

УДК 551.24+552.4 (470.5)

А.В. Тевелев¹, А.А. Борисенко², М.И. Ерохина³, С.С. Попов⁴,
И.А. Кошелева⁵, Ю.А. Гатовский⁶

ПРИЗНАКИ ПОЛИХРОННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В МИКРОСТРУКТУРАХ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД КАТАВСКО-ЮРЮЗАНСКОЙ ЗОНЫ ТРАНСПРЕССИИ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1

Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1

Катав-Ивановская зона транспрессии испытала по крайней мере два этапа тектонических деформаций, а последовательность деформаций была примерно одинаковой в пределах всей зоны — от Бакало-Саткинского разлома на юге до Сулеймского на севере. Выделены три этапа формирования парагенезов. Парагенезы первого и второго этапов образовались в обстановке чистого сдвига, а парагенезы третьего этапа — в обстановке простого сдвига. В парагенезах первого этапа присутствуют стилолитовые швы (S_1), параллельные напластованию, и минеральные жилы (V_1). Парагенезы второго этапа объединяют стилолитовые швы (S_2), минеральные жилы (V_2) и межзерновой кливаж (S_2). В парагенезах третьего этапа выделены сланцеватость (S_3), милониты (S_3), катаклазиты, слюдяные пакеты (SC-текстуры) и структуры вращения порфириобластов.

Ключевые слова: структурные парагенезы, структурный анализ, микроструктуры, микростилолиты, минеральные жилы, межзерновой кливаж, SC-текстуры, Южный Урал.

The Katav-Ivanovsk transpression zone experienced at least two stages of tectonic deformations, and the sequence of deformations was approximately the same throughout the entire zone — from the Bakal-Satka fault in the south to the Suleimsky fault in the north. Three stages of the formation of parageneses were identified. The parageneses of the first and the second stages were formed in a pure shear environment, and the paragenesis of the third stage — in a simple shear environment. There are stylolites (S_1) parallel to bedding, and mineral veins (V_1) in the paragenesis of the first stage. Paragenesis of the second stage combines stylolites (S_2), mineral veins (V_2) and intergranular cleavage (S_2). In paragenesis of the third stage were distinguished schistosity (S_3), mylonites (S_3), cataclasites, mica packets (SC-textures), and the rotation structures of porphyroblasts.

Key words: structural parageneses, structural analysis, microstructures, microstylolites, mineral veins, intergranular cleavage, SC-textures, South Urals.

Введение. Катавско-Юрюзанская зона правосторонней транспрессии отделяет основное поле развития рифейских комплексов Башкирской мегазоны от расположенного северо-западнее клина Западноуральской мегазоны внешней складчатости и Сулеймановской антиклинали (рис. 1).

Считается, что Катавско-Юрюзанская зона с юго-востока ограничена Бакало-Саткинским взбросо-сдвигом, а с северо-запада — Сулеймским взбросо-сдвигом [Тевелев и др., 2018] и сложена исключительно рифейскими комплексами. Вместе с тем последние исследования показывают, что

обстановка транспрессии захватывает и приразломную зону клина Западноуральской мегазоны внешней складчатости, на которую надвинут Первомайско-Айский пакет пластин, выдавленный из зоны Сулеймского взбросо-сдвига на северо-запад (рис. 1, Б). Пакет представляет собой серию чередующихся мелких чешуй, сложенных карбонатно-терригенными породами от нижнедевонских до франских включительно и надвинутых на битуминозные фаменские известняки зилимской серии, т.е. представляет собой параллохтон. На серию девонских пластин, в свою очередь,

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, профессор, докт. геол.-минер. н.; e-mail: atevelev@rambler.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, студентка; e-mail: borsanya@yandex.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, студентка; e-mail: marie.erokhina@mail.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, аспирант; e-mail: sspopovgeol@gmail.com

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, вед. инженер, канд. геол.-минер. н.; e-mail: foxalbit@rambler.ru

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра палеонтологии, ст. науч. с.; e-mail: ustas62@bk.ru

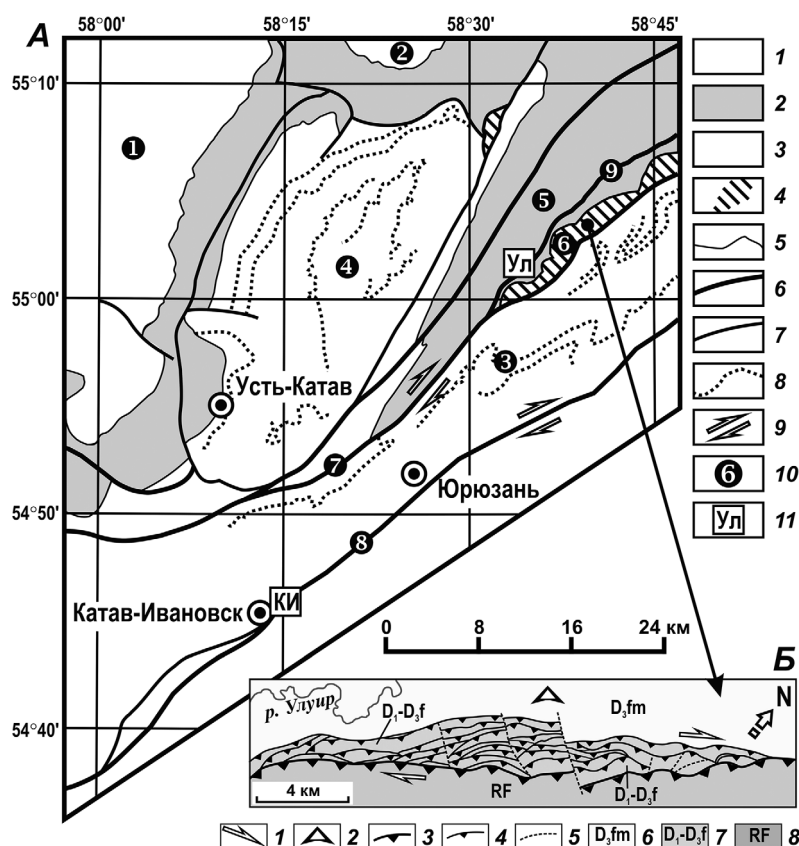


Рис. 1. Структурная схема района Катавско-Юрюзанской зоны транспрессии (А): 1 — верхнепалеозойские комплексы Предуральского краевого прогиба; 2 — девонско-раннекаменноугольные комплексы чехлы Восточно-Европейской платформы и Западноуральской мегазоны внешней складчатости; 3 — рифейские комплексы Башкирской мегазоны; 4 — пакеты маломощных надвиговых пластин; 5 — стратиграфические границы; 6, 7 — разрывы: 6 — главные, 7 — второстепенные; 8 — маркирующие горизонты в рифейских комплексах Катавско-Юрюзанской зоны; 9 — правые сдвиги; 10 — номера структурных элементов: 1, 2 — впадины Предуральского краевого прогиба: 1 — Симская, 2 — Юрюзано-Сылвинская; 3 — Катавско-Юрюзанская зона; 4 — Сулеймановская антиклиналь; 5 — Западноуральская мегазона внешней складчатости; 6 — Первомайско-Айский пакет надвигов; 7–9 — правые взбросо-сдвиги: 7 — Сулейнский, 8 — Бакало-Саткинский, 9 — Улуирский; 11 — изученные объекты: Ул — Улуирский, КИ — Катав-Ивановский.

