



TECTONIC POSITION OF MARBLE MELANGES IN THE EARLY PALEOZOIC ACCRETION-COLLISIONAL SYSTEM OF THE WESTERN PRIBAIKALIE

V. S. Fedorovsky¹, A. M. Mazukabzov², D. P. Gladkochub²

¹ *Geological Institute of RAS, Moscow, Russia*

² *Institute of the Earth's Crust of SB RAS, Irkutsk, Russia*

Abstract: The Early Paleozoic collisional system located in the Olkhon region at the western shores of Lake Baikal resulted from collision of the Siberian paleocontinent and a complex aggregate composed by fragments of a microcontinent, island arcs, back-arc structures and accretionary prisms. The main events were associated with complete manifestation of shear tectogenesis initiated by oblique collision. The current structure includes tectonically displaced components of ancient geodynamic systems that used to have been located dozens and hundreds of kilometres apart. Horizontal amplitudes of tectonic displacement seem to have been quite high; however, numerical data are still lacking to support this conclusion. Information about the structure of the upper crust in the Paleozoic is also lacking as only deep metamorphic rocks (varying from epidote-amphibolite to granulite facies) are currently outcropped. Formations comprising the collisional collage are significantly different in composition and protoliths, and combinations of numerous shifted beds give evidence of a 'bulldozer' effect caused by the collisional shock followed by movements of crushed components of the ocean-continent zone along the margin of the Siberian paleocontinent. As evidenced by the recent cross-section, deep horizons of the Early Paleozoic crust comprise the collisional system between the Siberian craton and the Olkhon composite terrain.

A permanent inclusion in the collisional combinations of rocks are unusual synmetamorphic injected bodies of carbonate rocks. Such rocks comprise two groups, marble melanges and crustal carbonate melted rocks. Obviously, carbonate rocks (that composed the original layers and horizons of stratified beds) can become less viscous to a certain degree at some locations during the process of oblique collision and acquire unusual properties and can thus intrude into the surrounding rocks of silicate composition. Such carbonate rocks behave as protrusions or intrusions and contain inclusions of silicate rocks. Formation of marble melanges is a multi-staged process: they occur as early tectonic covers and, more often, accompany shear zones of large lengths, comprise late push-out nappes initiated by shear faults, participate in construction of ring and vortex structures that are generated by shearing in the geological medium of inhomogeneous rheology. In general, the available data give evidence of the fact that formation of synmetamorphic marble melanges is a direct consequence of the oblique collision geodynamics and a sensitive indicator of such a regime. A pure guesswork may suggest that the occurrence of the marble melanges can be associated with a catastrophic loss of viscosity of the carbonate rocks due to a sharp increase of velocities of shear deformations that accompanied the oblique collision.

Key words: oblique collision, Early Paleozoic, shear tectogenesis, injection-type carbonate formations, synmetamorphic marble melange.

Recommended by K.G. Levi

Citation: Fedorovsky V.S., Mazukabzov A.M., Gladkochub D.P. 2014. Tectonic position of marble melanges in the Early Paleozoic accretion-collisional system of the western Pribaikalie. *Geodynamics & Tectonophysics* 5 (3), 595–624. doi:10.5800/GT-2014-5-3-0145.

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ МРАМОРНОГО МЕЛАНЖА В АККРЕЦИОННО-КОЛЛИЗИОННОЙ СИСТЕМЕ РАННЕГО ПАЛЕОЗОЯ ЗАПАДНОГО ПРИБАЙКАЛЯ

В. С. Федоровский¹, А. М. Мазукабзов², Д. П. Гладкочуб²

¹ Геологический институт РАН, Москва, Россия

² Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Аннотация: Раннепалеозойская коллизионная система Ольхонского региона (западное побережье Байкала) возникла в процессе столкновения Сибирского палеоконтинента и сложного агрегата из фрагментов микроконтинента, островных дуг, задуговых структур, аккреционных призм. Основные события были связаны с тотальной реализацией сдвигового тектогенеза, инициированного косым характером коллизии. В современной структуре тектонически совмещены самые различные компоненты былых геодинамических систем, разделенные когда-то десятками и сотнями километров. Горизонтальные амплитуды тектонического транспорта были, по-видимому, очень значительными, однако точные цифровые данные, которые могли проиллюстрировать такое заключение, отсутствуют. Нет и никаких сведений о строении верхней коры палеозойского времени – в современном срезе обнажены только глубинные метаморфические породы (размах термодинамических параметров от эпидот-амфиболитовой до гранулитовой фации включительно). Комплексы, составляющие коллизионный коллаж, весьма резко отличаются по составу и протолитам, и в целом картируемые на поверхности комбинации многочисленных сдвиговых пластин отражают бульдозерный эффект, сработавший в результате коллизионного удара и последовавшего затем продвижения разрушенных компонентов переходной зоны океан-континент вдоль края Сибирского палеоконтинента. В современном срезе вскрыты, таким образом, глубинные горизонты раннепалеозойской коры, и в целом они составляют коллизионную систему Сибирский кратон – Ольхонский композитный террейн.

Постоянным участником коллизионных комбинаций являются необычные синметаморфические инъекционные тела карбонатных пород. Они образуют две группы: мраморные меланжи и коровые карбонатные выплавки. Очевидный факт – карбонатные породы, составлявшие исходные пласты и горизонты стратифицированных толщ, в процессе косой коллизии локально или более широко почему-то кратковременно (или более длительно) в той или иной мере теряют вязкость и обнаруживают совершенно необычные свойства: они внедряются в окружающие породы силикатного состава. Ведут себя как протрузии или интрузии, содержат включения силикатных пород. Формирование мраморных меланжей – многоэтапный процесс: они образуют ранние тектонические покровы, но чаще всего сопровождают сдвиговые зоны большой протяженности, составляют поздние выжатые покровы, инициированные сдвигами, участвуют в строении кольцевых и вихревых структур, генерированных сдвигом в реологически неоднородной геологической среде. В целом материал свидетельствует о том, что формирование синметаморфических мраморных меланжей – прямое следствие геодинамики косой коллизии, чувствительный индикатор такого режима. В качестве осторожной догадки высказывается предположение о том, что появление мраморных меланжей связано с катастрофической потерей вязкости карбонатных пород вследствие резкого возрастания скорости сдвиговых деформаций, сопровождавших косую коллизию.

Ключевые слова: косая коллизия, ранний палеозой, сдвиговый тектогенез, инъекционные карбонатные образования, синметаморфический мраморный меланж.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предисловие имеет прямое отношение к 60-летию Евгения Викторовича Складорова (рис. 1–4), так как юбиляр тесно связан с проблемой, которая обозначена в названии статьи. И, таким образом, поздравляя Евгения Викторовича, уместно поговорить и о мраморных меланжах. Понятие было предложено еще в прошлом веке [Fedorovsky et al., 1993], когда мы уже начали совместно работать в Ольхонском регионе.

В статье мы постараемся рассказать о мраморных меланжах, если можно так сказать, в «чистом виде», главным образом – об их тектонической позиции. Об альтернативном варианте – карбонатных выплавках – недавно в журнале «Геотектоника» опубликована наша совместная с юбиляром статья [Sklyarov et al., 2013], и эти данные повторять здесь не будем.

Своеобразный, остро направленный на поиск научной новизны механизм мозговой атаки, свойственный Е.В. Склярову, не раз приносил между тем свои плодотворные результаты в нашей совместной работе, среди которых можно отметить: открытие гранит-базитового минглинга в Ольхонском регионе (рис. 5) [Sklyarov, Fedorovskii, 2006]; открытие гейзеритов в Западном Прибайкалье (рис. 6, 7) [Sklyarov et al., 2004]; коровые карбонатные выплавки [Sklyarov et al., 2011, 2013]. Двенадцать зимних ледовых экспедиций по скальному побережью Байкала были также организованы юбиляром. Отвлекаясь от Ольхонского региона, можно вспомнить о первой в России (в Забайкалье) находке метаморфических ядер кордильерского типа – и это тоже заслуга Е.В. Склярова (рис. 8, 9).

1. ВВЕДЕНИЕ

Синметаморфический мраморный меланж – постоянный участник разнообразных аккреционно-коллизонных композиций в Ольхонском регионе Западного Прибайкалья [Fedorovsky et al., 1993]. Карбонатным породам в регионе вообще принадлежит весьма значительная роль. Они занимают около 20 % территории. Нужно сразу отметить, что все карбонатные породы региона изначально были стратифицированными и составляли когда-то естественные напластования. В современном срезе обнажены только тектонические фрагменты глубинных горизонтов коры раннепалеозойского возраста и все породы охвачены метаморфизмом. Колебания его фаций весьма значительны – от эпидот-амфиболитовой до гранулитовой включительно. Никакой информацией о составе и строении верхней коры того времени мы не располагаем, и это, конечно, снижает достоверность геодинамических реставраций. На первых стадиях исследований мы, как и наши предшественники, с уверенностью принимали тела мраморов, картируемых в плане, за метаморфические аналоги былых горизонтов карбонатных пород неких, изначально стратифицированных, разрезов. С открытием мраморных меланжей эта уверенность стала быстро угасать, и проблема до сих пор не находит своего решения. Действительно, в тех случаях, когда матрикс меланжа переполнен включениями (обломками) силикатных пород, у геолога не остается сомнений в том, что прежнего пласта карбонатных пород, давших начало меланжу, вроде бы не осталось. Это тем более ясно, когда видишь, что тела меланжа пересекают структуры, образованные силикатными породами. Но нередки и другие случаи, когда количество включений силикатных пород невелико, скажем, 1–10 % от объема меланжа (а то они и совсем исчезают) и можно сомневаться в самом определении породы как меланжа. Означает ли это, однако, что мы вышли из инъекционного тела карбонатных пород и видим исходный пласт из какого-то стратифицированного разреза? Опыт работы в регионе показал – это стандартная ошибка. Природа меньше всего озабочилась проблемой легкого распознавания меланжа. Никто не знает,



Рис. 1. Е.В. Скляров в геологическом маршруте.

Fig. 1. E.V. Sklyarov in field.



Рис. 2. Е.В. Скляров во время зимней экспедиции на Байкале.

Fig. 2. E.V. Sklyarov in the winter expedition to Lake Baikal.

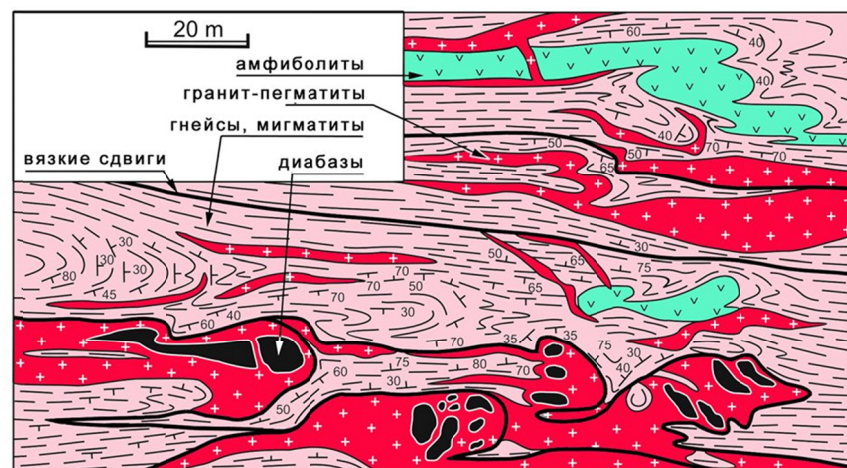


Рис. 3. Научная дискуссия. Слева – Е.В. Скляр, в центре – А.М. Мазукабзов, справа – В.С. Федоровский.

Рис. 4. Мраморный меланж в геологическом обнажении.

Fig. 3. Scientific discussion. Left – E.V. Sklyarov; centre – A.M. Mazukabzov; right – V.S. Fedorovsky.

Fig. 4. Outcropped marble melange.



Синметаморфический
магма-минглинг.

Нодули (шары) базитов,
закатанные в гранит

Сдвиговая зона в районе
купола Овал



Рис. 5. Синметаморфический гранит-базитовый минглинг. Первая находка в регионе (именно в этом месте, юго-западнее бухты Орсо) – Е.В. Скляр.

Fig. 5. Synmetamorphic granite-basic rock mingling. The first finding in the region under study (in this particular place located south-westward of the Orso bay) – E.V. Sklyarov.



Рис. 6. Кайнозойские гейзериты на мраморах и мраморных меланжах в районе Тонта (возраст 19000–24000 лет), температура фонтанирующих источников 70 °С.

Fig. 6. The Cenozoic geyserites on marbles and marble melanges in the Tonta area. Ages from 19000 to 24000 years. The temperature of free-flow spings is 70 °C.



Рис. 7. Первая находка и первое описание гейзеритов в этом месте.

Fig. 7. The first finding and the first description of geyserites on this site.



Рис. 8. На международной полевой экскурсии в Приольхонье.

Fig. 8. The international field excursion in Priolkhonie.



Рис. 9. Октябрь 2013 г. Научное совещание: «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса: от океана к континенту». Завершающая дискуссия.

Fig. 9. Scientific Conference “Geodynamic evolution of the lithosphere in the Central Asian mobile belt: from ocean to continent” held on 13-18 October 2013 in Irkutsk. Wrap-up discussion.

сколько нужно включений силикатных пород в мраморе для того, чтобы исследователь решил: это – меланж. Скажем, 100 обломков на квадратный метр в обнажении – тут сомнений вроде бы нет. А если один обломок? Да и вообще, повторим, что на самом деле обломков силикатных пород в «мраморе» может не быть вообще, а доказательства внедрения такой карбонатной массы в окружающие силикатные породы будут налицо. По-видимому, в таком случае должен быть поставлен предел употреблению термина «меланж» и нужно говорить уже не о меланже, а об инъекции карбонатных пород. И в самом деле, ведь собственно меланж, как показывает весь материал по геологии региона, – не более чем частный случай инъекционных (в более широком смысле) образований. Имея в виду такие соображения, можно утверждать, что число сохранившихся в регионе изначально стратифицированных пластов карбонатных пород (как это первоначально казалось) начинает быстро приближаться к нулю. Вместе с тем, сама эта проблема, поначалу носившая экстравагантный и даже скандальный характер, с течением времени стала терять свою остроту, поскольку сейчас детально исследован сам коллизионный коллаж региона и достаточно уверенно установлены основные параметры таких композиций. В них тесно тектонически перемешаны фрагменты различных латеральных рядов бывших геодинамических обстановок. Было бы как раз удивительно, если бы при такой степени тектонического разрушения исходных систем и хаоса возникавших совершенно немыслимых комбинаций различных аллохтонов некие карбонатные пласты чудом сохранились бы в первозданном виде. Учитывая весьма высокую пластичность, свойственную карбонатам, такое тем более трудно себе представить.

