

УДК 551.24

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2026-65-3-31-39

СТРУКТУРНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ЗОНЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТАРАТАШСКОГО МЕТАМОРФИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА И ЕГО ОБРАМЛЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Борис Глебович Голионко¹, Александр Вениаминович Тевелев²✉, Борис Борисович Шкурский³

¹ Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия; golbor62@gmail.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; atevelev@yandex.ru✉, https://istina.msu.ru/profile/Al_Tevelev-1970/

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; shkurskyBB@yandex.ru, <https://istina.msu.ru/8860431>

Аннотация. Рассмотрены мезоструктурные парагенезы тараташского метаморфического комплекса на Южном Урале. Установлены три генерации складок, отвечающие трем этапам деформации. Первый этап выразился в формировании колчановидных складок, образовавшихся в ходе надвигания, ориентированного в субширотном направлении. Второй этап связан с образованием складок северной вергентности в условиях субмеридионального тектонического транспорта. Третий этап характеризуется образованием левосторонних сдвиговых складок в условиях синкинематической мигматизации. Все три этапа относятся к раннепротерозойской эпохе тектогенеза. Структуры низкотемпературных тектонитов по метаморфическим породам александровского комплекса изучались к юго-востоку от зоны распространения пород тараташского комплекса. Здесь выделяются складки западной и северо-западной вергентности и деформирующие их левосдвиговые структуры. Все структуры зоны низкотемпературных тектонитов образовались в ходе палеозойской левосторонней транспрессии.

Ключевые слова: Южный Урал, тараташский комплекс, александровский комплекс, мезоструктурный анализ, колчановидные складки, низкотемпературные тектониты

Для цитирования: Голионко Б.Г., Тевелев А.В., Шкурский Б.Б. Структурная эволюция южной части зоны распространения тараташского метаморфического комплекса и его обрамления (Южный Урал) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2026. № 3. С. 31–39.

STRUCTURAL EVOLUTION OF THE SOUTHERN PART OF THE TARATASH METAMORPHIC COMPLEX AND ITS FRAMING (SOUTHERN URALS)