Айский участок Первомайской зоны транспрессии (по материалам геологосъемочных работ, проведенных в 1983 г. Ф.А. Пискуновым и др., с изменениями) (Б): 1 — направление смещения по генеральному сдвигу, 2 — вергентность пакета надвигов, 3 — генеральный сдвиг-надвиг, 4 — надвиги северо-западной вергентности, 5 — прочие разрывы, 6 — фаменские известняки автохтона, 7 — нижнедевонско-франские карбонатно-терригенные комплексы аллохтона, 8 — рифейские комплексы аллохтона

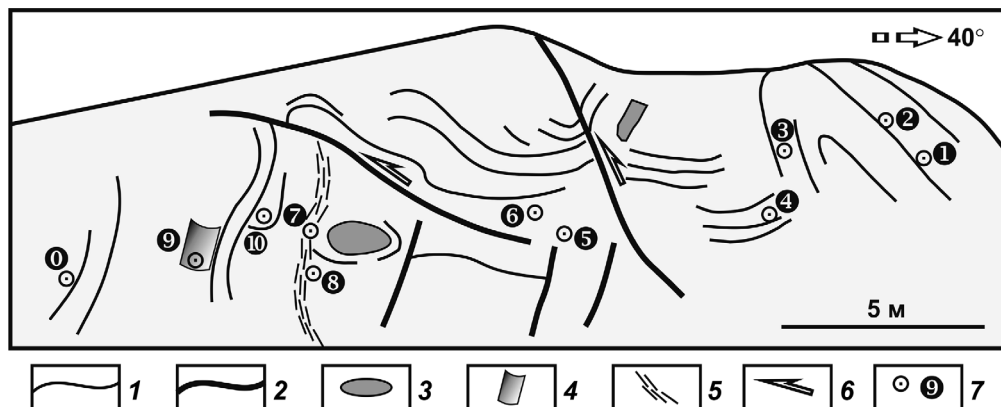
надвинуты аллохтонные пластины, сложенные верхнерифейскими отложениями. Деформационные микроструктуры Сулейнского взбросо-сдвига были изучены в известняках зилимской серии в Улуирском карьере у д. Мурсалимкино, который находится в пределах южного выклинивания Западноуральской мегазоны внешней складчатости.

В зоне Бакало-Саткинского разлома подобные структуры неизвестны. Разлом разделяет блоки, сложенные рифейскими свитами, которые наиболее интенсивно дислоцированы именно в зоне разлома (рис. 2). Деформационные микроструктуры были изучены в районе г. Катав-Ивановск, в терригенно-карбонатных породах (преимущественно в доломитах) зигазино-комаровской свиты среднего рифея.

Материалы и методы исследования. Структурные исследования проводились на трех уровнях. На макроуровне исследованы крупные складки, на мезоуровне — зеркала скольжения, структуры будинажа, системы кулисных жил. Микроструктурный анализ основан на изучении в шлифах микротекстур растяжения (минеральные жилы), микротекстур сжатия (межзерновой кливаж, стилолитовые швы) и микротекстур сдвига (порфиروبласты, слюдяные пакеты). Некоторые шлифы были взяты ориентированными, но большая их часть не ориентирована.

Микротекстуры растяжения представлены минеральными жилами заполнения нескольких типов, выполненными кальцитом разной степени раскристаллизованности, часто образующими

Рис. 2. Схема деформационных элементов зигазино-комаровской свиты (объект Катав-Ивановск) [Тевелев и др., 2019]: 1 — маркирующие пластины; 2 — разрывы; 3 — обломки известняков; 4 — фрагмент складки гофрировки с крутым шарниром, выпуклой на северо-запад; 5 — зона расщепления; 6 — направление смещения висячих крыльев разрывов; 7 — точки замеров элементов залегания: номер — азимут и угол падения (0 — 180/65, 1 — 140/55, 2 — 140/60, 3 — 80/85, 4 — 270/30, 5 — 190/80, 6 — 210/80, 7 — 235/55, 8 — 240/70, 9 — 205/70, 10 — 195/85)



густую сеть (рис. 3). Минеральные жилы замещения встречаются реже. Наиболее распространены простые незональные жилы толщиной от 5 мкм и более, однако информативные в смысле определения направления растяжения жилы имеют толщину на порядок больше — 50 мкм и более. Эти жилы выполнены мелкозернистым, слабо-структурированным кальцитом, причем степень структурированности заполнения обычно повышается с увеличением толщины жил. Вместе с тем среди относительно мощных жил встречаются и незональные разности с крупными (до 1 мм) кристаллами кальцита. Кальцит в этих жилах часто бывает вторично раздробленным, причем зоны катаклазированного кальцита образуют полосы внутри жил (рис. 4). Такого рода жилы формировались, видимо, при высокой скорости раскрытия, а впоследствии кальцит в них подвергся хрупкой деформации.

Среди зональных жил толщиной более 50 мкм выделено несколько типов. К *1-му типу* относятся жилы с мелкозернистыми зальбандами толщиной около 5 мкм, возможно, представленными кварцем, со неструктурированным заполнением, часто представленным единым протяженным кристаллом кальцита (рис. 5). Эти жилы также формировались в два приема: первоначально, вероятнее всего, они представляли собой маломощные жилы общего растрескивания, а затем быстро раскрывались и заполнялись неструктурированным материалом.

Зональные жилы *2-го типа* тоже имеют мелкозернистые зальбанды, но при этом выполнены параллельно ориентированными удлиненными кристаллами кальцита (рис. 6). Их формирование предполагает относительно медленное раскрытие, при котором кристаллы кальцита росли в направлении растяжения.

Микротекстуры сжатия представлены межзерновым кливажем и стилолитовыми швами, которые возникают за счет растворения вещества под

действием сжатия. Наиболее распространенные микротекстуры сжатия в изученных объектах — *стилолитовые швы* (рис. 7), которые наблюдались даже в песчаниках. Стилолитовые швы сложены темным глинистым или глинисто-углистым материалом, обычно они имеют фестончатую или неправильную форму, в отдельных случаях прерывисты, реже веерообразно ориентированы. Толщина стилолитовых швов 5–10 мкм (в наиболее четко выраженных — до 20 мкм), амплитуда выступов колеблется от 20 до 200 мкм, а длина волны (расстояние между гребнями) составляет около 200 мкм. При этом длина волн стилолитов в известняках приблизительно в 2 раза больше, чем в кварцито-песчаниках (около 100 мкм). Поскольку все замеры сделаны в шлифах, реальные значения амплитуды и длины волн могут несколько отличаться от приведенных. Морфология стилолитовых швов неправильная, реже фестончатая.