В этой статье мы не будем рассматривать проблему мраморного меланжа в целом – это слишком обширная тема. Хотелось бы сосредоточиться на некоторых вопросах тектонической позиции меланжа, поскольку в последнее время обнаружены новые интересные эффекты именно в этом плане. Но все же без общей, хотя бы пунктиром, характеристики мраморных меланжей не обойтись. Более полно она приведена в давней статье в журнале «Геотектоника» о находке этих образований [Fedorovsky et al., 1993], которая так и называлась: «Новый тип меланжа (Байкал, Ольхонский регион)».

2. В ПОИСКАХ ГЕНЕЗИСА МЕЛАНЖА

Полное определение этих образований, приведенное в той работе, – «синметаморфический мраморный меланж». Тогда мы «привязывали» проявления меланжа к зонам сдвигового и покровного типа. Такая их тектоническая позиция и сегодня, спустя много лет, оказывается наиболее частой. В целом. Но появились и детали, существенно уточняющие обстановки мелан-

жеобразования. Сдвиги по-прежнему – ведущий фактор, инициирующий этот процесс. Но в таких зонах меланжи занимают разные позиции: в одних случаях они маркируют собственно сдвиги, в других – наоборот – выжимаются из сдвиговых конструкций. Сегодня очевидно, что такие условия возникали в режиме трансенсии и транспрессии, свойственных сдвиговой тектонике. Одновременно стали ясны и большие масштабы формирования меланжей в системах роллинга, сопровождавших реализацию сдвигов в условиях резкой реологической неоднородности среды, и это – отдельная и весьма обширная группа меланжей, тела которых отличаются кольцевой и спиральной морфологией в плане. Вместе с тем мраморные меланжи обнаружены теперь не только в сдвиговых зонах и в ранних, досдвиговых, покровах. Появляется все больше данных, свидетельствующих о возникновении вторичных покровов меланжей, выжатых из сдвиговых зон. Нередко они транспортируются оттуда как раз в участки локализации ранних покровов и в результате возникают сложные конструкции из разновозрастных покровов, отличить которые друг от друга не всегда удается (а точнее – не удастся отличить никогда). По-видимому, можно думать, что список вероятных структурных позиций мраморных меланжей еще не закончен и нас еще ожидают какие-то необычные находки в этом плане.

Матрикс меланжей во всех случаях, как и следует из названия, – мраморы. Включения в них (обломки, нодули) представлены самыми разнообразными по размеру и составу метаморфическими и магматическими породами, развитыми поблизости (рис. 10). Давно замечено – никаких экзотических пород в составе обломков в меланже нет. Это объективно свидетельствует о незначительных масштабах тектонического транспорта самого меланжа. Именно поэтому при работе на небольших обнажениях может сложиться первое впечатление о мономиктовом составе включений в меланже. Уже небольшое расширение площади работы позволяет убедиться в обратном: обломочный материал в меланже имеет полимиктовый состав. Он установлен практически во всех зонах метаморфизма – от эпидот-амфиболитовой до гранулитовой фации включительно. Оригинальный вариант смеси – меланж в меланже, когда крупные по размеру обломки мраморного меланжа ранней генерации присутствуют в мраморном меланже более поздней генерации. Само по себе это важное наблюдение, поскольку позволяет утверждать, что формирование мраморного меланжа не было одноактным событием. Наоборот, эпизоды такого рода были многочисленными. Вместе с тем важно еще раз подчеркнуть, что в целом все меланжи оказались синметаморфическими; они возникали именно так: не до метаморфизма и не после него, а только в процессе самого метаморфизма. А он, в свою очередь, синхронизирован с многочисленными эпизодами деформаций и магматизма, и это позволяет весь-



Рис. 10. Мраморный меланж в береговых скалах Байкала.

Сдвиговая зона в районе бухты Недоступная. Включений силикатных пород немного, но они имеют крупные размеры (1–3 м). На снимке можно видеть, что тело меланжа под косым углом пересекает напластование пород силикатного состава.

Fig. 10. Marble melanges in cliffs at the shores of Lake Baikal.

The shear zone near the Nedostupnaya bay. Inclusions of silicate rocks are few but large in size, from 1 m to 3 m. The melange body is located across the silicate rock beds at an oblique angle.

ма точно определять структурную и хронологическую позицию меланжей.

Самая удивительная особенность «нашего» меланжа – способность карбонатного вещества его матрикса к той или иной мере снижения вязкости. В широких диапазонах условий метаморфизма и флюида, давления и стресса он начинает течь как пластилин. Почему в других регионах, где подобные условия не менее разнообразны, в режиме той же коллизии мраморы (как компоненты стратифицированных разрезов) сохраняются, а мраморных меланжей нет – пока загадка. А более правильно было бы, наверное, сказать как раз наоборот: почему именно здесь, в Ольхонском регионе, обычная вроде бы коллизия сопровождалась такими грандиозными масштабами формирования мраморных меланжей? Так может быть, и сама коллизия здесь была какой-то «ненормальной»? В этом плане изучение мраморных меланжей может дать сигналы, импульсы для поиска каких-то закономерностей более общего, фундаментального характера.

Авторы должны признаться, что ответ на этот вопрос им неведом. Профессионально обсуждать эту тему мы не можем, поскольку ответ на него находится, как кажется, за рамками геологии. Перечислим только некоторые моменты, почерпнутые из литературы. При этом мы даже не будем ссылаться на источники, потому что вся эта область далека от наших профессиональных интересов, и риск не только что-то пропу-

стить или напутать, но и неверно расставить акценты – весьма велик. И все же – вот некоторые моменты, которые сами по себе любопытны (в скобках заметим, что для специалистов в области физики и механики это, наверное, вполне тривиальные сведения). Начнем издали, с элементарного.

- Так, один и тот же материал в одних условиях ведет себя как хрупкий, в других как пластичный. «Расплавить» можно, к примеру, все что угодно.

- А вот – более тонкие оттенки: мраморы, например, при одноосном растяжении разрушаются как хрупкий материал, а при всестороннем сжатии проявляют пластические свойства... Характерно, что первое происходит при больших, а второе – при малых остаточных деформациях.

- Изучение зависимости пластичности от всестороннего давления показало, что с повышением давления пластичность известняков, например, резко возрастает и известняк (в отличие от других пород) становится очень пластичным уже при давлении в несколько сотен бар.

- Повышение температуры при этом уменьшает предел текучести. Но не все так просто. Например, конечная прочность возрастает с ростом всестороннего давления. И в целом, существуют зависимости конечной прочности и предела текучести и от давления, и от температуры.

- Но вот еще один параметр и весьма неожиданный, но важный фактор – скорость деформации. Оказывается, что увеличение скорости деформации сопровождается сильным уменьшением предела текучести и конечной прочности. Интуитивно ощущается, что в геологии этот момент может оказаться весьма многозначительным. К примеру, чисто дилетантский подход, – может быть именно большими скоростями деформаций при косой коллизии в Ольхонском регионе и надо объяснять впечатляющие масштабы меланжирования карбонатных пород?

- Но и тут простыми спекуляциями не отделаться. Например, в экспериментах установлено, что с увеличением скорости деформации от 10^{-7} до 10^{-3} с^{-1} степень пластичности мрамора резко падает, нарастает вклад катаклаза, хрупкой деформации. Однако известно и другое, что при достижении достаточно высокой скорости деформации (10^{-2} с^{-1}) обнаруживается обратная зависимость – быстрый рост пластичности! Может быть, это и есть искомый ответ?

Шанс выйти на ошибочные решения очень велик, и уместно вспомнить один из парадоксов законов Мерфи: «Сложные проблемы имеют легкие для понимания неправильные ответы».

Попытки найти место меланжам в уже существующих геологических классификациях тоже не принесли результата. В одной из недавних публикаций [Festa et

al., 2012] этот вопрос специально обсуждается. Формально место мраморным меланжам Ольхонского региона в предлагаемой указанными авторами классификации найти можно: это так называемая тектоническая категория меланжей. Однако возникновение мраморных меланжей Ольхонского региона связано с тремя исходными позициями:

1) они инициируются в глубинных зонах активных деформаций сдвигового и покровного типа (спусковой механизм – тектоника);

2) важнейшим фактором является карбонатный состав матрикса меланжа (никакие другие породы в составе матрикса меланжей не замечены);

3) существует какой-то критерий (по-видимому, механического характера), определяющий критический порог в мгновенной потере вязкости карбонатных пород.

Соединившись все вместе, эти критерии и определили масштабы меланжеобразования в палеозое Ольхонского региона.

Мимоходом отметим, что в упомянутой выше интересной статье с многозначительным и претенциозным названием – «Mechanisms and processes of stratal disruption and mixing in the development of mélanges and broken formations: Redefining and classifying mélanges» приведен обширный список литературы из 200 работ. Мы, однако, не обнаружили в этом списке нашей статьи о выделении нового типа меланжа, да и вообще ни одной статьи российских авторов. Что бы это значило – трудно сказать. Какая-то мистика. В любом случае, однако, здесь уместно акцентировать внимание на фрагменте после двоеточия из названия статьи указанных авторов: «...Redefining and classifying mélanges». Приведем его и по-русски – «...*Переосмысление и классификация меланжей*»... Напомним еще раз: наша статья опубликована 20 лет назад. Можно было бы и переосмыслить, и учесть в классификации. А пока приходится констатировать: как был мраморный меланж Ольхонского региона заявлен тогда как новый тип таких образований, таким он до сих пор и остается. Вечно новый... И вне классификаций.

3. СИНМЕТАМОРФИЧЕСКИЙ ХАРАКТЕР МРАМОРНОГО МЕЛАНЖА

Априори решения этого вопроса кажутся альтернативными. Действительно, геолог на первых порах исследования вправе предполагать и дометаморфический, и синметаморфический, и постметаморфический генезис меланжа. Поскольку матрикс меланжа – мрамор (метаморфическая порода), проще всего было бы думать, что меланж возник ранее, а затем подвергся метаморфизму. Такое предположение легко опровергается, поскольку включения (обломки) в меланже тоже представлены метаморфитами, которые широко развиты здесь же, в непосредственной близости. Сам

метаморфизм носил одноактный характер, и его параметры в матриксе и в обломках одинаковы. Следовательно, дометаморфическим меланж Ольхонского региона быть не может, это очевидно. Более важно, однако, другое наблюдение. Меланж прорван жилами синметаморфических гиперстеновых гранитов (зона Черноруд) (рис. 11), которые тут же дезинтегрируются на обломки и попадают в состав включений в меланже. В пределах небольшой и полностью обнаженной площади можно видеть, как жилы гранитов рассекают мраморный меланж, в составе которого присутствуют обломки тех же самых гранитов... Одного этого достаточно, в любом случае, чтобы решительно отнести мраморные меланжи к синметаморфическим образованиям. Но и сторонники идеи о постметаморфическом генезисе меланжа найдут здесь свои аргументы, поскольку тела меланжа прорывают складчатые конструкции, образованные метаморфическими породами силикатного состава, и таких мест можно найти сколько угодно. Вместе с тем, возникновение меланжей не было одноактным процессом. Накапливается все больше данных, которые свидетельствуют о многочисленных эпизодах меланжеобразования в границах весьма длительного мегахрона формирования метаморфических комплексов региона. Имеющиеся изотопные датировки охватывают интервал 500–460 млн лет, и никаких данных, которые могли бы указывать на возникновение меланжей за пределами этих хронологических границ, не существует. Они – синметаморфические.

4. СОСТАВ И РАЗМЕРЫ ВКЛЮЧЕНИЙ (ОБЛОМКОВ) В МЕЛАНЖЕ

Они чрезвычайно разнообразны, но при внимательном анализе быстро убеждаешься: состав включений всегда, как упоминалось выше, представлен местным материалом. Ни разу нам не приходилось видеть в составе включений какие-то экзотические породы. Не встретишь даже и никаких пород, расположенных в этом же регионе, но на удалении от места локализации меланжа. И вместе с тем, вряд ли есть смысл пытаться определить в метрах (в километрах, сантиметрах) масштабы транспорта меланжа. Например, в районе Тонта-восток мраморные меланжи содержат крупные включения (глыбы размером первые метры в диаметре) гранатитов – специфических скарнов на контакте габброидов и мраморов. В коренном залегании эти скарны присутствуют здесь же, в ста метрах от выходов меланжа. Еще в 200 метрах от коренных выходов этих пород мы встречаем мраморный меланж, в котором уже нет обломков гранатитов, но (интересная деталь) в самом матриксе меланжа присутствуют линзы скоплений зерен граната. Такое впечатление, что исходный гранатит (а такие породы на 80 % состоят из граната) дезинтегрирован, «рассыпался» на составные

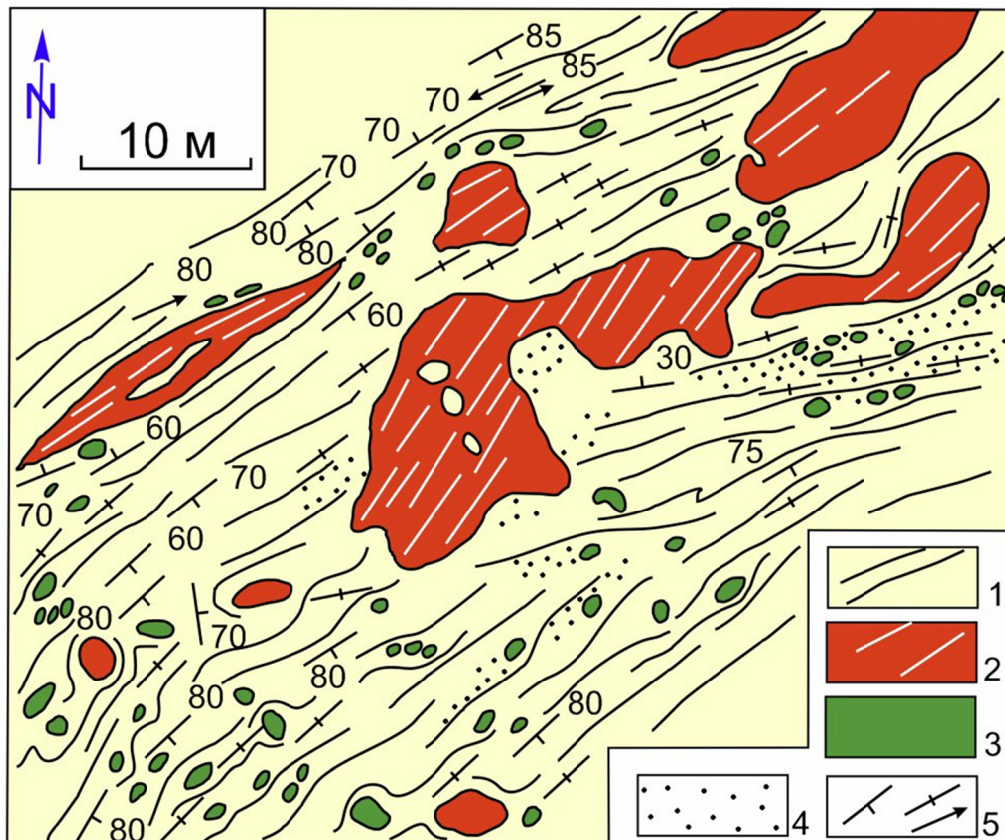


Рис. 11. Детальный план небольшого участка развития мраморного меланжа на левобережье р. Кучелга, Приольхонье, зона Черноруд [Fedorovsky et al., 1993].