Boris G. Golionko¹, Alexander V. Tevelev²✉, Boris B. Shkursky³

¹ Geological Institute of the RAS, Moscow, Russia; golbor62@gmail.com

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; atevelev@yandex.ru✉

³ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; shkurskyBB@yandex.ru

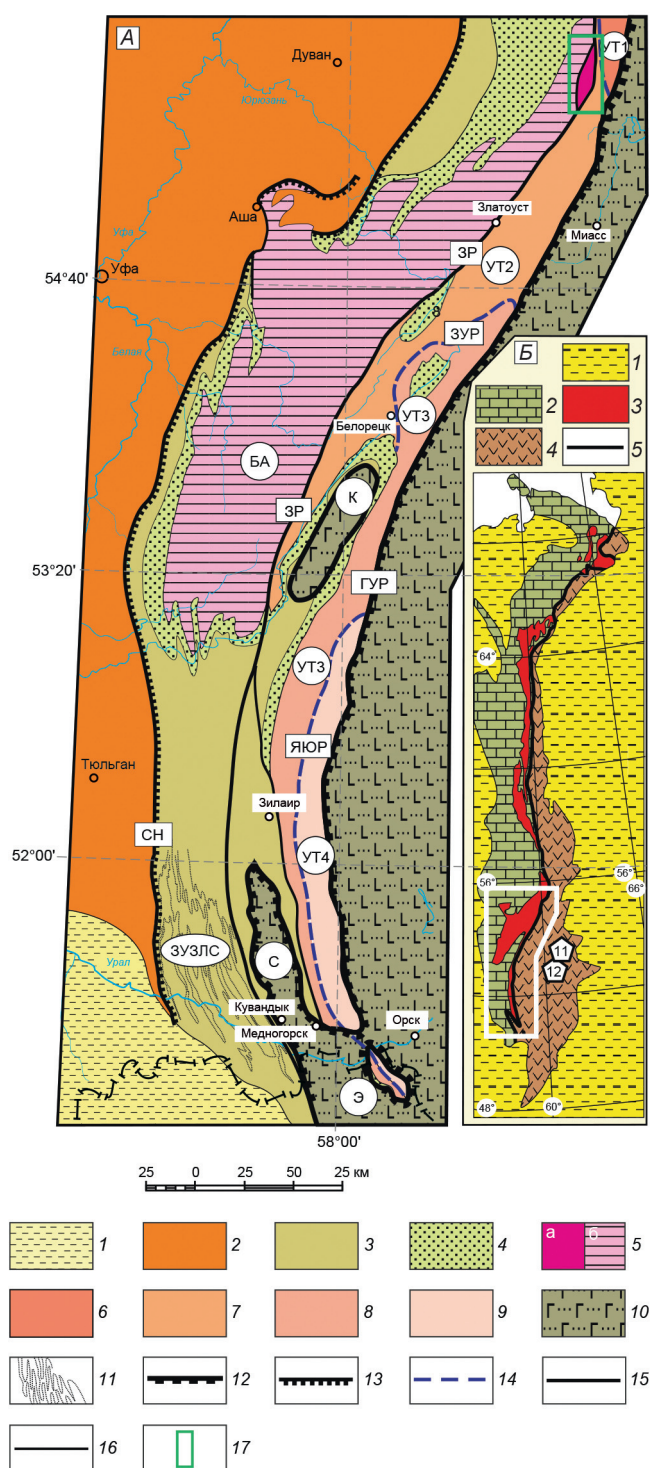
Abstract. Mesostructural parageneses of the Taratash metamorphic complex in the Southern Urals are considered. Three generations of folds have been identified, corresponding to three stages of deformation. The first stage was characterized by the formation of quiver-shaped folds formed during thrusting oriented in a sublatitudinal direction. The second stage is associated with the formation of north-vergent folds under conditions of submeridional tectonic transport. The third stage is characterized by the formation of sinistral strike-slip folds under conditions of synkinematic migmatization. All three stages belong to the Early Proterozoic epoch of tectogenesis. Low-temperature tectonite structures in metamorphic rocks of the Aleksandrova complex were studied southeast of the Taratash complex distribution zone. Folds of west and northwest vergence and the sinistral strike-slip structures that deform them are distinguished here. All structures in the low-temperature tectonite zone formed during Paleozoic sinistral transpression.

Keywords: Southern Urals, Taratash complex, Aleksandrov complex, mesostructural analysis, sheath folds, low-temperature tectonites

For citation: Golionko B.G., Tevelev A.V., Shkursky B.B. Structural evolution of the southern part of the Taratash metamorphic complex and its framing (Southern Urals). *Moscow University Geol. Bull.* 2026; 3: 31–39. (In Russ.).

Введение. Структурному анализу принадлежит важная роль в познании тектонической эволюции складчато-надвиговых поясов. Применение структурного анализа существенно углубляет наши познания о строении и условиях формирования метаморфических комплексов, являющихся важ-

ной составной частью структуры внутриконтинентальных орогенов. Тараташский метаморфический комплекс является древнейшим в пределах Южного Урала. Его строению, возрасту и метаморфической эволюции посвящена обширная литература [Ронкин и др. 2012; Тевелев и др., 2015, 2017а, 2017б; Сомси-



кова и др., 2022], однако его структурная эволюция изучена еще недостаточно подробно — исследования в основном касались мезоструктур зон разрывов, микроструктур тектонитов, анизотропии магнитной восприимчивости и скорости прохождения сейсмических волн в бластомилонитах [Тевелев и др., 2017], в то время как изучению последовательности формирования складчатых мезоструктурных парагенезов уделялось существенно меньшее внимание. В данной работе мы попытаемся в какой-то мере восполнить этот пробел.