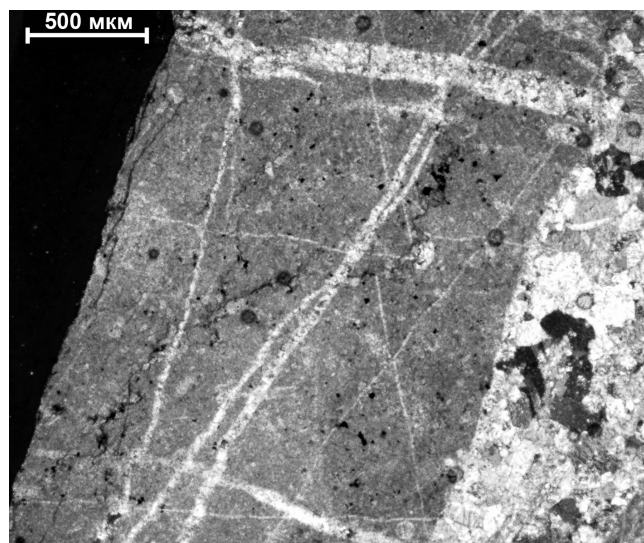


Рис. 3. Сеть минеральных жил, преимущественно незональных. Справа — фрагмент слабозональной жилы. Фото шлифов А.А. Борисенко и М.И. Ерохиной

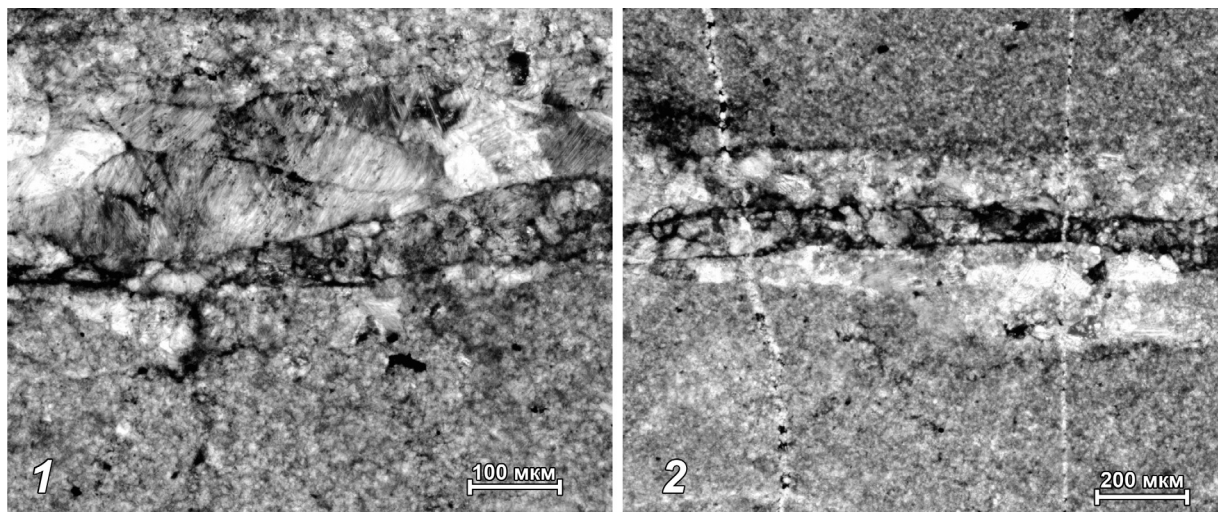


Рис. 4. Неструктурированная кальцитовая жила с зоной катаклаза толщиной 0,1 мм: 1 — зона катаклаза в зальбанде; 2 — зона катаклаза в середине жилы

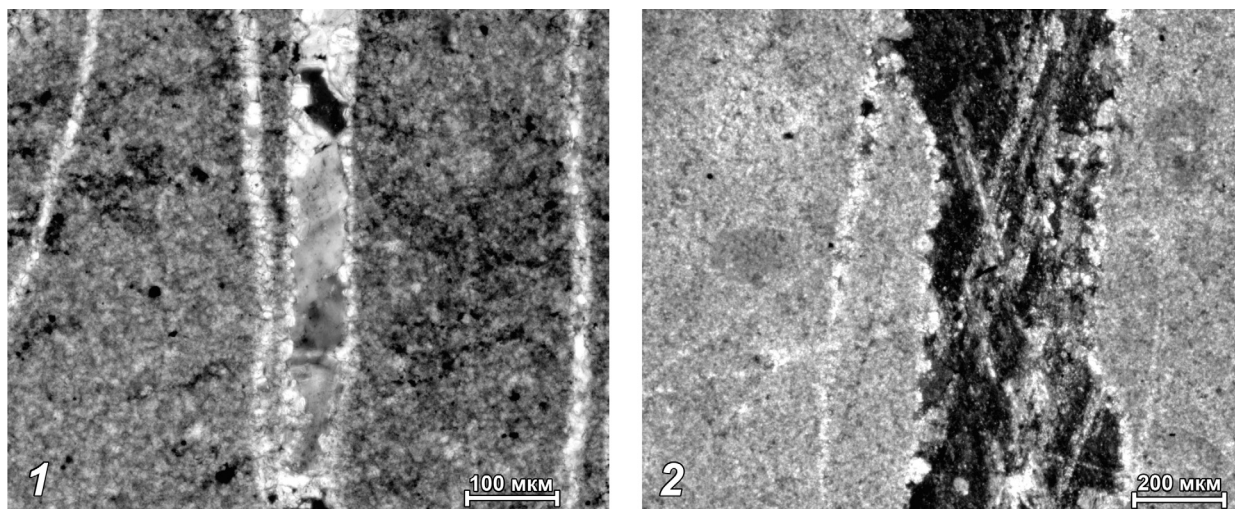


Рис. 5. Зональные кальцитовые жилы 1-го типа: 1 — с неструктурированным заполнением, 2 — выполненная единым кристаллом кальцита