1 – мраморный матрикс меланжа; 2–3 – обломки (включения) в меланже: 2 – синметаморфические жилые гиперстеновые граниты (белый пунктир – сланцеватость), 3 – мафитовые гнейсы, метагабброиды, кварциты, мраморы, гранат-пироксеновые метасоматиты; 4 – зоны окварцевания; 5 – ориентировка сланцеватости (наклонная, субвертикальная) и минеральной линейности (стрелки).

Fig. 11. A detailed scheme of a small marble melange segment at the left-side bank of the Kuchelga river in the Chernorud zone in Priolkhonie [Fedorovsky et al., 1993].

1 – marble matrix of melange; 2–3 – inclusions in melange: 2 – synmetamorphic vein-type hypersthenic granite (white dotted line – schistosity), 3 – mafic gneiss, metagabbroid, quartzite, marble, garnet-pyroxene metasomatite; 4 – silification zones; 5 – orientations of schistosity (oblique, sub-vertical) and mineral linearity (arrows).

части. Удаляемся еще метров на 100–200 от выходов скарнов, и они в составе включений в меланже полностью исчезают. Такая же картина и с габброидами. Вблизи таких массивов меланж переполнен включениями габброидов. Правда, массивов базитов здесь множество, и объективно решить, обломки какого из них представлены в меланже, не удастся. Однако стоит удалиться от выходов габброидов на несколько десятков или сотен метров, и обломки таких пород в меланжах просто исчезают. В тех участках, где меланж контактирует с кварцитами или мафитовыми (двупироксеновыми) гнейсами, именно такие породы можно встретить в составе включений, поэтому в целом создается впечатление, что состав включений в меланже очень пестрый (и это так и есть), но всегда нужно иметь в виду, что основные поля меланжа сосредоточены в зонах развития как раз пестрого по составу

«ольхонского» комплекса (рис. 12–17).

Размеры включений. Они самые различные (от миллиметров до первых метров в диаметре), но характер рельефа (а он в регионе не отличается большими превышениями, это холмисто-грядовый ландшафт) таков, что определить истинные размеры включений не всегда удастся. Вполне вероятно, что включения в меланже могут быть и огромных размеров – сотни метров, а может быть и километры. Впрочем, такие циклопические обломки, может быть, и нельзя называть включениями. Может и так оказаться, что меланж проникает в тела тех или иных силикатных пород, ветвится, окружает отдельные блоки (по-видимому, это так и есть), но следует ли определить подобные блоки как включения в меланже – уверенного ответа на этот вопрос нет. В целом при крупномасштабном картировании вырисовывается весьма сложная картина тел



Рис. 12. Крупные включения в мраморном меланже.

Нодуль метагабброидов в гранитной рубашке, закатанный в синметаморфический мраморный меланж. Белый контур – полуметровый нодуль габброидов в меланже.

Fig. 12. Large inclusions in marble melange.

A metagabbroid nodule in the granite cover within synmetamorphic marble melange. White contour – 0.5-metre gabbroid nodule in melange.

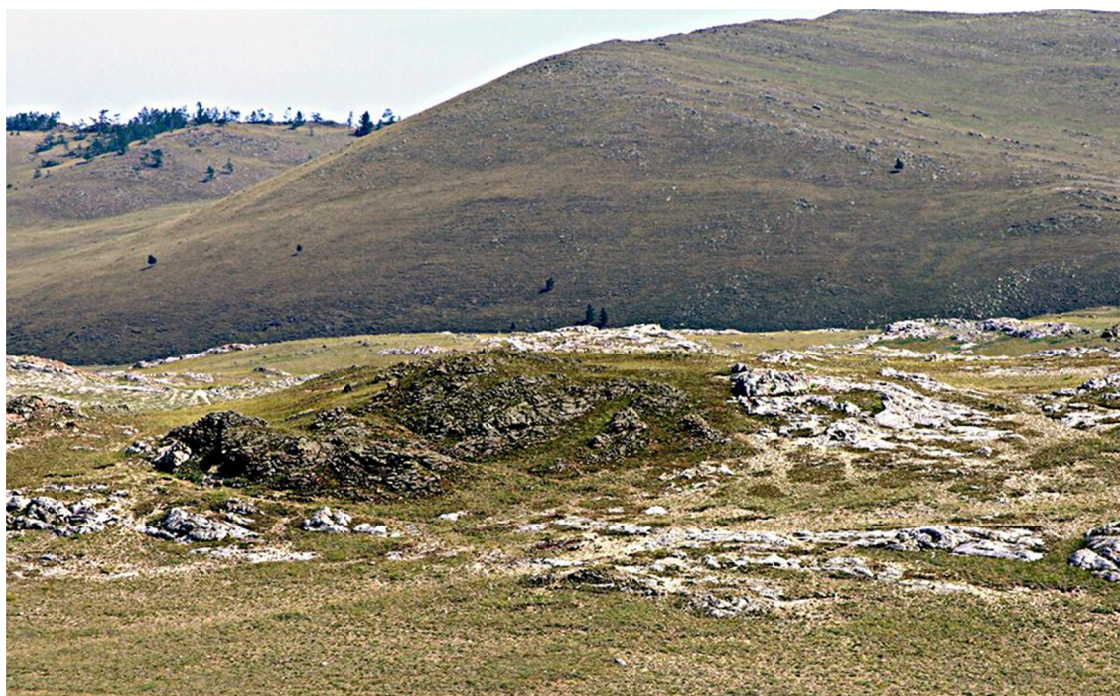


Рис. 13. Крупное (диаметр около 10 м) включение метагабброидов в мраморном меланже. Район Тонта-восток.

Fig. 13. A large inclusion (about 10 m in diameter) of metagabbroids in marble melange. Tonta-East area.



Рис. 14. Включение синметаморфического гранит-базитового минглинга в синметаморфическом мраморном меланже. Остров Ольхон, скальное побережье Байкала южнее залива Узур.

Fig. 14. An inclusion of synmetamorphic granite-basic rock mingling in synmetamorphic marble melange. Olkhon Island, rocky shore of Lake Baikal southward of the Uzur bay.



Рис. 15. Включения синметаморфических гранитов в мраморном меланже. Тонга.

Fig. 15. Inclusions of synmetamorphic granites in marble melange. Tonta area.



Рис. 16. Включение метагабброидов в мраморном меланже. Тонта.

Fig. 16. Inclusions of metagabbroids in marble melange. Tonta area.



Рис. 17. Включение двупироксеновых гнейсов в мраморном меланже.

Район Тонта-восток. Внизу – деталь этого обнажения, где отчетливо видно срезание мраморами полосчатости в мафитовых гнейсах, а также небольшие жилы карбонатного состава, внедренные в гнейс.

Fig. 17. Inclusions of two-pyroxene gneisses in marble melange.

East Tonta area. Bottom – a detail of the outcrop wherein it is clearly visible that marbles cut striations in mafic gneisses, and there are small veins of carbonate composition which are intruded into gneiss.

меланжа – по-существу, это паутина, пронизывающая силикатные породы, и нередко кажется, что ее рисунок и в плане, и в разрезе имеет хаотический характер. На самом деле это, конечно, не так. Мраморный меланж формируется в условиях реализации различных деформаций, и все они, так или иначе, отражены в формировании тел и внутренней структуры меланжа.

5. КОНФИГУРАЦИЯ И РАЗМЕРЫ ТЕЛ МЕЛАНЖА

Истинные размеры тел мраморных меланжей можно оценить, только глядя из Космоса. В своей работе мы используем обширный арсенал аэрокосмических данных (задействован материал с девяти спутников и четыре масштаба аэрофотосъемки). Именно такие снимки, полученные сканерами высокого и сверхвысокого разрешения, установленными на современных космических аппаратах, позволяют одним взглядом не только увидеть в деталях весьма затейливые конфигурации меланжей, но и оценить протяженность и ширину их тел в плане. Непосредственно на местности геолог может наблюдать лишь фрагменты этих сложных конструкций. Иногда это серии многочисленных изолированных друг от друга мелких полей линейных и нелинейных очертаний. В плане они образуют цепочки, ориентированные субпараллельно общему простиранию системы и протягивающиеся на сотни метров и километры. В других местах появляются обширные поля меланжа, в которых линейная ориентировка полностью отсутствует. В таких участках чаще всего удается наблюдать прямые пересечения мраморным меланжем сланцеватости силикатных метаморфических пород и контактов между различными породами силикатного состава. Углы пересечения таких контактов могут быть любыми – от едва заметных до весьма крутых, и тогда никаких сомнений в прорыве мраморным меланжем любых других метаморфических пород не остается. Это впечатление усиливается еще более, когда в составе меланжа присутствуют крупные глыбы и мелкие обломки силикатных пород. Вместе с тем, не все так просто. Детальное картирование показало – немало и таких мест, где инъекционный характер карбонатных внедрений очевиден, а включений силикатных пород в них исчезающе мало или нет совсем. Именно это привело нас к необходимости применения более нейтрального, общего термина – инъекционные карбонатные породы, которые объединяют не только собственно мраморные меланжи, но и чисто мраморные инъекции, а также и упомянутые выше карбонатные выплавки [Sklyarov et al., 2013].

Отдельно нужно сказать о группе линейных тел меланжа и карбонатных пород в целом. Сегодня это проблема, не имеющая пока ясного решения. Геологические карты, составленные с большой степенью точности (с применением аэрокосмического материала высокого и сверхвысокого разрешения), позволяют ви-

деть, что «горизонты» карбонатных пород при ничтожной ширине в плане (первые метры – десятки метров) протягиваются без перерывов на километры и десятки километров. Все бы ничего, да вот «беда» – это вовсе не горизонты в стратиграфическом смысле. При их картировании шаг за шагом можно встретить значительные по протяженности интервалы, занятые меланжами, которые то появляются, то исчезают, а сами контакты таких тел (независимо от того, меланжи это или «чистые» мраморы) обнаруживают признаки структурного несогласия с толщами пород силикатного состава. При этом прямого несогласия непосредственно в обнажениях можно и не увидеть – в связи с малыми углами оно становится очевидным лишь при наращивании площади геологической съемки. Так, например, мраморно-меланжевый «горизонт» в юго-восточном ограничении Главной сдвиговой зоны Ольхонского региона (его мощность равна 5–10 м) непрерывно прослежен в Приольхонье на 40 км, а на острове Ольхон – еще на 20 км. На значительных по протяженности участках в его составе преобладают мраморы, а меланжи отсутствуют. Однако «горизонт» под углом 10–15° пересекает десятки самых различных структур и комплексов. Непосредственно в обнажениях ничего этого нельзя увидеть (такие малые углы человеческий глаз не воспринимает), но космический снимок беспристрастен, а геологическая карта, составленная на его основе, объективно свидетельствует: структурное несогласие налицо (рис. 18, 19).

Линейная конфигурация тел меланжа между тем вовсе не единственная, и отклонения от этой формы бесчисленны – от частичной утраты прямолинейных контуров до полного исчезновения линейности. Пример совершенно иной конфигурации тел меланжей можно видеть на рис. 20. Только крайняя слева полоса меланжей на этом снимке составляет линейное образование, а все остальное обширное по площади поле отличается отсутствием линейности.

6. СТРУКТУРНАЯ ПОЗИЦИЯ ТЕЛ МЕЛАНЖА

Синтез полевого материала позволяет наметить четыре позиции локализации таких образований в региональной структуре:

- 1) в самых ранних складчатых пакетах, отражающих синметаморфические досдвиговые деформации покровного типа;
- 2) в синметаморфических сдвиговых зонах;
- 3) в системах роллинга (вращения), инициированных сдвигами и реализованных в условиях резкой геологической неоднородности геологической среды;
- 4) в выжатых покровах, инициированных сдвигами (в одних случаях они дублируют ранние покровы, в других – составляют тела, не контролируемые предшествующими структурами покровного типа).