Рис. 1. Схема тектонического районирования южного сегмента Западно-Уральской мегазоны и сопряженных структур (а) и упрощенная схема тектонической зональности Урала (б) (по [Пучков, 2010; Голионко, Георгиевский, 2023] с изменениями). А. 1 — мезозойско-кайнозойские толщи чехла Прикаспийской плиты; 2 — верхнепалеозойские комплексы осевой зоны и западного борта южного сегмента Предуральского прогиба; 3–10 — Западно-Уральская мегазона: 3 — верхнепалеозойские комплексы восточного борта южного сегмента Предуральского прогиба и фамен-турнейские толщи Зилаирского синклинария; 4 — ранне- и среднепалеозойские комплексы Западноуральской мегазоны; 5–9 — неравномерно метаморфизованные докембрийские и палеозойские комплексы южного сегмента зоны Центрально-Уральского поднятия: 5 — глубоко метаморфизованные раннедокембрийские образования (тараташский метаморфический комплекс) (а), неметаморфизованные верхнедокембрийские толщи Башкирского поднятия (БП), объединенные (б); 6–9 — неравномерно метаморфизованные верхнедокембрийские и палеозойские комплексы поднятия Уралтау: 6 — Уфалейский (УТ1), 7 — Таганайско-Белорецкий (УТ2), 8 — Суваянский (УТ3) и 9 — Максютковский (УТ4), Э — Эбетинская антиформа; 10 — Восточно-Уральская мегазона и аллохтонные структурные элементы Западно-Уральской мегазоны — Кракинский (К) и Сакмарский (С) краевые аллохтоны (палеозойские вулканогенные, вулканогенно-осадочные и ассоциирующие с ними осадочные комплексы), а также офиолиты; 11 — структурные линии, иллюстрирующие развитие пакетов изоклинальных складок (Западноуральская зона линейный складок — ЗУЗЛС) в верхнепалеозойских толщах южной части восточного борта южного сегмента Предуральского прогиба; 12–15 — крупноамплитудные надвиги регионального значения: 12 — Главный Уральский разлом (ГУР), 13 — Сюреньский надвиг (СН), 14 — разломы, разделяющие тектонические единицы в структуре зоны Уралтау: Янтышевско-Юлукский (ЯЮР), Западно-Уралтауский (ЗУР), Уфалейско-Александровский (УАР), 15 — Зюраткульский разлом (ЗР), разделяющий Башкирское поднятие и Таганайско-Белорецкую тектоническую единицу зоны поднятия Уралтау и его южное продолжение в Зилаирском синклинарии; 16 — прочие крупные разломы; 17 — район работ. Б. 1 — мезозойско-кайнозойские толщи чехла Восточно-Европейской платформы, Печорской, Прикаспийской и Западно-Сибирской плит; 2, 3 — Западно-Уральская мегазона: 2 — палеозойские комплексы Западно-Уральской мегазоны (s.s.) и Предуральского прогиба, 3 — неравномерно метаморфизованные докембрийские и палеозойские комплексы зоны Центрально-Уральского поднятия; 4 — неравномерно метаморфизованные, преимущественно палеозойские вулканогенные, вулканогенно-осадочные и ассоциирующие с ними осадочные комплексы, а также офиолиты и гранитоиды Восточно-Уральской мегазоны и аналогичные по составу и строению комплексы, слагающие в пределах Западно-Уральской мегазоны краевые Кракинский и Сакмарский аллохтоны; 5 — Главный Уральский разлом

Краткое описание геологического строения. В строении Южноуральского сегмента Уральской складчатой области выделяются палеоконтинентальный и палеоокеанический секторы, разделенные зоной Главного Уральского Разлома (ГУР) [Пучков, 2010]. В составе палеоконтинентального сектора выделяются Предуральский краевой прогиб и Западноуральская мегазона, состоящая из Зилаирского синклинария, Башкирского антиклинария, антиформы Уралтау и ее южного продолжения — Эбетинской антиформы, Кракинского и Сакмарского аллохтонов (рис. 1).