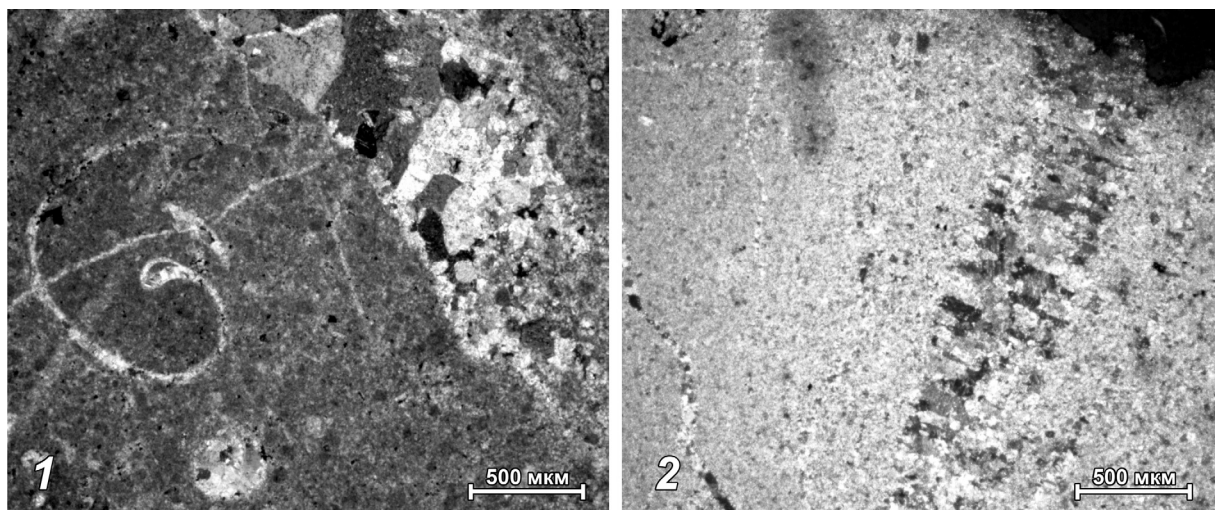


Рис. 6. Кальцитовые жилы с удлинёнными кристаллами кальцита, ориентированными в одном направлении: 1 — зональная жила заполнения, 2 — жила замещения

В некоторых из них довольно отчетливо проявлена фрактальная геометрия.

По большей части стилолитовые швы параллельны поверхностям твердого дна, т.е. возникли вследствие давления вышележащих толщ. Вместе с тем отдельные стилолитовые швы имеют иную ориентировку.

В единичных шлифах встречены участки прерывистого межзернового кливажа агрегатного типа [Кирмасов, 2011]. Обычно кливаж редкий, реже частый, шаговый, т.е. собранный в отдельные полосы частого анастомозного кливажа шириной 150–200 мкм при соотношении кливажных зон и микролитонов от 10 до 30% (рис. 8). В редком кливаже это соотношение не более 1–2%. Кливажные зоны имеют толщину 2–10 мкм и относятся к типу извилистых, волнистых, сложены глинистым материалом, вероятно, с долей оксидов железа. Переход между кливажными зонами и микролитонами резкий. В терригенных разностях зоны анастомозного кливажа обычно приурочены к

контактам относительно более крупнозернистых и мелкозернистых участков.

Результаты исследований и их обсуждение. Задачей микроструктурного анализа было выделение деформационных парагенезов и определение последовательности их формирования. В структурный парагенез объединены элементы-индикаторы чистого сдвига (удлинения–укорочения), простого сдвига (скашивания). В качестве индикаторов укорочения рассматривались микротекстуры сжатия (кливаж, стилолиты), в качестве индикаторов удлинения — текстуры растяжения (минеральные жилы), а в качестве индикаторов скашивания — микросколы, смещающие структурные элементы ранних этапов, слюдяные пакеты, структуры вращения порфиробластов, сланцеватость и т.д.

Ранний структурный парагенез чистого сдвига в изученных породах Улуирского участка состоит из трех элементов — стилолитов и ортогональных к ним минеральных жил заполнения и замещения (рис. 9). Как правило, волосяные жилы толщиной

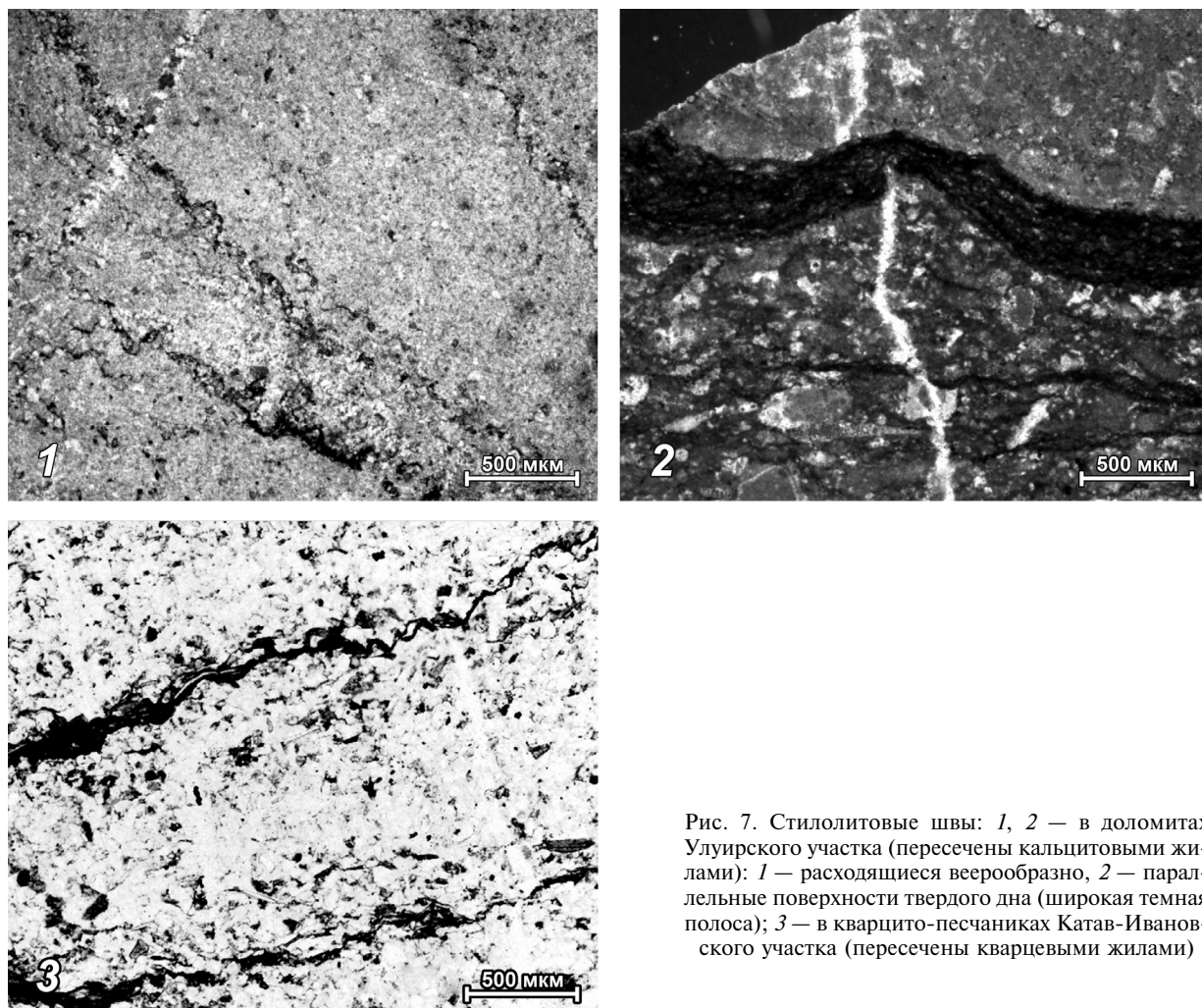


Рис. 7. Стиллитовые швы: 1, 2 — в доломитах Улуирского участка (пересечены кальцитовыми жилами): 1 — расходящиеся веерообразно, 2 — параллельные поверхности твердого дна (широкая темная полоса); 3 — в кварцито-песчаниках Катав-Ивановского участка (пересечены кварцевыми жилами)

до 10 мкм не пересекают хорошо выраженных стиллитовых швов, «застревая» в разделяемых стиллитами блоках. Более мощные жилы (40–50 мкм) практически всегда пересекают стиллитовые швы, особенно, если это зональные, синтаксиальные жилы с выраженными залбандами, т.е. жилы, отвечающие более высокой скорости деформации; то же касается и минеральных жил замещения.