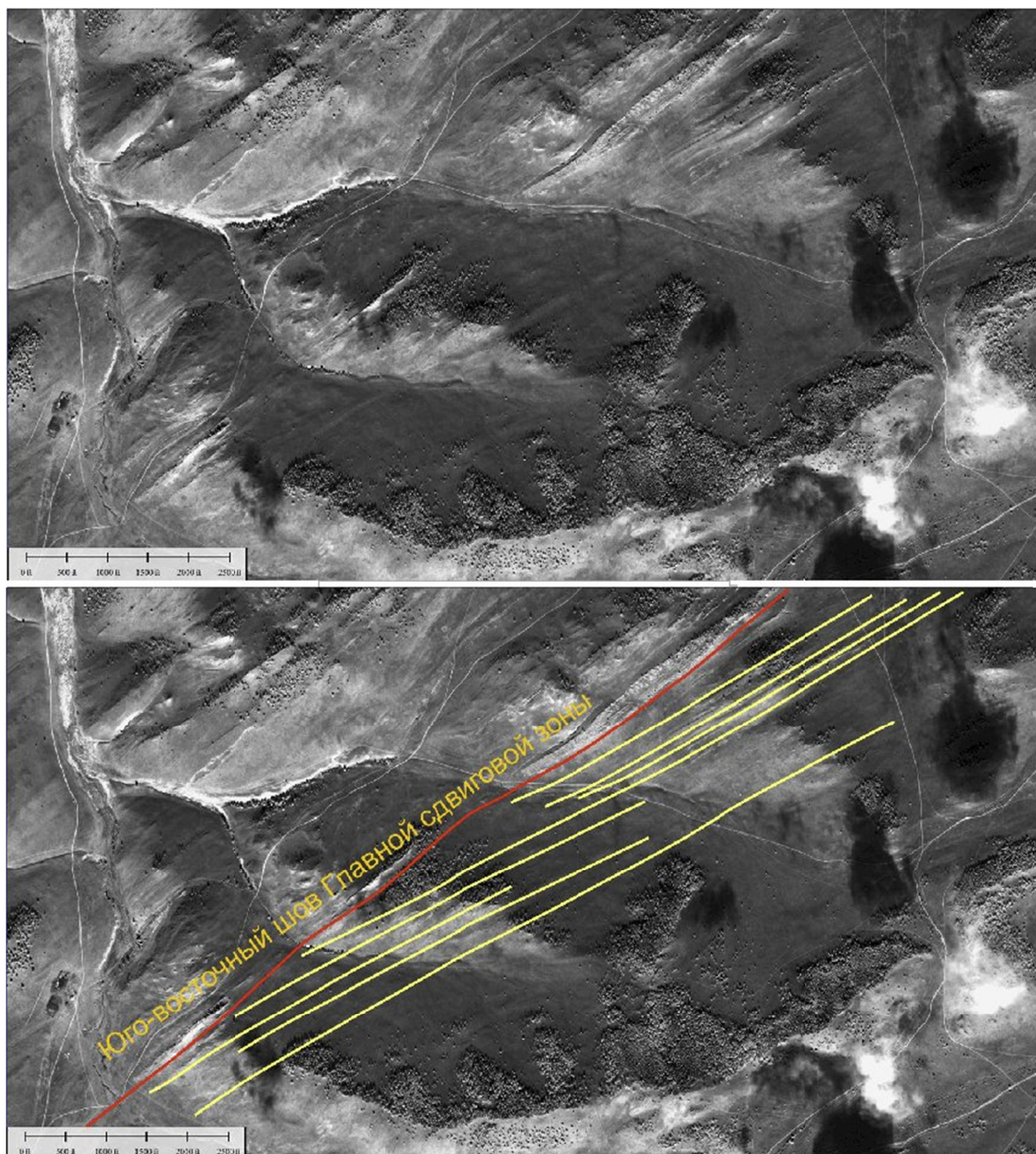


Рис. 18. Косое сочленение структур вдоль юго-восточного фланга Главной сдвиговой зоны (красная линия – бластомило-ниты) и прилегающего к ней «горизонта» мраморов и мраморных меланжей.

Спутник WORLD VIEW-2, США. Разрешение 46 см в пикселе, масштаб 1:1500 (линейка внизу слева – в футах). По сравнению с оригиналом снимок здесь сильно уменьшен. Охват большой площади обнаруживает отчетливое структурное несогласие. Углы сочленения разных структур очень пологие (10° – 20°). Мраморы и мраморные меланжи (линейная светлая полоса) контактируют с бластомило-нитями и маркируют сдвиговую зону. Ширина тела в плане колеблется от 100 м до нуля. Вверху – «чистый» снимок, внизу – показаны некото-рые элементы структуры.

Fig. 18. Oblique junction of structures along the south-eastern flank of the main shear zone (red line – blastomylonites) and adjacent 'horizon' of marbles and marble melanges.

Data from WORLD VIEW-2 satellite, USA. Resolution 46 cm per pixel; scale 1:1500 (the scale at the left bottom is in feet). The image is considerably reduced against the original. In a view of the larger area, the structural unconformity is clearly visible. Junction angles of variable structures are very low (from 10° to 20°). Marbles and marble melanges (linear light-coloured band) are in contact with blastomylonites and mark the shear zone. In plan, the width varies from 100 m to zero. Top – original image; bottom – elements of the structure are shown.

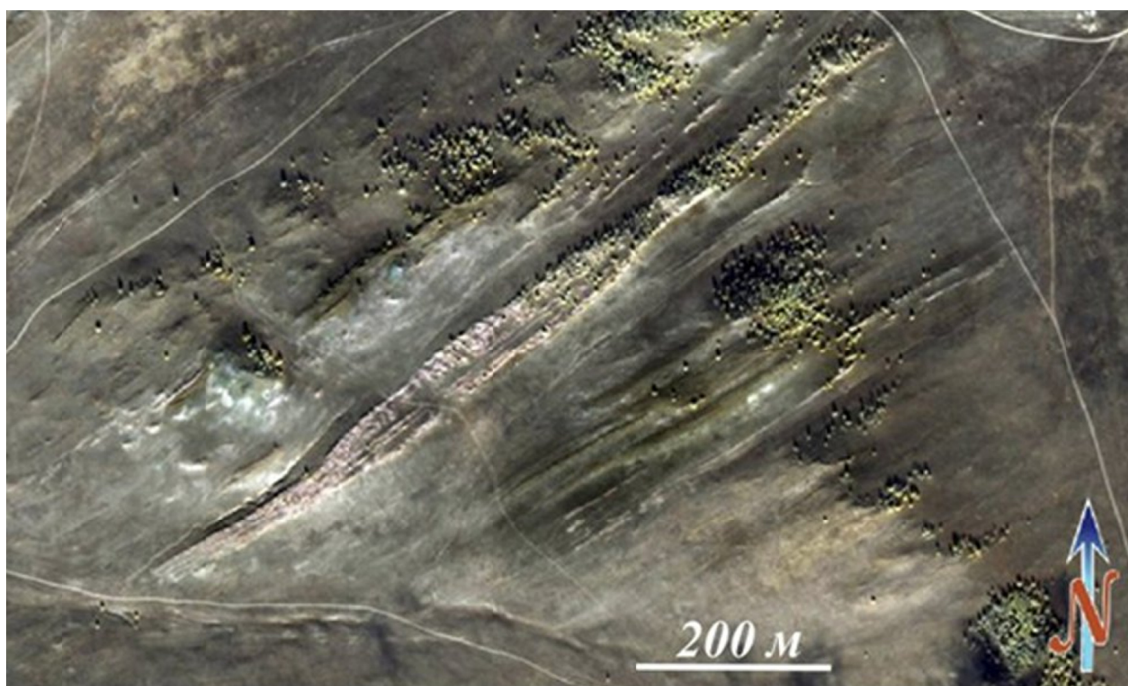


Рис. 19. Фрагмент той же площади со спутника IKONOS-2, США (мультиспектральный формат, разрешение 82 см в пикселе, масштаб 1:5000).

Уменьшено. Линейные тела мраморов и мраморных меланжей меняющейся мощности (светлое), заблокированные в зонах сдвигов. Северо-восток Приольхонья. Главная сдвиговая зона.

Fig. 19. A fragment of the same area in the image from IKONOS-2 satellite, USA (multi-spectral format; resolution 82 cm per pixel; scale 1:5000).

The image is reduced. Linear bodies of marbles and marble melanges of variable thickness (light-coloured) are blocked in the shear zones. The north-eastern Priolkhonie. The main shear zone.

1. Мраморные меланжи и мраморы в досдвиговых структурах покровного типа. Структурный анализ уже давно обнаруживал деформации покровного типа, которые в Ольхонском регионе по времени своего формирования предшествовали сдвигам [Dobrzhi-netskaya et al., 1992; Katsura, Fedorovskii, 1996; Fedo-rovsky et al., 1995]. Однако реальные и картируемые покровные системы, ввиду тотальных масштабов сдви-гового тектогенеза, длительное время не удавалось найти. Сегодня это противоречие осталось, наконец, позади и пакеты досдвиговых покровных складок с субгоризонтальными шарнирами обнаружены сразу на нескольких участках территории полигона (рис. 21–25). С карбонатными породами, формирующими по-кровные складки, ассоциируют и ранние синметамор-фические граниты. Нечасто, однако, среди таких структур можно встретить собственно мраморные меланжи, преобладают мраморы. Но есть и вполне оче-видные свидетельства появления мраморных мелан-жей уже на ранних этапах формирования региональ-ной структуры.

Сдвиговые зоны. Это наиболее распространенный вариант. Синметаморфические зоны сдвига многочис-ленные, они отражают основной каркас, скелет карти-

руемой региональной структуры. Сдвиговым дефор-мациям предшествовали весьма мощные и тоже син-метаморфические деформации покровного и куполь-ного типа. На фоне тотально проявленного сдвигового тектогенеза они сохранились лишь на площадях ло-кальных участков. Значительная часть сдвиговых зон маркируется выходами так называемого шовного ком-плекса (собственного наименования мы ему пока не придумали). При ширине в плане 50–300 м протяжен-ность подобных зон достигает 20–30 км, а мраморы и мраморные меланжи в них сочетаются с амфиболита-ми, мелкими телами гипербазитов, габброидов. При этом, если силикатные породы встречаются лишь спо-радически, меланжи картируются практически без пе-рерывов на большие расстояния (рис. 26) или состав-ляют тонкие в плане линзы со стреловидными оконча-ниями и протяженностью в километры (см. рис. 18, 19).

2. Системы роллинга вокруг тел габброидов и гипербазитов. Это замечательная специфика струк-турных композиций региона, проявленная повсемест-но, в любых зонах метаморфизма. Причина роллинга вязких (жестких) тел базитов и гипербазитов, погру-женных в маловязкий (пластичный) метаморфический

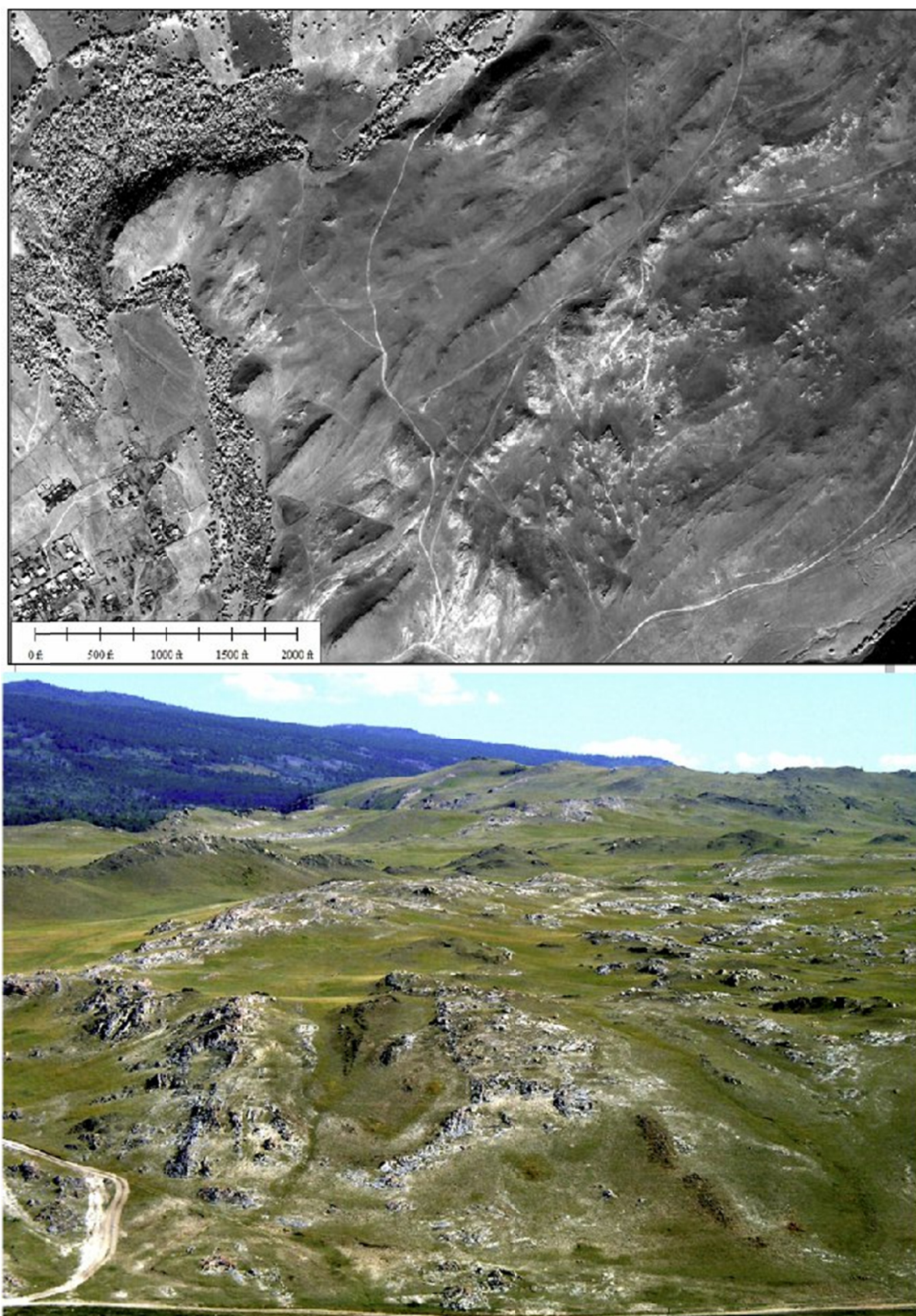


Рис. 20. Крупное поле выжатых покровов мраморных меланжей в районе Тонта-восток.