Башкирский антиклинорий сложен раннедокембрийскими метаморфитами и стратиграфически налегающими на них мощными рифтогенными толщами вулканогено-терригенно-карбонатных отложений рифея, слагающими несколько серий. Крылья структуры сложены вендскими и палеозойскими отложениями. Строение антиклинория различается в западной и восточной частях структуры, которые разделены Зюраткульским разломом. Предполагается, что в пределах Башкирского антиклинория проходила западная граница форланда тиманид [Пучков, 2010]. Поэтому на западе позднедокембрийские породы деформированы вместе с палеозойскими, и палеозойские отложения структурно согласно залегают на докембрийских. В восточной части антиклинория рифейские комплексы деформированы и перекрыты палеозойскими со структурным несогласием. Кроме того, разрезы рифея в восточной и западной частях антиклинория различаются. Основное различие в строении среднего рифея состоит в том, что к западу от Зюраткульского разлома отсутствует машакская свита или ее аналоги (примерно 2,5 км вулканитов контрастной серии). Зигальгинская свита практически сразу ложится на бакальскую свиту с разрывом и базальными конгломератами.

Тараташский метаморфический комплекс слагает одноименный блок линзовидной формы север-северо-восточного простирания в северной части Башкирского антиклинория, входящего в состав Западноуральской мегазоны. Блок представляет собой фрагмент фундамента Восточно-Европейской платформы, отделенный от последней Предуральским краевым прогибом [Пучков, 2010]. Раннедокембрийские породы тараташского комплекса надвинуты в западном направлении на рифейские и палеозойские шельфовые комплексы палеоконтинентального

сектора Уральской складчатой области и перекрыты со структурным несогласием, с базальными конгломератами в основании, породами айской свиты нижнего рифея [Пучков, 2010]. С востока Тараташский блок ограничен зонами бластомилонитов западной вергентности, относящихся к бильдишскому комплексу [Тевелев и др., 2017б] (рис. 2).

Таким образом, в современной структуре Тараташский блок представляет собой крупную (около 400 км²) тектоническую линзу западной вергентности. Блок сложен архейскими и раннепротерозойскими породами, испытавшими метаморфизм гранулитовой фации и диафторез амфиболитовой (до зеленосланцевой) фации в ходе сложной много-

Рис. 2. Схема геологического строения тараташского метаморфического комплекса и его обрамления (по Тевелев и др., 2017) с изменениями. 1–8 — Башкирский антиклинорий: 1 — нижний-средний девон?, азяшская толща: доломитовые, силикатные, криноидные мраморы, 2 — айская свита нижний рифей: песчаники и конгломераты, щелочные базальты, 3 — саткинская свита, нижний рифей — доломиты, 4 — бильдишский комплекс: бластомилониты и зеленые сланцы, 5 — александровский комплекс: бластомилониты с блоками биотитовых гнейсов, амфиболитов и кристаллических сланцев, 6–8 — тараташский метаморфический комплекс: 6 — тагаянская толща, архей, биотитовые, гранат-биотитовые, глиноземистые плагиогнейсы, железистые кварциты, 7 — радашная толща, архей, магнетитовые кварциты и гнейсы, антофиллит магнетитовые породы, двупироксеновые метавулканиты, двупироксен-плагиоклазовые кристаллосланцы, мигматиты и глиноземистые гнейсы, 8 — куватальская толща, архей, пироксеновые, двупироксен-плагиоклазовые, амфиболовые, оливин-пироксен-амфиболовые кристаллосланцы, глиноземистые плагиогнейсы, железистые кварциты; 9 — Белорецко-Таганайская зона; 10 — геологические границы; 11 — Зюраткульский разлом; 12 — прочие разломы: а — главные, б — второстепенные; 13 — участки детальн. работ: 1 — Радостный, 2 — Изранда