Поскольку в этом парагенезе стиллитовые швы параллельны поверхностям твердого дна, их возникновение, вероятнее всего, обязано диагенетическому уплотнению карбонатных пород. Ортогональные им минеральные жилы возникли уже позднее, после полной литификации, и отражают, видимо, образование контракционных трещин, возникших в том же поле напряжений — вертикального сжатия и горизонтального растяжения, которое вызвано весом вышележащих пород. Таким образом, описанный парагенез самый ранний, образованный до начала тектонических деформаций, соответствующий ему этап деформации обозначим индексом D_1 .

Поздний структурный парагенез чистого сдвига на Улуирском участке включает в себя стиллитовые швы и минеральные жилы 2-й генерации, сформированные в поле напряжений, ориенти-

рованом под углом около 60° к полю напряжений раннего парагенеза. В участках проявления позднего парагенеза ранние стиллитовые швы интенсивно деформированы, а поздние стиллитовые швы расположены круто по отношению к ним и параллельно ранним минеральным жилам (рис. 10). Деформации, соответствующие этому парагенезу, обозначим индексом D_2^Y .

Поздний структурный парагенез чистого сдвига на Катав-Ивановском участке (рис. 11) включает в себя частый межзерновой кливаж (S_2), анастомозный в зонах сгущения, и ортогональные ему кварцевые жилы (V_2) толщиной 100 мкм. Кливаж сечет почти под прямым углом стиллитовые швы раннего парагенеза (S_1). Деформации, соответствующие этому парагенезу, обозначим индексом D_2^K .

Исходя из общих соображений и сходства проявления деформаций можно с некоторой долей условности предположить, что деформации D_2^Y и D_2^K примерно одновозрастны. Это предположение косвенно подтверждается тем, что деформации простого сдвига, как будет показано далее, проявились после описанных на обоих участках. Следует, правда, учитывать, что ранее [Тевелев и др., 2018] при анализе мезоструктурных элементов Катавско-Юрюзанской зоны нами было показано,

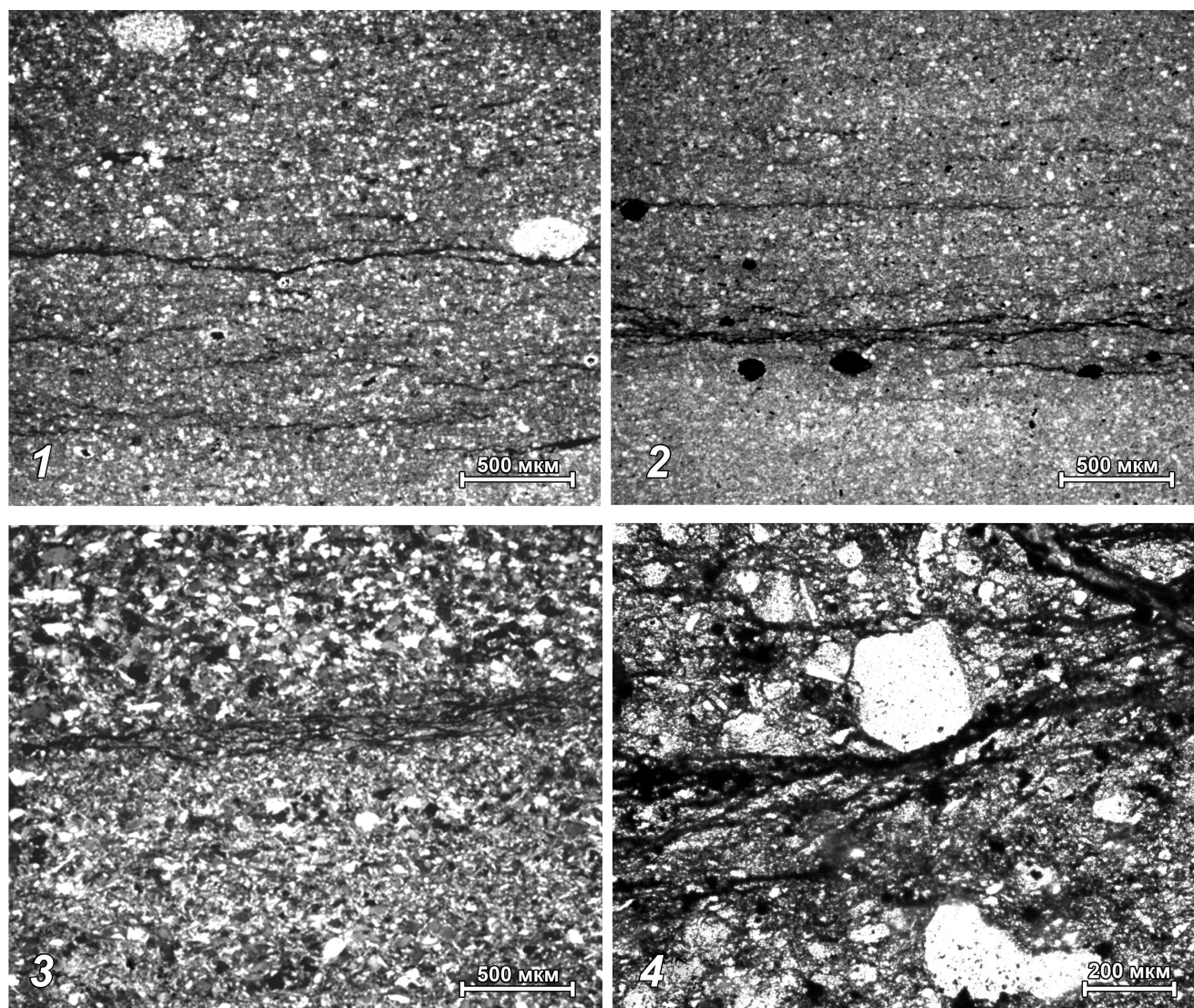


Рис. 8. Межзерновой кливаж: 1, 2 — в доломитах Улуирского участка (1 — частый, извилистый, местами анастомозный, 2 — резкий шаговый, анастомозный на участке сгущения); 3, 4 — в породах Катав-Ивановского участка (3 — дискретный, анастомозный в алевропесчаниках, 4 — грубый, ветвящийся в песчаниках)

что правосдвиговые парагенезы проявлены непосредственно в пределах локальных зон разломов, а в удаленных от граничных разломов блоках преобладали парагенезы сжатия–растяжения.

