 390 p. (In Russian)
- Sherman S.I., Seminskii K.Zh., Bornyakov S.A., Adamivich A.N., Buddo V.Yu. (1994) *Razlomoobrazovanie v litosfere. Zony szhatiya* [Faulting in the lithosphere. Compressional zones]. Novosibirsk, Nauka Publ., 263 p. (In Russian)
- Shmakin B. M. (1976) Heterogeneity and convergence of Muscovite pegmatites. *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Geol.*, (7), 27-36. (In Russian)
- Sokolov Yu.M., Sumin L.V. Timofeev B.V., Mikhailova N.S., Ostapenko E.I., Podkovyrov V.N., Shulezhko I.K., Rudenko S.A., Spiridonov A.V. (1985) Geological age of metamorphic and ore formations of the Baikal-Patom folded region. *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, 27(1), 48-57. (In Russian)
- Spiridonov V.A., Zorin I.B. (1978) On two age groups of pegmatites of magmatic origin (Mamsky mica-bearing province). *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Geol. i Razvedka*, (12), 54-57. (In Russian)
- Taevskii V.M., Taevskaya Z.K. (1961) New data on the stratigraphy of the Mama crystalline strip. *Materialy po geologii i poleznym iskopaemym Irkutskoi oblasti* [Materials on geology and mineral resources of Irkutsk region, V. 1(28)]. Irkutsk, Irkutskoe geologoupravlenie Publ., 7-39. (In Russian)
- Vasil'eva V.P. (1962) The metamorphic complex of rocks of the Mama crystalline strip. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Geologiya i Razvedka*, (7), 55-75. (In Russian)
- Velikoslavinskii D.A., Kazakov A.N., Sokolov Yu.M. (1963) *Mamskii kompleks Severo-Baikal'skogo nagor'ya* [Mamsky complex of the North-Baikal Highlands]. Leningrad, LAGED AN SSSR, 17, 227 p. (In Russian)
- Zabrodin V.Yu. (1977) *Zony smyatiya* [Collapse zones]. Moscow, Nauka Publ., 107 p. (In Russian)
- Zavalishin M.A., L'vova N.A. (1954) Stratigraphy and geological structure of the north-eastern part of the Mama District. *Trudy in-ta GiproNIIsluda* [Proc. Institute GiproNIIsluda]. V. 1(3), 4-72. (In Russian)
- Zhidkov A.Ya., Mirkina S.L., Golubchina M.I. (1963) About the absolute age of alkaline and nepheline syenites of the North-Baikal highlands. *Dokl. AN SSSR*, 149(1), 152-155. (In Russian)