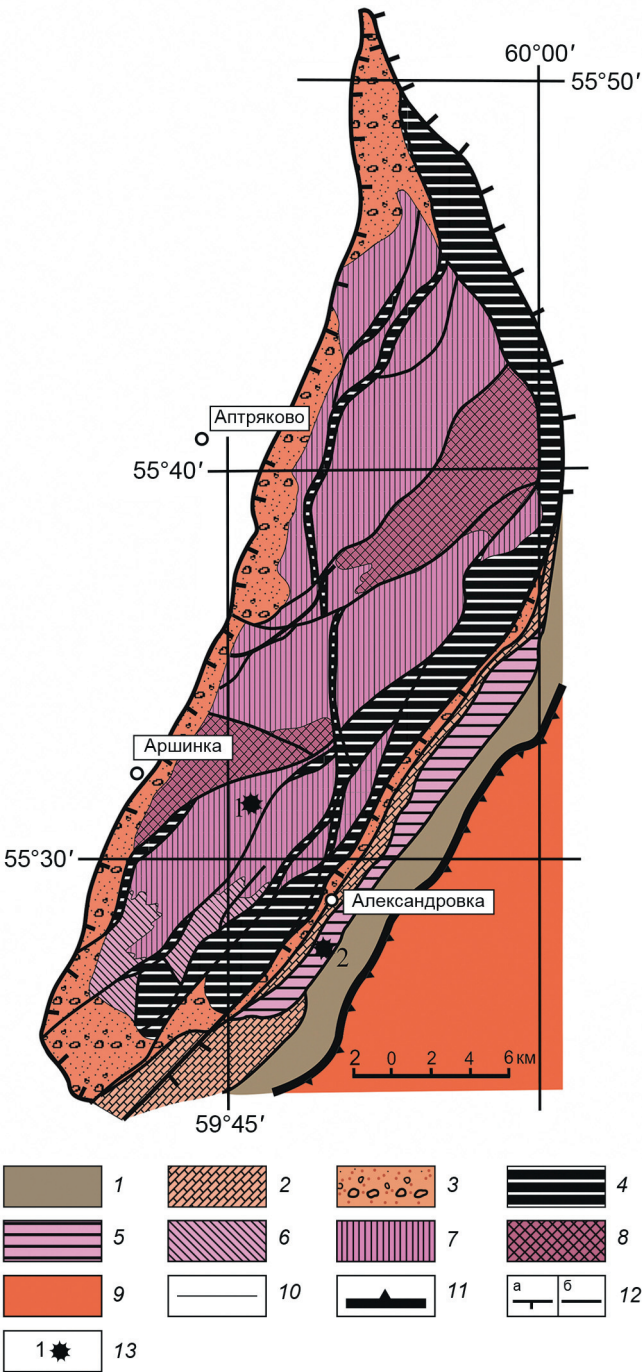




Рис. 3. Колчановидная складка F_1 в мигматизированных амфиболитах тараташского комплекса

этапной истории геологического развития [Ронкин и др., 2012; Сомскова и др., 2022; Тевелев и др., 2015].

Юго-восточнее Тараташского блока узкой полосой северо-восточного простираения протягиваются выходы бластомилонитов александровского комплекса, сложенного метатектонитами по породам, сходным с породами тараташского комплекса (?). Эти породы приурочены к зоне Зюраткульского разлома, отделяющего образования Тараташского выступа Башкирского антиклинория от антиформы Уралтау. Ранее эти образования относились к самостоятельному александровскому метаморфическому комплексу раннедокембрийского возраста [Ронкин и др., 2012].

Методы исследований. Основным методом исследования являлся мезоструктурный анализ, то есть изучение плоскостных и линейных элементов складчатых структур, развитых в пределах обнажения, и установление взаимоотношений разновозрастных складок с целью изучения структурной эволюции изучаемого региона. Методика мезоструктурных исследований неоднократно изложена в отечественной [Казаков, 1976; Кирмасов, 2011] и иностранной литературе [Turner, Weiss, 1963; Ramsay, Huber, 1987].

Раннедокембрийские комплексы Южного Урала довольно плохо обнажены. Структуры тараташского и александровского комплексов изучались соответственно на участках Радостный и Изранда. На обоих участках количество замеров превышало 30, что обе-

спечило достаточную статистическую выборку для характеристики изучаемых структур и их эволюции. Построение структурных диаграмм производилось при помощи программы “Stereo 32”.

Результаты исследований. Участок Радостный. Мезоструктурные парагенезы тараташского метаморфического комплекса изучались в пределах детального структурного участка на юге зоны его развития в районе железорудного месторождения Радостное, в 5 км к северо-западу от д. Александровка Челябинской области. Здесь в стенках карьера вскрываются породы радашской свиты тараташского комплекса, представленные магнетитовыми, магнетит-биотитовыми кварцитами и гнейсами, антофиллит-магнетитовыми породами, амфибол-двупироксеновыми метаультрамафитами, амфиболитизированными двупироксен-плаггиоклазовыми кристаллосланцами, мигматитами по ним, и глиноземистыми гнейсами, прорванными дайками пикритов и долеритов.