Структурные парагенезы простого сдвига на обоих участках, вероятно, наиболее поздние (D_3), поскольку составляющие их структурные элементы секут все структурные элементы парагенезов чистого сдвига. В состав структурного парагенеза в доломитах Улуирского участка входят микросколы, параллельные стилолитовым швам позднего парагенеза чистого сдвига + SC-текстуры по кальцитовым жилам раннего парагенеза + микрозоны катаклаза (рис. 12).

Соотношение с парагенезами чистого сдвига определяется несколькими факторами. Во-первых, оказываются деформированными с образованием SC-текстур кальцитовые жилы этапа D_1 , параллельные стилолитовым швам этапа D_2 . Последовательность деформаций хорошо видна на рис. 12 слева: этап D_1 — стилолиты S_1 + жилы V_1 ; этап

D_2 — стилолиты S_2 , поперечные стилолитам S_1 ; этап D_3 — деформация жил V_1 тангенциальными напряжениями, параллельными оси растяжения этапа D_2 . Те же тангенциальные напряжения могут быть реализованы в виде трещин микросколов (рис. 12, справа).

На Катав-Ивановском участке деформации D_3 выражены интенсивнее, но по-другому, чем на Улуирском участке. В структурный парагенез простого сдвига здесь входят сланцеватость, слюдяные пакеты, структуры вращения порфиروбластов, милониты, катаклазиты, птигматитовые жилы (рис. 13). Сланцеватость в породах Катав-Ивановского участка проявлена локально в виде отдельных линзовидных зон. Слюдяные пакеты мощностью до 200 мкм чаще появляются по границам кварцевых жил, т. е. на контактах двух сред с существенно разной реологией. Микрозоны милонитов имеют линзовидную форму и мощность 250–300 мкм, как правило, они с обеих сторон сопровождаются зонами катаклазитов (микробрек-

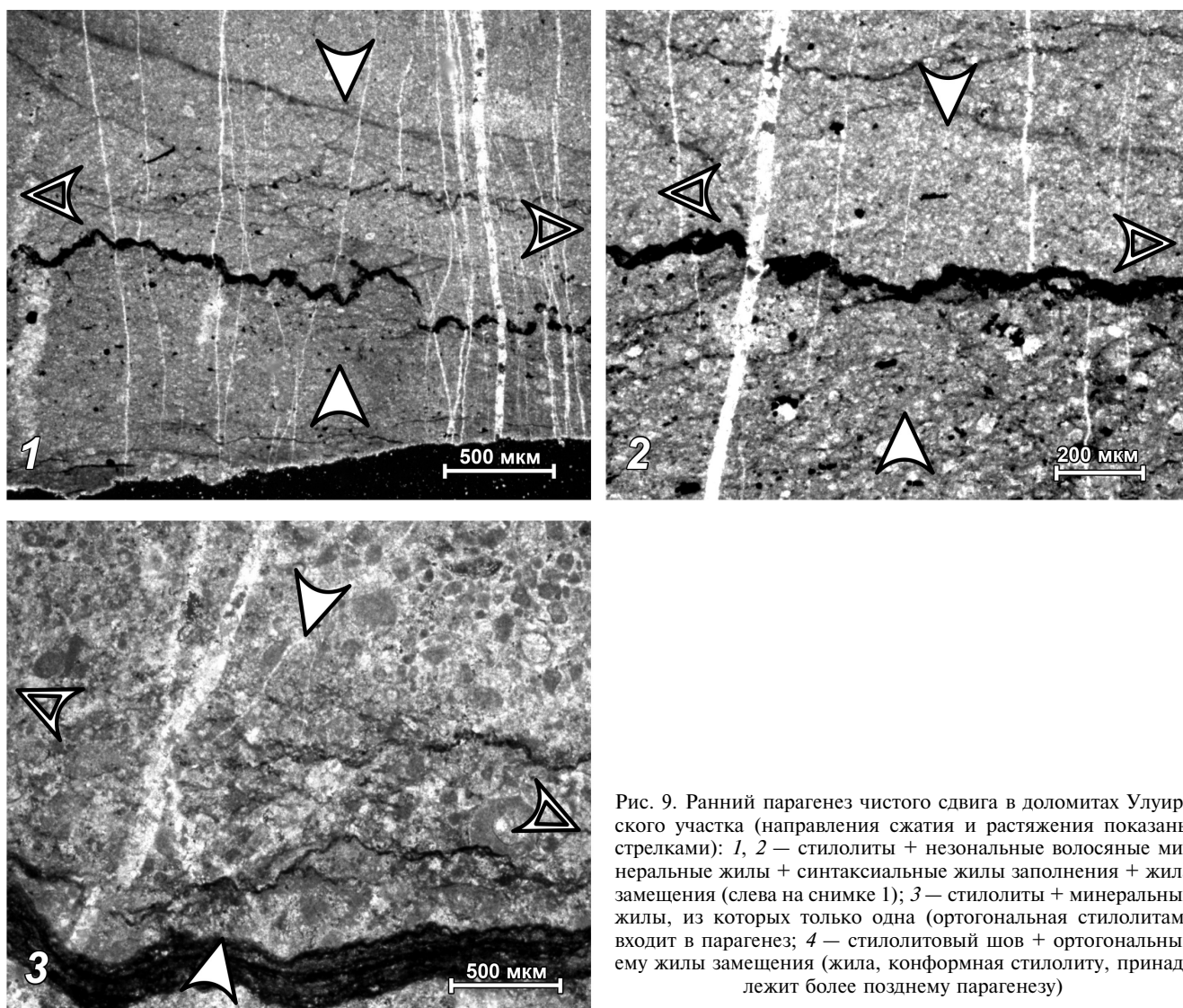


Рис. 9. Ранний парагенез чистого сдвига в доломитах Улуирского участка (направления сжатия и растяжения показаны стрелками): 1, 2 — стилолиты + незональные волосяные минеральные жилы + синтаксиальные жилы заполнения + жила замещения (слева на снимке 1); 3 — стилолиты + минеральные жилы, из которых только одна (ортогональная стилолитам) входит в парагенез; 4 — стилолитовый шов + ортогональные ему жилы замещения (жила, конформная стилолиту, принадлежит более позднему парагенезу)