Вверху – космический снимок (уменьшено). Внизу – фотография этой площади, сделанная с хребта Томота. Темный гребень слева от поля меланжей – эшелонированная дайка метагабброидов, локализованная вдоль сдвиговой зоны, ограничивающей покров с северо-запада.

Fig. 20. A large field of push-out marble melange nappes in the Tonta-East area.

Top – space image (reduced). Bottom – a photo of the same area as viewed from the Tomota ridge. The dark-coloured range to the left of the melange field is an echelonated dyke of metagabbroids located along the shear zone that borders the nappe in the north-west.



Рис. 21. Поле самых ранних складок покровного типа, образованное мраморами и мраморными меланжами. Район Мраморного плато, юго-западнее горы Танхан (она на горизонте).

Fig. 21. The field of the youngest folds of nappe type (marbles and marble melanges). The Marble plateau is located south-westward of the Tankhan mountain that can be seen on the horizon.

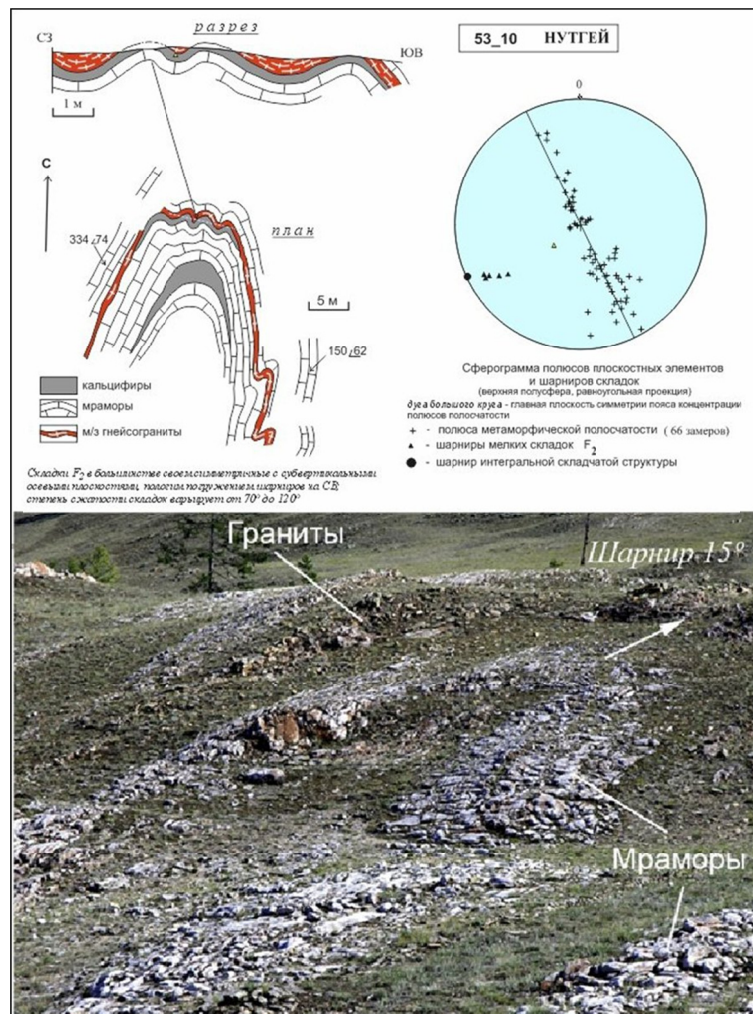


Рис. 22. Покровные складки и деформированные ими жилы ранних гранитов. Эталонный участок на юго-западе поля карбонатных пород и гранитов, показанного на предыдущем фото.

Fig. 22. Nappe folds and deformed veins of younger granites. The reference segment in the south-western part of the field of carbonate and granitic rocks which is shown in the previous photo.

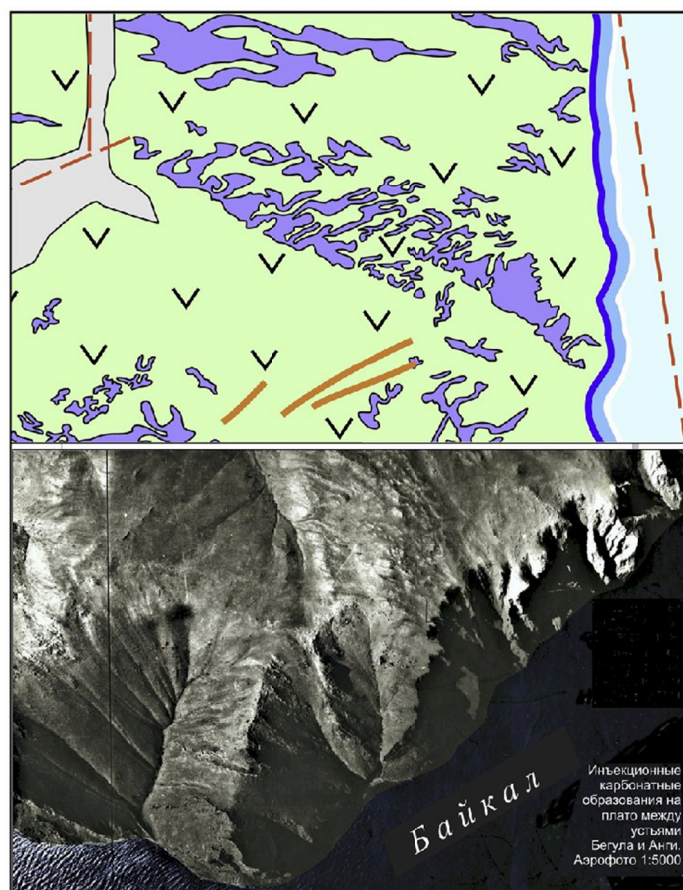


Рис. 23. Фрагмент упрощенной карты и аэрофотоснимок масштаба 1:5000 на небольшую площадь в междуречье Анга-Бегул [Sklyarov et al., 2013]. Сложная конфигурация полей мраморных меланжей на плато (пологое зеркало складчатости), затронутых сдвиговой деформацией.

Fig. 23. A fragment of the simplified map and an aerial photo (scale 1:5000) of a small segment of the Anga-Begul interfluvial area [Sklyarov et al., 2013]. On the plateau, the configuration of the marble melange field is complicated (low-angle folding plane) as the melange was subject to shear deformation.



Рис. 24. Скальное ограничение того же плато в междуречье Анга-Бегул.

Мраморные меланжи с крупными включениями амфиболитов. В скалах Байкала они образуют субвертикальные тела, соединяющиеся с покровом, обнаженным на плато. Фото со льда Байкала.

Fig. 24. The rocky boundary of the same plateau in the Anga-Begul interfluvial area.

Marble melanges with large inclusions of amphibolites. In Baikal rocks, they comprise subvertical bodies that are jointed to the nappe outcropped in the plateau. The photo is taken from ice of Lake Baikal.

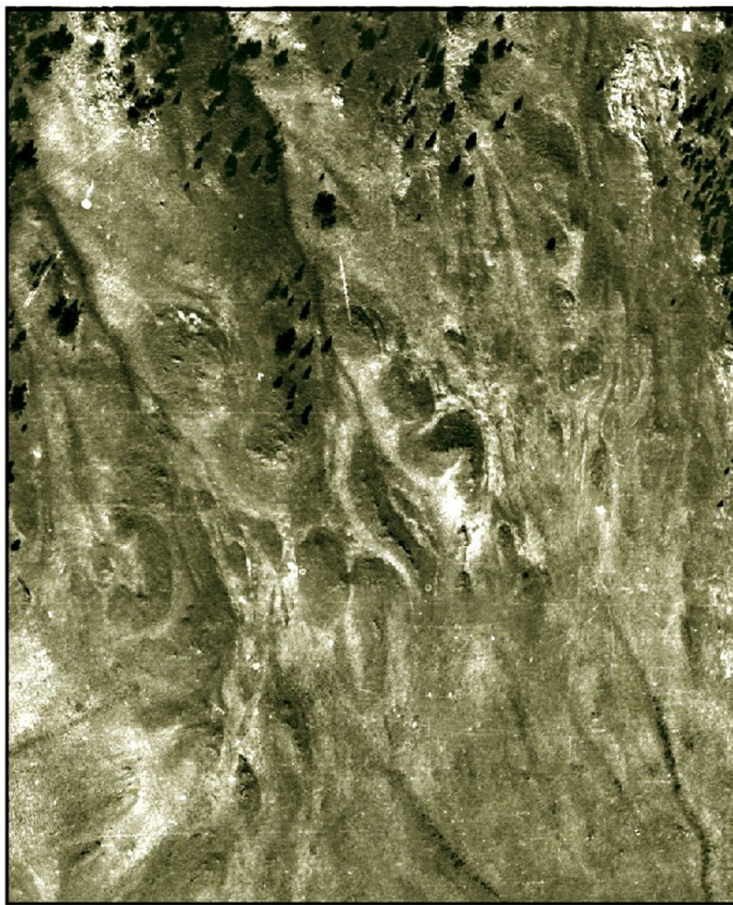


Рис. 25. Ранние покровы мраморных меланжей с крупными включениями базитов, деформированные в сдвиге (кинематика – простой левый сдвиг).

Северная часть плато Бегул-Анга. Аэрофотоснимок масштаба 1:5000.

Fig. 25. Younger nappes of marble melanges with large inclusions of basic rocks which were deformed by shear (kinematics – simple left-side strike-slip).

The northern Begul-Anga plato. Aerial photo, scale 1:5000.



Рис. 26. Шовная зона Томота – Кучелга (мраморы, мраморные меланжи, гипербазиты), «Мраморная дорога».

Fig. 26. The Tomota – Kuchelga suture zone (marbles, marble melanges, hyperbasites), the Marble Road.

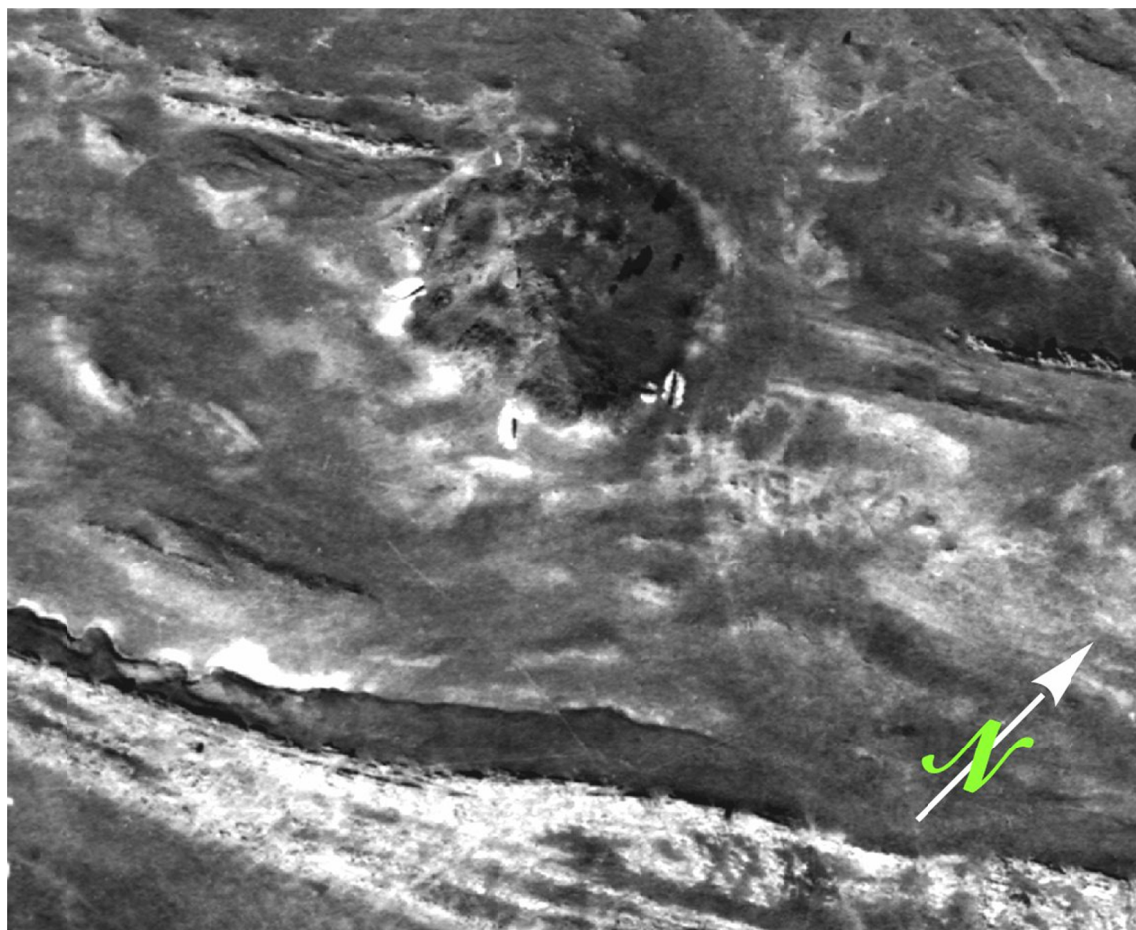


Рис. 27. Главная сдвиговая зона региона.

Массив гипербазитов Харикта-2, закрученный сдвигом в кольцевую оболочку из мраморов и мраморных меланжей (белое). Диаметр массива около 80 м. Спутник IKONOS-2, США.

Fig. 27. The main shear zone of the region.

The Kharikta-2 hyperbasite massif is circinated by shear into a ring-shaped nappe containing marbles and marble melanges (white). Its diameter is about 80 m. Data from IKONOS-2 satellite, USA.