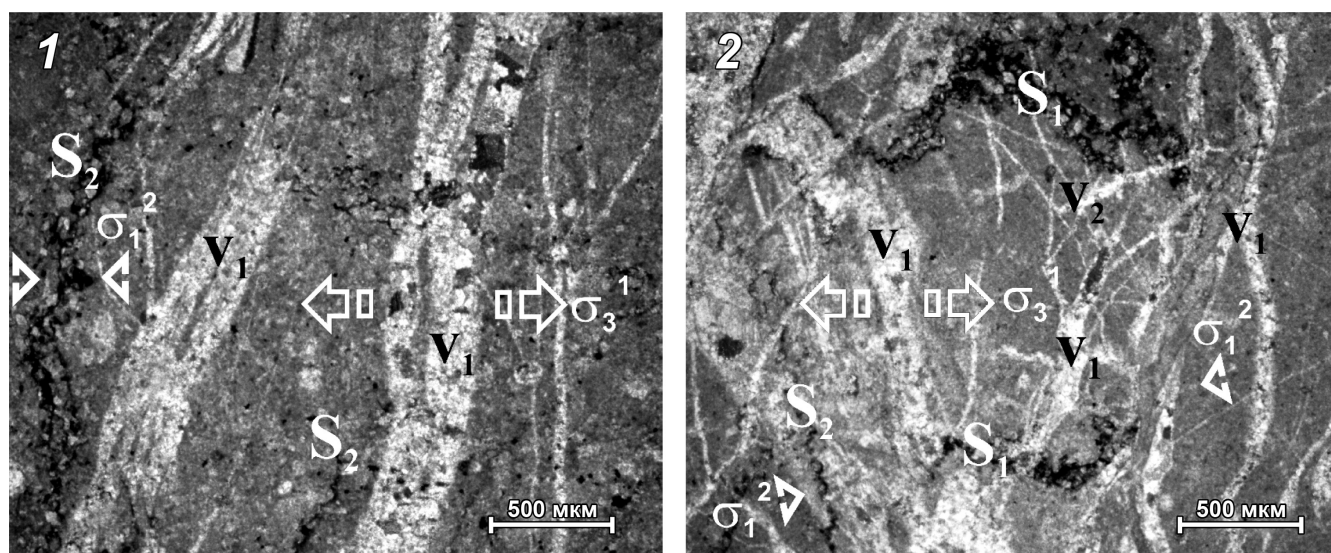


Рис. 10. Структурные элементы раннего и позднего парагенезов чистого сдвига в доломитах Улуирского участка (S_1 — стилолиты раннего парагенеза, S_2 — стилолиты позднего парагенеза, V_1 — жилы раннего парагенеза, V_2 — жилы позднего парагенеза, σ_1^2 — направление максимального напряжения (сжатие) позднего этапа, σ_3^1 — направление минимального напряжения (растяжение) раннего этапа): 1 — стилолитовый шов позднего парагенеза, почти параллельный минеральным жилам раннего парагенеза, 2 — интенсивно деформированные стилолитовые швы + минеральные жилы раннего парагенеза и недеформированные стилолитовые швы, а также минеральные жилы позднего парагенеза

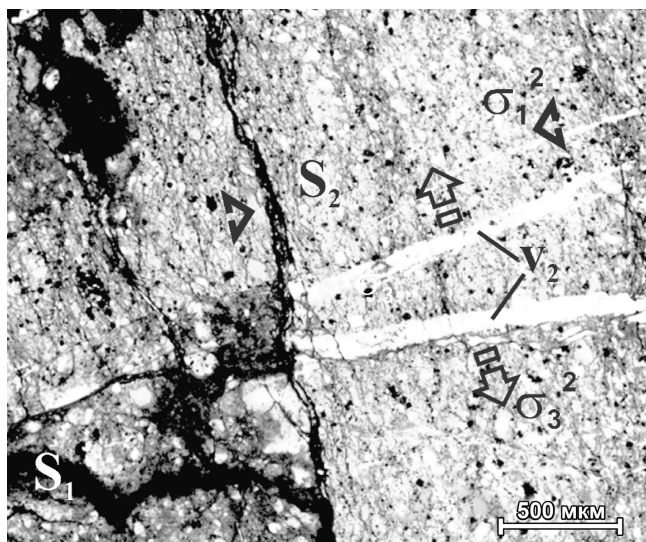


Рис. 11. Поздний структурный парагенез Катав-Ивановского участка: межзерновой кливаж частый, в зоне сгущения — анастомозный (S_2) + кварцевые жилы (V_2), ориентированные ортогонально ему. Слева внизу фрагмент стилолитового шва раннего этапа (S_1). Направление напряжений сжатия и растяжения показано так же, как на рис. 10

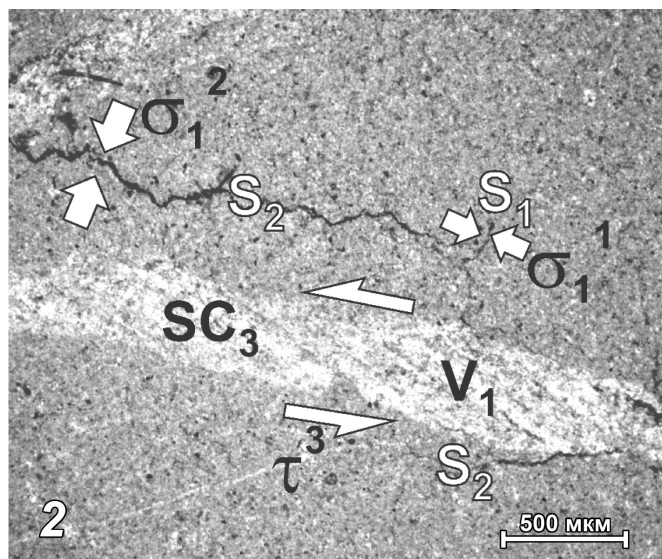
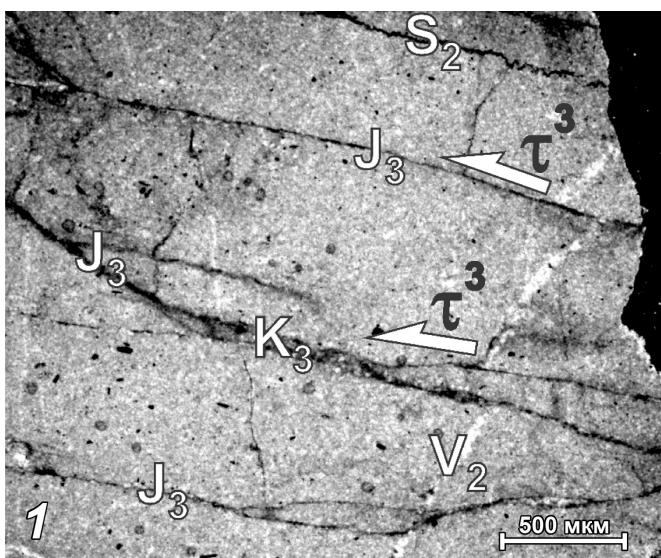


Рис. 12. Структурные элементы парагенезов чистого и простого сдвига в доломитах Улуирского участка (1, 2). Структурные элементы раннего парагенеза чистого сдвига: S_1 — стилолиты, V_1 — жилы, σ_1^1 — максимальное напряжение (сжатие); то же позднего парагенеза чистого сдвига S_2 — стилолиты, V_2 — жилы, σ_1^2 — максимальное напряжение (сжатие); парагенеза простого сдвига: J_3 — трещины скола, K_3 — микробрекции зоны присдвигового растяжения, SC_3 — SC-текстуры, τ_3 — тангенциальные напряжения