матрикс, – в резкой реологической неоднородности глубинной геологической среды, «охваченной» сдвиговой тектоникой и метаморфизмом. Если вмещающие породы отвечают на деформации сдвига тектоническим течением и формированием складок, то тела базитов и гипербазитов оказываются практически непроницаемыми для флюидов, температура их плавления в два раза превышает температуру метаморфизма и единственная заметная реакция на сдвиг – вращение таких «жестких» тел в маловязком «пластифицированном» метаморфическом матриксе. Как правило, базиты и гипербазиты образуют блокированные тела различной морфологии. Неровности их границ приводят при вращении к появлению динамически меняющихся, скользящих и как бы «прыгающих» зон то растяжения, то сжатия на контактах с вмещающими породами. Мраморные меланжи выжимаются из зон сжатия, внедряются, «впрыскиваются» в подобные зоны локального растяжения. Довольно быстро меланжи снова по-

падают в условия сжатия (оно неизбежно приходит на смену локальному растяжению), далее карбонатный материал «размазывается», выжимается из зон сжатия и вновь транспортируется в соседние зоны растяжения и т.д. По-видимому, такие эпизоды могли повторяться многократно. В итоге практически всегда можно наблюдать мраморно-меланжевые оболочки меняющейся мощности вокруг тел базитов и гипербазитов. Детальное картирование объективно свидетельствует: какова бы ни была общая структура метаморфической рамы – линейная или более сложной конфигурации – в непосредственной близости от тел базитов и гипербазитов структурный ансамбль кардинально изменяется. Все такие тела (а их в регионе около 200) окружены кольцевыми и спиральными структурами в метаморфической раме. Конфигурация спиральных и кольцевых структур полностью подчинена контурам и размерам тел базитов и гипербазитов – это бесспорно установленный факт (рис. 27–29). При этом в формировании



Рис. 28. Массив гипербазитов Харикта-2 в натуре. Кольцо мраморов и мраморных меланжей, локализованное вокруг массива гипербазитов, срезает линейную структуру, образованную амфиболитами, мраморами и кварцитами.

Fig. 28. The Kharikta-2 massif of hyperbasites in field. The ring-shaped nappe containing marbles and marble melanges is located around the hyperbasite massif and cuts the linear structure composed by amphibolites, marbles and quartzites.



Рис. 29. Массив габброидов Танхан-1, закрученный в сдвиговую спираль.

В зоне экзоконтакта – кольцо мраморов и мраморных меланжей. На удалении от массива структура вмещающих толщ носит линейный характер. Размеры массива в плане 1.0×1.5 км.

Fig. 29. The Tankhan-1 gabbroid massif is circinated into a shear spiral.

In the exocontact zone, there is a ring of marbles and marble melanges. At a distance from the massif, the structure of host rocks is linear. In plan, the size of the massif is 1.0×1.5 km.

пакетов кольцевых и спиральных складчатых структур участвуют все породы метаморфического матрикса. Подчеркнем еще раз – любые метаморфические породы. Независимо от этого, однако, каким бы пестрым не был набор метаморфических пород, мраморные меланжи всегда занимают неширокую зону непосредственно в зоне экзоконтактов массивов базитов и гипербазитов. Нетрудно видеть, что они дискордантны к складчатой системе метаморфического матрикса, локализованного на некотором удалении от массивов и наоборот – они полностью конкордантны контактам массивов базитов и гипербазитов, нередко составляют оболочку таких тел. Массивы базитов и гипербазитов находятся как бы в скорлупе мраморов и мраморных меланжей.

3. Выжатые покровы мраморных меланжей. Нужно отметить, что выжатые покровы – одна из самых неожиданных и «пикантных» тем в геологии региона. Сама находка таких покровов (а они детально закартированы) не должна удивлять. Странным казалось другое – как возникали глубинные покровы в условиях тотального проявления сдвиговой тектоники? И куда подобные тела транспортировались? Ведь мы имеем дело с глубинной ситуацией, «пустых» мест в глубоких недрах коры нет. Ответ пришел неожиданно, при изучении структуры «рамы» вокруг тел габброидов. Некоторые важные моменты, которые определяют логику анализа, таковы:

- Массивы габброидов, попадая в сферу синметаморфической сдвиговой деформации, отвечают на нее, как упоминалось выше, роллингом. При этом ни сами такие деформации, ни метаморфизм в глубь массивов практически не проникают. Сдвиговая деформация «гасится» на контакте с массивами габбро, а точнее говоря, она полностью трансформируется на вращение массивов.

- Сами массивы габбро представляют собой блокированные тела различных размеров. До реализации сдвигов территория была ареной регионального проявления покровных деформаций – это реально установленный факт [Dobrzhinetskaya et al., 1992; Fedorovsky et al., 1995]. Тела базитов, по-видимому, составляли в то время аллохтонные пластины, в кровле и подошве которых (в раме) и располагались пакеты складок покровного типа.

- Именно эти места оказываются, как и сами габброиды, «защищенными», экранированными от влияния сдвиговой деформации, сменившей покровную. Во время масштабных проявлений сдвигов, когда ранние покровные складчатые системы были переработаны или совсем уничтожены, как раз здесь, в непосредственном контакте с массивами базитов, позиционировались участки деформационных теней, «нулевой» сдвиговой деформации. И именно сюда выжимались мраморные меланжи из зон сдвигов. Иными словами, рождаясь в зонах сдвиговой деформации, синметаморфические мраморные меланжи в одних случаях

«размазываются» непосредственно в зонах сдвига, в других – полностью выжимаются из сдвиговых зон и транспортируются в ближайшие объемы коры, где были локализованы досдвиговые покровные складчатые пакеты. Выжатые покровы мраморных меланжей дублируют, таким образом, реликтовые зоны более ранних покровов. В итоге мы получаем весьма странную конструкцию слоеного пирога, в которой, конечно, нет ничего, напоминающего первичное напластование. Наоборот, здесь не осталось никаких намеков на исходную стратификацию, это чисто тектонический коллаж.

Более подробно рассмотрим вопросы динамики этого процесса в следующем разделе статьи, а здесь приведем пример покровов, выжатых из зон сдвигов, но вне видимой связи с массивами базитов (рис. 30).

7. ОБСУЖДЕНИЕ

По-видимому, вряд ли удастся сейчас объединить все накопленные данные в непротиворечивую конструкцию. Массив материала весьма значителен, но имеются и внутренние противоречия, препятствующие синтезу. Целесообразно не только постепенно и без суеты продвигаться к финалу, но и попытаться сформулировать вопросы и проблемы, решение которых может дать шанс на получение конечного результата в будущем.

8. СИНТЕЗ. ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ МЕЛАНЖА

Присутствие мраморных меланжей региона в двух основных структурных позициях – покровных и сдвиговых – не должно удивлять: такова последовательность событий аккреционно-коллизийной истории этой территории в раннем палеозое. А вот почему места локализации ранних и поздних покровов меланжей совпадают – кажется странным и требует поиска причин, объясняющих такие совпадения. И второе. Почему при таких серьезных масштабах сдвигового тектогенеза, приведшего к сильнейшей линейаризации и расплющиванию коллизийной системы, наибольшее число полей развития и ранних, и поздних пакетов нелинейных покровных складок сосредоточено как раз вдоль главного коллизийного шва системы террейнократон, где сдвиги были проявлены наиболее интенсивно? На эти два вопроса ответ, как кажется, найден.

Генеральный каркас структуры Ольхонского региона представляет собой коллаж многочисленных сдвиговых пластин, разделенных швами бластомилонитов. Сами пластины образованы различными по составу комплексами. Подавляющее число ранних структур покровного типа обнаружено в зонах, сложенных пестрым по составу ольхонским комплексом, метамор-

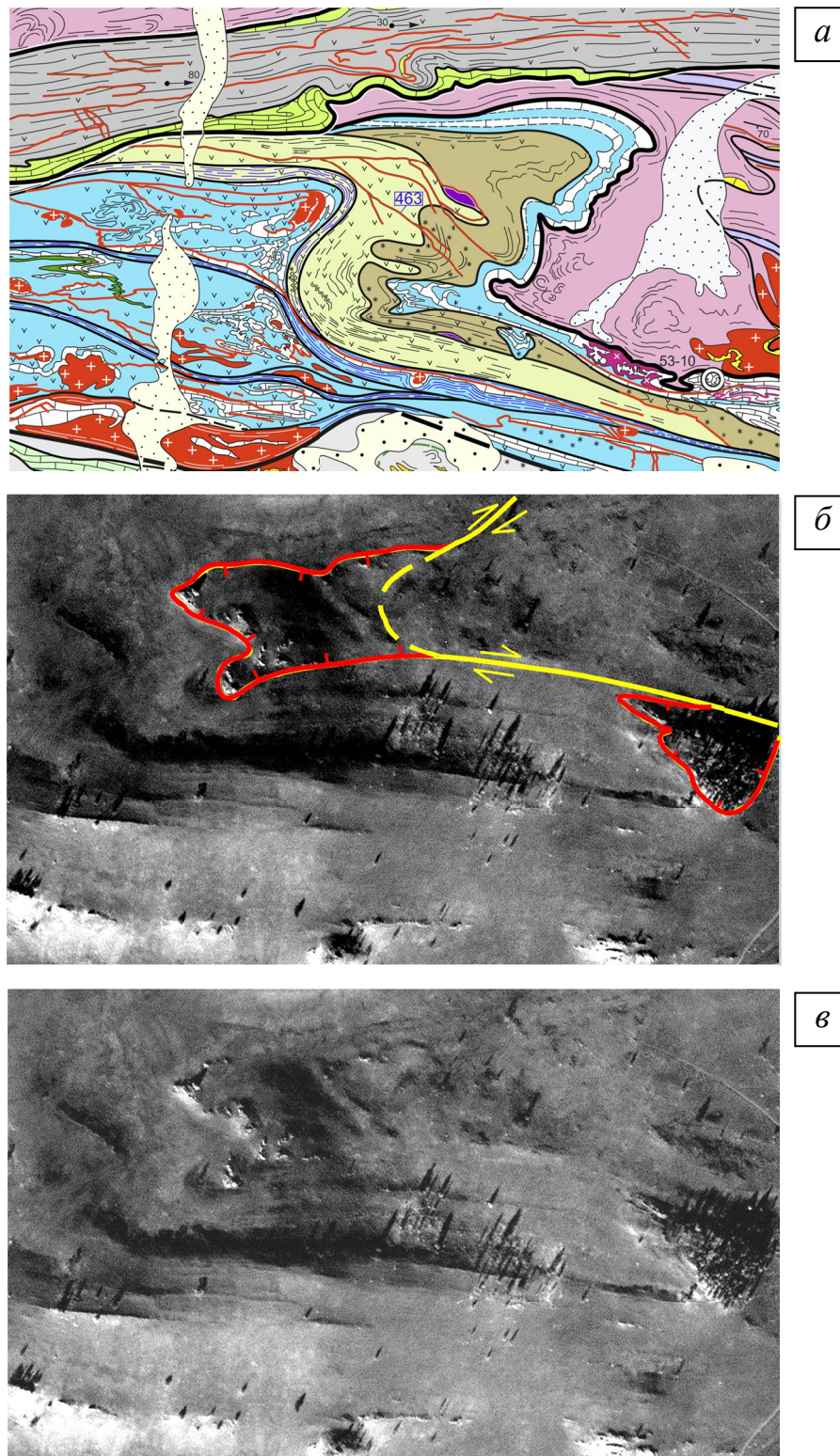


Рис. 30. *a* – фрагмент аэрокосмической геологической карты на небольшую площадь (2×4 км) в районе Нутгей, северо-восток Приольхонья [Fedorovsky et al., 2010]. Сдвиговый дуплекс, деформированный более поздним сдвигом в крупную сигмоиду (спутник IKONOS-2, США); *б* – границы покровов, отчетливо срезающие линейные сдвиговые пакеты, образованные амфиболитами и кварцитами; *в* – космический снимок без элементов дешифрирования. Срезание покровами сдвиговых конфигураций очевидно и без дополнительных усилий.

Fig. 30. *a* – a fragment of the geological map based on aerial photos and satellite images for a small area (2×4 km) in the Nootgei region in the north-eastern Priolkhonie [Fedorovsky et al., 2010]. The shear duplex deformed by the later strike-slip fault into a large sigma-shaped structure (data from IKONOS-2 satellite, USA); *б* – it is clearly visible that boundaries of nappes cut linear shear packages composed by amphibolites and quartzites; *в* – satellite image without deciphering elements. Cutting of the shear structures by the nappes is visible.

физм которого отвечает амфиболитовой и гранулитовой фациям. Во многих частях региона с породами Ольхонского комплекса пространственно ассоциируют массивы и мелкие тела толеитовых габброидов и гипербазитов. Распределены они, вместе с тем, неравномерно. Наибольшее количество тел гипербазитов присутствует в Главной сдвиговой зоне. Тела толеитовых габброидов занимают две крупные площади: 1) в зоне Черноруд, непосредственно примыкающей к коллизионному шву системы Ольхонский террейн – Сибирский кратон; 2) на северо-востоке Приольхонья (зона Оргойта – Змеиная падь). Для расшифровки позиции покровных складчатых систем в метаморфической раме нас сейчас интересуют именно эти две площади, поскольку реально эмпирически установлен именно такой пространственный парагенез: поля развития толеитовых габброидов совпадают с полями развития складок покровного типа, образованных метаморфическими породами «рамы». Частично этот вопрос рассмотрен выше. Здесь приведем некоторые дополнительные данные. В юго-западной части зоны Черноруд (район Тонта – Улан-Харгана) обнаружено немало площадей развития ранних складок покровного типа (рис. 31–33). Нередко они ассоциируют с небольшими по площади выходами габброидов. Однако есть основания уверенно предполагать, что число массивов габбро и их размеры гораздо значительнее тех небольших тел, которые закартированы на поверхности. Везде, где удавалось наблюдать соотношения массивов габброидов и пород метаморфической рамы, всегда обнаруживается устойчивая закономерность: такие массивы окружены пакетами сдвиговых складок с субвертикальными шарнирами, а над массивами (предположительно – и под ними) в породах рамы локализованы пакеты складок покровного типа. Последние, таким образом, могут рассматриваться как поисковый признак (как прямые индикаторы) для обнаружения самих габброидов, не обнаженных на земной поверхности. Если правильно разгадана эта закономерность, то она имеет прямое отношение и к интересующим нас сейчас мраморным меланжам. Уже упоминалось, что категория выжатых покровов меланжей постоянно дублирует именно такие зоны – ранних складок покровного типа. Нужно подчеркнуть, что эти ранние складки образованы вовсе не обязательно карбонатными породами, чаще всего как раз наоборот. Обычно мы и наблюдаем пакеты ранних покровных складок, образованных силикатными породами, в которые инсталлированы (внедрены, встроены) более поздние покровы мраморных меланжей (рис. 34, 35). В целом на поверхности обнаруживается невероятно сложная структурная конструкция тесно переплетающихся многоактных сдвиговых и покровных ансамблей, образованных различными метаморфическими породами, в том числе и мраморными меланжами. Таково, например, поле выжатых покровов мраморных меланжей в районе Тонта-восток, локализованное в крупном

досдвиговом покрове, образованном мафитовыми гнейсами и кварцитами, расположенном, в свою очередь (как мы предполагаем), в кровле массива габброидов, не вскрытого на поверхности. Нужно отметить, вместе с тем, что меланжи этого района чаще всего переполнены включениями именно габброидов, что, хотя и косвенно, но свидетельствует о присутствии где-то рядом массивов таких пород. Между тем, в непосредственной близости массивов габброидов нет. Включения габброидов есть, а массивов нет. Не остается ничего иного, как предположить, что они присутствуют где-то рядом, на небольшой глубине. Окончательно решить эту задачу могло бы геофизическое зондирование, и надеемся, что скоро удастся это сделать.