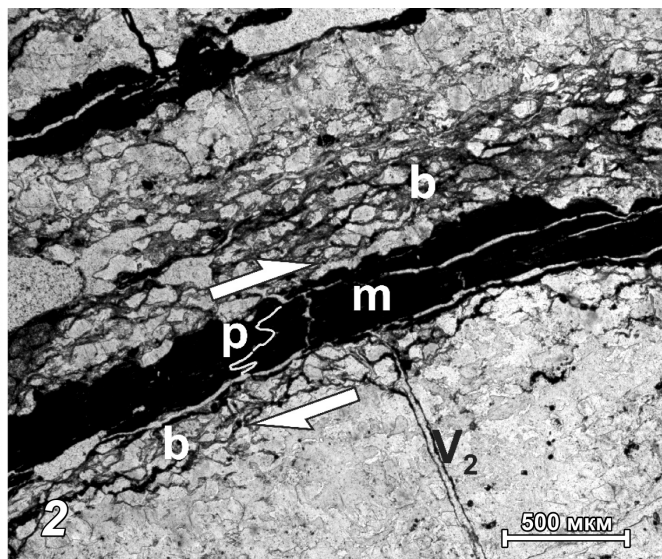
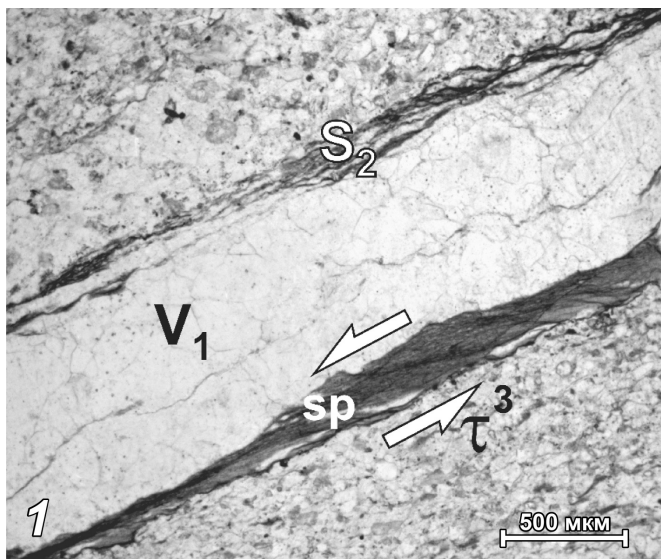


Рис. 13. Структурные элементы парагенезов чистого и простого сдвига в Катав-Ивановском участке: 1 — этап деформаций D_1 : V_1 — синтаксиальная кварцевая жила с четким сутурным швом; 2 — этап D_2 : S_2 — кливаж; этап D_3 : sp — слюдяные пакеты, m — милониты, b — катаклазиты (микробрекции), p — птитиматитовая жила

чий). Волосяные кварцевые жилы, пересекающие микрозоны милонитов, бывают смяты в мельчайшие асимметричные птигмативные складки, осевые поверхности которых параллельны границам зон.

Заключение. Анализ микроструктурных парагенезов участков, расположенных на расстоянии около 40 км по разные стороны Катавско-Юрюзанской зоны транспрессии, позволяет с большой долей уверенности сделать выводы об особенностях формирования этой зоны. Основной вывод заключается в том, что Катавско-Юрюзанская зона испытала по крайней мере два этапа тектонических деформаций, а последовательность деформаций была примерно одинаковой в пределах всей зоны — от Бакало-Саткинского разлома на юге до Сулеймского на севере. В микроструктурах зафиксированы последовательно сменяющиеся деформационные парагенезы нескольких этапов.

Первый этап деформаций (D_1) связан исключительно с формированием стилолитовых швов (S_1), параллельных напластованию, и минеральных жил (V_1) по трещинам отрыва. Скорее всего, эти микротекстуры образовались еще до проявления тектонических деформаций за счет диагенетического уплотнения карбонатных пород и за счет формирования контракционных трещин. При этом породы испытывали вертикальное сжатие и общее горизонтальное растяжение с примерно одинаковыми минимальным и средним напряжениями. Возраст деформаций D_1 — ранний фамен, это время формирования зилимской серии.

На *втором этапе* (D_2) деформации происходили также в механической обстановке чистого сдвига, но ось сжатия была ориентирована уже почти горизонтально под углом от 60 до 90° к оси

сжатия первого этапа. Непостоянство угла объясняется, видимо, незначительным вращением блоков в процессе деформаций. На этом этапе сформировались парагенезы, включающие в себя серии стилолитовых швов (S_2) и минеральных жил (V_2), часто ориентированных ортогонально аналогичным элементам первого этапа, а также межзерновой кливаж (S_2). Деформации второго этапа, скорее всего, соответствуют началу уральской коллизии в середине московского века, при незначительном влиянии сдвиговой компоненты.

Микротекстуры *третьего этапа* (D_3) деформаций наложены на микротекстуры первых этапов и формировались, скорее всего, в механической обстановке простого сдвига или транспрессии. По микроструктурным парагенезам, даже в ориентированных шлифах, не удалось установить направление тангенциальных напряжений, однако, исходя из общей ситуации следует считать эту кинематику правосдвиговой. В таких условиях возникли микроструктурные парагенезы, включающие в себя сланцеватость (S_3), милониты (S_3), катаклазиты (в узком смысле слова), слюдяные пакеты (SC-текстуры) и структуры вращения порфиروبластов. Деформации третьего этапа (D_3) связаны уже с формированием Катавско-Юрюзанской зоны правосторонней транспрессии и имеют пермский возраст. Они соответствуют стадии латерального выжимания Каратауско-Сулеймановского блока Предуральского краевого прогиба, который эта зона ограничивает с юго-востока [Тевелев и др., 2018].

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект № 19-55-26009\19 Чехия_a).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Кирмасов А.Б. Основы структурного анализа. М.: Научный мир, 2011. 368 с.

Тевелев Ал.В., Прудников И.А., Тевелев Арк.В. и др. Кинематическая модель формирования Симской мульды Предуральского краевого прогиба // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2018. № 2. С. 23–32.

Тевелев Ал.В., Тевелев Арк.В., Хотылев А.О. и др. Тектоническая обстановка в районе Катав-Ивановских землетрясений в сентябре 2018 года (Южный Урал) //

Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2019а. № 2. С. 23–29.

Тевелев Ал.В., Тевелев Арк.В., Прудников И.А. и др. Макро-, мезо- и микроструктурные исследования при региональных работах на Южном Урале // Конф. «Ломоносовские чтения-2019». МГУ имени М.В. Ломоносова. Секция Геология, подсекция Региональная геология и история Земли. 2019б. URL: <https://conf.msu.ru/file/event/5604> (дата обращения: 24.02.2020).

Поступила в редакцию 03.02.2019

Поступила с доработки 26.02.2020

Принята к публикации 26.02.2020