9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Хотя мы пытались сосредоточиться только на вопросах тектонической позиции мраморных меланжей и сознательно уходили от обсуждения другого (внешне сходного по результатам) явления – карбонатных выплавок, целесообразно все же попытаться расставить точки над «i». Это необходимо хотя бы для того, чтобы избежать двусмысленностей. Открытие инъекционных карбонатных образований в Ольхонском регионе само по себе было неожиданным; оно привело к серьезным трансформациям в тектонических представлениях и неизбежным следствиям при расшифровке истории коллизионного процесса в раннем палеозое Западного Прибайкалья. Что нам кажется (в свете имеющихся на сегодня данных) установленным достаточно надежно? Можно утверждать, что в целом инъекционные карбонатные породы Ольхонского региона составляют две генетические группы. Одна из них – это мраморные меланжи (о них и идет речь в данной статье). Вторая – коровые карбонатные выплавки, сопровождавшие эпизоды магматизма [Sklyarov et al., 2011, 2013]. Источник карбонатного вещества в обеих группах – исходные стратифицированные горизонты такого состава. На долю меланжей приходится две трети территории региона. Карбонатные выплавки сосредоточены в основном в границах мегазоны Крестовский – Тажеран (рис. 36), которая отличается несравненно более мощным магматизмом, чем остальная площадь региона. Вместе с тем, четкой границы между ареалами развития меланжей и карбонатных выплавок нет. Это и понятно – меланжирование охватывает всю площадь региона, а выплавки карбонатных пород «привязаны» к зонам проявления высокотемпературного магматизма (субщелочные габброиды, сиениты, нефелиновые сиениты). Поскольку и те, и другие инъекционные карбонатные образования контролируются сдвигами, отличить их друг от друга на местности не всегда удастся. Мы уже упоминали, что карбонатные выплавки, содержащие ксенолиты сили-

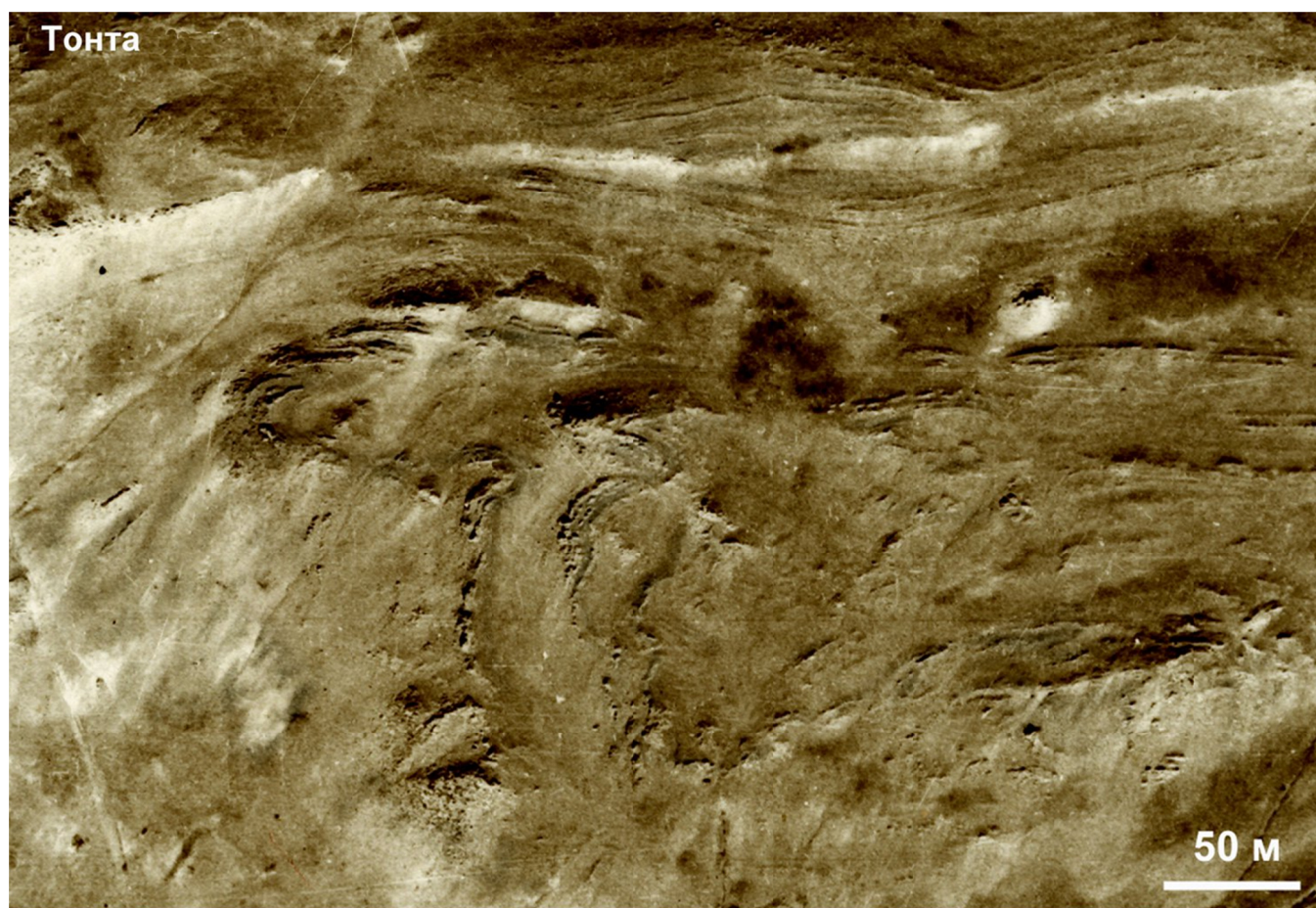
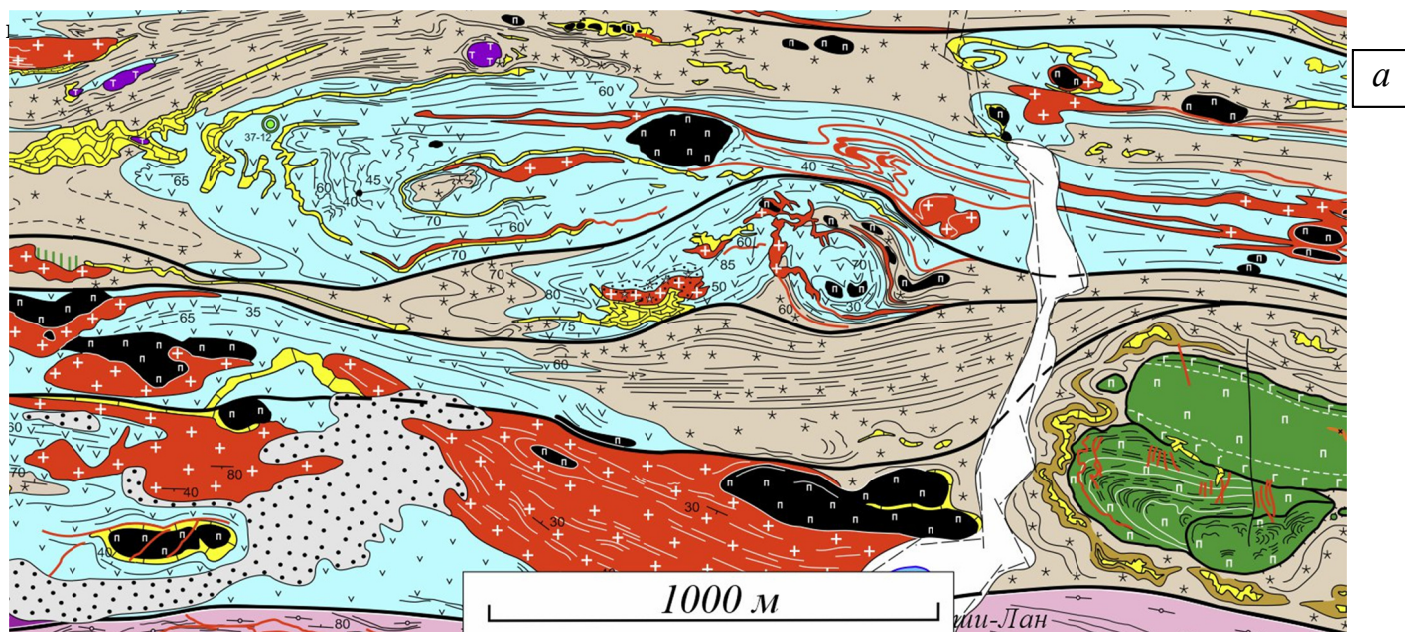


Рис. 31. *а* – фрагмент аэрокосмической геологической карты юго-западной части зоны Черноруд [Fedorovsky et al., 2012] – поля развития ранних складок покровного и сдвигового типов; *б* – аэрофотоснимок части этой территории. Хорошо видны замки крупных складок с пологими шарнирами. Интервал Тонта – Улан-Харгана.

Fig. 31. *a* – a fragment of the geological map based on aerial photos and satellite images of the south-western segment of the Chernorud zone [Fedorovsky et al., 2012] – fields wherein younger folds of nappe and shear types were developed; *б* – an aerial photo of a part of the territory under study. Hinges of large folds with low-angle apices are clearly visible. The Tonta – Ulan-Khargana interval.



Рис. 32. Карандашная отдельность в замках ранних покровных складок, образованных мафитовыми гнейсами. Интервал Тонта – Улан-Харгана.

Fig. 32. A pencil-type displacement in hinges of younger nappe folds composed by mafic gneisses. The Tonta – Ulan-Khargana interval.



Рис. 33. Покровные складки с субгоризонтальными шарнирами, образованные кварцитами (иногда с гиперстеном). Район северо-западнее урочища Улан-Харгана.

Fig. 33. Nappe folds with sub-horizontal apices which are composed by quartzites (rarely with hyperstene). The region is located north-westward of the Ulan-Khargana area.



Рис. 34. Пологие тела синметаморфических гранитов ранней фазы в покровных складках.

Fig. 34. Low-angle bodies of synmetamorphic granites of the early phase in the nappe folds.

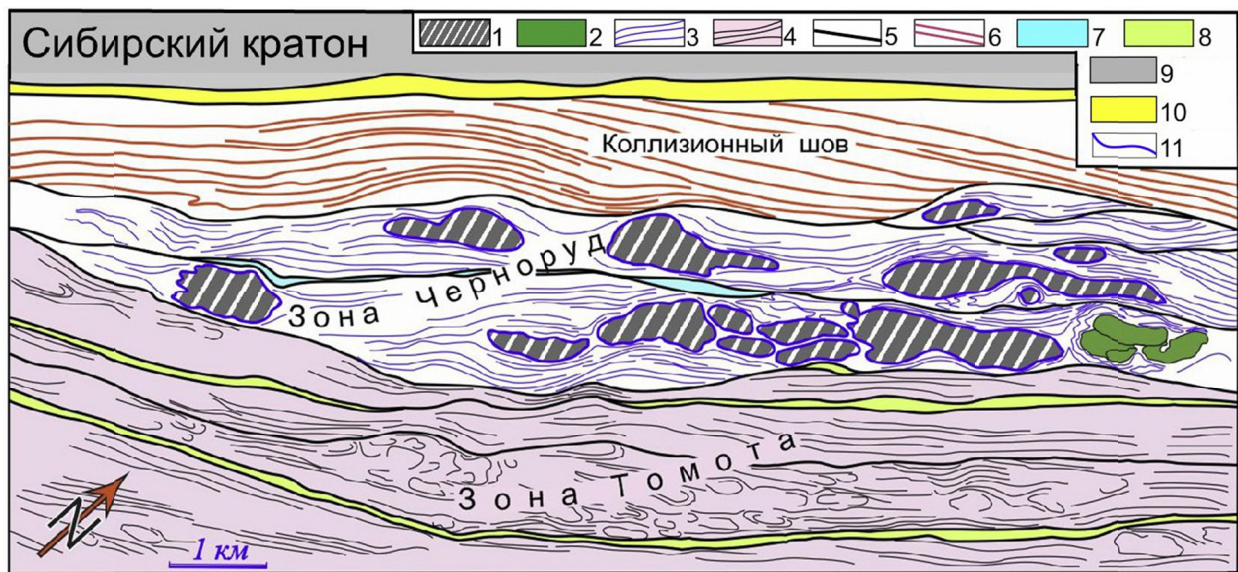


Рис. 35. Схема расположения в юго-западной части зоны Черноруд площадей развития складок покровного и сдвигового типа и прогноз не вскрытых в рельефе массивов габброидов.

1 – поля развития покровных складок и предполагаемые на небольшой глубине под ними массивы габбро и пироксенитов (зоны, защищенные от влияния сдвигов, окружающих массивы); 2 – вскрытый в рельефе массив Улан-Харгана (габбро и пироксениты), окруженный сдвигами; 3 – сдвиги в зоне Черноруд (структурные линии, отдешифрованы на космоснимках и закартированы); 4 – сдвиги, покровные и купольные структуры в зоне Томота; 5 – бластомилонитовые швы – границы сдвиговых пластин; 6 – структурные линии в зоне коллизионного шва; 7 – дайковый пояс; 8 – шовный комплекс; 9 – Сибирский кратон; 10 – уступ Приморского разлома; 11 – зоны роллинга, «гасящие» эффект сдвиговой деформации.

Fig. 35. The scheme showing areas wherein folds of nappe and shear types are developed in the south-western Chernorud zone, and forecasted areas of gabbroid massifs that are not outcropped in the terrain.

1 – fields wherein nappe folds are developed, and assumed shallow massifs of gabbro and pyroxenites (zones protected from the influence of strike-slip faults located close to the massifs); 2 – Ulan-Khargana massif outcropped in the terrain (gabbro and pyroxenites) which is surrounded by strike-slip faults; 3 – strike-slip faults in the Chernorud zone (structural lines are decyphered from satellite images and mapped); 4 – strike-slip faults, structure of nappe and dome types in the Tomota zone; 5 – blastomylonite sutures – boundaries of shear plate; 6 – structural lines in the zone of the collisional suture; 7 – dyke belt; 8 – suture complex; 9 – Siberian craton; 10 – edge of the Primorsky fault; 11 – zones of rolling which 'dampers' the effect of shear deformation.

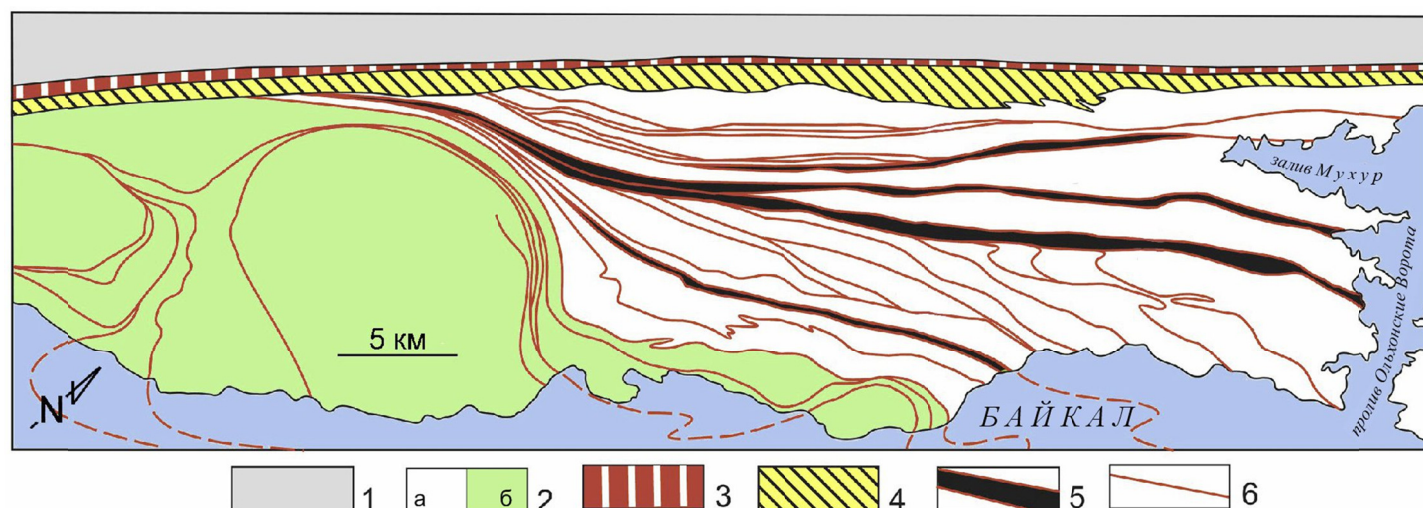


Рис. 36. Схема синметаморфических сдвиговых швов и расположения площадей мраморных меланжей и карбонатных выплавов в юго-западной части Ольхонской коллизионной системы ([Fedorovsky et al., 2010], с небольшими изменениями).

1 – Сибирский кратон, ранний докембрий; 2 – Ольхонский композитный террейн, ранний палеозой: а – площади развития мраморных меланжей, б – площади развития карбонатных выплавов и мраморных меланжей; 3 – уступ современного Приморского разлома Байкальской рифтовой зоны; 4 – коллизионный шов системы Ольхонский террейн – Сибирский кратон; 5 – бластомилонитовые сдвиговые швы с участием офиолитов; 6 – бластомилонитовые сдвиговые швы без участия офиолитов.

Fig. 36. The scheme of synmetamorphic shear sutures and locations of marble melanges and carbonate melt-outs in the south-western part of the Olkhon collisional system ([Fedorovsky et al., 2010], with minor amendments).

1 – Siberian craton, Early Precambrian; 2 – Olkhon composite terrain, early Paleozoic: а – areas with marble melanges, б – areas with carbonate melt-outs and marble melanges; 3 – edge of the current Primorsky fault of the Baikal rift zone; 4 – collisional suture of the Olkhon terrain – Siberian craton system; 5 – blastomylonite shear sutures with inclusions of ophiolites; 6 – blastomylonite shear sutures without inclusions of ophiolites.

внешне ничем не отличаются от мраморных меланжей, насыщенных включениями тех же силикатных образований. Очевидный парадокс: генезис их совершенно несопоставим, а конечный продукт оказывается поразительно сходным. Можно предположить также и не совсем обычный, на первый взгляд, вариант, когда возникшие карбонатные выплавки практически одновременно охватываются меланжированием. Впрочем, можно с уверенностью предположить и то, что с подобными ситуациями мы уже не раз сталкивались в поле, но просто не научились пока отличать одни образования от других. По-видимому, придется еще искать какие-то объективные критерии, которые могли бы позволить разгадать подобные запутанные лабиринты.

Вместе с тем, уже сейчас ясно, что синметаморфические мраморные меланжи – яркий и экзотический компонент коллизионной геодинамики раннего палеозоя Ольхонского региона. Стечение самых разных по своей природе обстоятельств (весь хаос которых еще предстоит выяснить) привело к потере вязкости карбонатных пород, составлявших когда-то обычные стратиграфические разрезы. В условиях энергичной тектоники, сопровождавшей косую коллизию, эти пластифицированные мраморы становятся активным динамическим участником структурных комбинаций,

невероятно запутывают и без того сверхсложные и генетически разнообразные композиции, картируемые в современном срезе. Если в будущем удастся доказать, что одна из причин появления меланжей связана с критическим изменением скорости деформаций (пока это – голая идея), то такие образования можно будет рассматривать как прямые индикаторы событий, которые пока не удастся измерить никакими изотопными методами. Если это не так, то загадка все равно останется и попытаться приблизиться к ее решению – увлекательная профессиональная задача. Но главное, что понятно уже сейчас: изучение мраморных меланжей подсказывает необходимость выделения в геологической истории двух типов коллизии (фронтальной и косой), отражающих две линии развития коллизионных систем. Каждой из них присущи свои признаки, определяющие фундаментальные различия сценариев коллизионной геодинамики. Мраморные меланжи – прямое следствие геодинамики косой коллизии, чувствительный индикатор такого режима.

10. БЛАГОДАРНОСТИ И КОПИРАЙТЫ

- В разные годы вместе с авторами статьи в полевом изучении мраморных меланжей и в дискуссиях

участвовали коллеги из институтов Российской Академии наук, расположенных в Москве, Иркутске, Санкт-Петербурге, Новосибирске, и такие обсуждения и споры были очень полезны. Особенно большое значение имели совместные экспедиции и постоянные дискуссии, сопровождавшие процесс составления и издания нового поколения аэрокосмических геологических карт на площадь Ольхонского геодинамического полигона. Всем соавторам этой работы мы признательны в первую очередь.

- Изданные на этот момент шесть карт этого пакета (прямо или косвенно все они использованы при написании статьи) защищены копирайтами и принадлежат ГИН РАН (Москва) и ИЗК СО РАН (Иркутск). Все права сохранены.

- Полевые исследования выполнены в рамках научных программ ГИН РАН (Москва), ИЗК СО РАН (Иркутск), ИГМ СО РАН (Новосибирск), ИГГД РАН (С.-Петербург).

- Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 14-05-00231, 13-05-00557, 11-05-00267, а также экспедиционные гранты РФФИ).

- Лицензионный космический материал приобретен при финансовой поддержке ГИН РАН (Москва), ИЗК СО РАН (Иркутск), РФФИ (несколько грантов),

программы «Электронная Земля» Президиума РАН и программы ОНЗ РАН и СО РАН «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)». Космический материал защищен копирайтами. Все права сохранены. Копирование запрещено.

- Снимки со спутников WORLD VIEW-2, QUICK BIRD-2, IKONOS-2 (все – США), SPOT-5 (Франция), ALOS (Япония) закуплены из архивов компаний – владельцев спутников. Космическая съемка Ольхонского региона со спутника QUICK BIRD-2 (США) выполнена по заказу ГИН РАН в рамках акции, проведенной оператором Digital Globe. Снимки со спутников LANDSAT-4, -7, -8 и радарного спутника SHUTTLE (все – США) получены в открытом доступе через Интернет.

- Размещение заказов и оперативную поставку космических данных через серверы европейских центров обеспечивала компания «СОВЗОНД» (Москва), бизнес-партнер компаний – владельцев спутников в США, Франции и Японии (<http://www.sovzond.ru>). Благодарим сотрудников компании, всегда заинтересованно, безупречно и мгновенно решающих вопросы в мире космического бизнеса, далеко от наших профессиональных интересов.

11. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Dobrzhinetskaya L.F., Molchanova T.V., Sonyushkin V.E., Likhachev A.B., Fedorovsky V.S., 1992. Thrust and shear plastic deformation in the metamorphic complex of Olkhon region (Western Pribaikalia). *Geotektonika* (2), 58–71 (in Russian) [Добржинецкая Л.Ф., Молчанова Т.В., Сонюшкин В.Е., Лихачев А.Б., Федоровский В.С. Покровные и сдвиговые пластические деформации метаморфического комплекса Приольхонья (Западное Прибайкалье) // *Геотектоника*. 1992. № 2. С. 58–71].
- Fedorovsky V.S., Dobrzhinetskaya L.F., Molchanova T.V., Likhachev A.B., 1993. New type of melange (Baikal, Ol'khon Region). *Geotectonics* (4), 30–45 (in Russian) [Федоровский В.С., Добржинецкая Л.Ф., Молчанова Т.В., Лихачев А.Б. Новый тип меланжа (Байкал, Ольхонский регион) // *Геотектоника*. 1993. № 4. С. 30–45].
- Fedorovsky V.S., Sklyarov E.V., Izokh A.E., Kotov A.B., Lavrenchuk A.V., Mazukabzov A.M., 2010. Strike-slip tectonics and subalkaline mafic magmatism in the Early Paleozoic collisional system of the western Baikal region. *Russian Geology and Geophysics* 51 (5), 534–547. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rgg.2010.04.009>.
- Fedorovsky V.S., Vladimirov A.G., Khain E.V., Kargopolov S.A., Gibsher A.S., Izokh A.E., 1995. Tectonics, metamorphism, and magmatism of collision zones in the caledonides of Central Asia. *Geotektonika* 29 (3), 3–22 (in Russian) [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].
- Festa A., Dilek Y., Pini G.A., Codegone G., Ogata K., 2012. Mechanisms and processes of stratal disruption and mixing in the development of mélanges and broken formations: Redefining and classifying mélanges. *Tectonophysics* 568–569, 7–24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2012.05.021>.
- Katsura I.K., Fedorovskii V.S., 1996. The main strike-slip zone of the caledonian collisional system in the Ol'khon Region, Western Baikal Region. *Doklady Earth Science* 351 (9), 1398–1403.
- Sklyarov E.V., Fedorovskii V.S., 2006. Magma mingling: Tectonic and geodynamic implications. *Geotectonics* 40 (2), 120–134. <http://dx.doi.org/10.1134/S001685210602004X>.
- Sklyarov E.V., Fedorovskii V.S., Kulagina N.V., Sklyarova O.A., Skovitina T.M., 2004. The Late Quaternary “Geyser Valley” in the western flank of the Baikal Rift (Ol'khon Region). *Doklady Earth Sciences* 395A (3), 324–327.
- Sklyarov E.V., Fedorovsky V.S., Kotov A.B., Lavrenchuk A.V., Mazukabzov A.M., Starikova A.E., 2011. Carbonate rocks – indicators of sedimentary-volcanogenic protolith of synmetamorphic beds? In: Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian Mobile Belt (from Ocean to Continent): Proceedings of the conference. Issue 9. IEC SB RAS, Irkutsk, p. 187–189 (in Russian) [Скляров Е.В., Федоровский В.С., Котов А.Б., Лавренчук А.В., Мазукабзов А.М.,

Старикова А.Е. Карбонатные породы – индикаторы осадочно-вулканогенного протолита сетаморфических толщ? // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 9. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2011. С. 187–189].

Sklyarov E.V., Fedorovsky V.S., Kotov A.B., Lavrenchuk A.V., Mazukabzov A.M., Starikova A.E., 2013. Carbonate and silicate-carbonate injection complexes of collision systems in the West Baikal region as an example. *Geotectonics* 47 (3), 180–196. <http://dx.doi.org/10.1134/S0016852113020064>.



Федоровский Валентин Сергеевич, докт. геол.-мин. наук, профессор, г.н.с.
Геологический институт РАН
119017, Москва, Пыжевский пер., 7, Россия
Тел. 9513020; ✉ e-mail: west45@migmail.ru

Fedorovsky, Valentin S., Doctor of Geology and Mineralogy, professor, Chief researcher
Geological Institute of RAS
7 Pyzhevsky Pereulok, Moscow 119017, Russia
Tel. 9513020; ✉ e-mail: west45@migmail.ru



Мазукабзов Анатолий Муталибович, докт. геол.-мин. наук, в.н.с.
Институт земной коры СО РАН
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия
e-mail: mazuk@crust.irk.ru

Mazukabzov, Anatoly M., Doctor of Geology and Mineralogy, Lead researcher
Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of RAS
128 Lermontov street, Irkutsk 664033, Russia
e-mail: mazuk@crust.irk.ru



Гладkochуб Дмитрий Петрович, докт. геол.-мин. наук, директор института
Институт земной коры СО РАН
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия
e-mail: dima@crust.irk.ru

Gladkochub, Dmitry P., Doctor of Geology and Mineralogy, Director of the Institute
Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of RAS
128 Lermontov street, Irkutsk 664033, Russia
e-mail: dima@crust.irk.ru