Породы интенсивно мигматизированы. Мигматиты по двупироксен-плаггиоклазовым гранофельсам и сланцам, в т. ч. амфибол-содержащим, представлены преимущественно строматитами (послойными мигматитами) с ранней маломощной серой эндербитоидной, а чаще — поздней белой трондьемитоидной мелкозернистой (аплитовидной) лейкосомой, с массивной или неяснополосчатой текстурой. В меланократовых разностях метабазитов, в т. ч. переходных к вебстеритам, а также в амфиболитах и амфиболовых сланцах по ним, характерно наличие, в дополнение к субогласным, секущих лейкосом; мигматиты по таким породам — типичные диктиониты (сетчатые мигматиты). Агматиты и небулиты редки и приурочены к контактам метабазитовых блоков с гнейсами. В осевых частях наиболее мощных полос лейкосомы, особенно секущих, характерно присутствие гранитной лейкосомы, белой с кремовым или серовато-желтым оттенком, средне-крупнозернистой, нередко порфиоровидной структуры и массивной текстуры.

В диктионитовых мигматитах полосчатость трондьемитоидной лейкосомы на пересечении послойных и секущих участков изогнута и как бы «затянута» в межбужинное пространство. Меланосома, обогащенная биотитом, в мигматитах по метабазитам всегда разграничивает лейкосому и мезосому, но имеет переменную мощность от первых сантиметров до 1 мм и менее. Гранат-кварц-биотитовые двуполевошпатовые метапелиты с кордиеритом и силлиманитом, с обильными линзовидными обособлениями желтовато-белой или белой гранитной лейкосомы, мигматизированы настолько интенсивно, что выделение в них участков сохранившегося субстрата (палеосомы, мезосомы) затруднительно.

В пределах изученной площади выделены структурные элементы разных порядков.

Наиболее ранними складчатыми структурами в пределах карьера Радостный являются складки F_1 ,

представленные изоклинальными и колчановидными структурами. Это мелкие складки с горизонтальным размахом не превышающим 0,2–0,3 м. Длинные оси колчановидных складок и субпараллельная им линейность удлинения ориентированы в субширотном направлении (рис. 3).

Складки первой генерации развиты на крыльях более поздних складок F_2 , являющихся основными структурами, развитыми на данном участке. Складчатые структуры второй генерации характеризуются субширотным простиранием, они опрокинуты в северном направлении. Складки северной вергентности по морфологии меняются от сжатых асимметричных до изоклинальных с практически параллельными крыльями, причем последние преобладают (рис. 4, а).

Горизонтальный размах складок F_2 меняется от 0,5 до 10 м. Наиболее отчетливо морфология складчатых структур второй генерации наблюдаются в отколотых блоках на дне карьера (рис. 4, з). Форма замков складок меняется от округлой до коробчатой в пределах одной структуры. Складки с острыми замками встречаются реже. По классификации А.Н. Казакова [1976] это типичные подобные складки ламинарного течения с сохраняющимися мощно-

стями на крыльях и увеличением мощностей в замках структур. Отметим, что для складок, развитых в пределах участка, в целом не характерна сланцеватость осевой поверхности. Северные крылья складок характеризуются в большинстве опрокинутыми ($75\text{--}85^\circ$) падениями в южных румбах, наблюдаются также слои, круто (до 80°) погружающиеся в северном направлении. Южные крылья складок характеризуются нормальными падениями в южных румбах, углы падения меняются от 50 до 85° , увеличение углов падения наблюдается по восстанию структуры. Термины «опрокинутые» и «нормальные» здесь применяются исключительно для удобства описания опрокинутых складок. «Опрокинутыми» считаются крылья, падающие круче осевой поверхности, а «нормальными» — падающие положе осевой поверхности. В соответствии с этим, южное падение осевых поверхностей складок также становится более крутым по восстанию структур. Шарниры складок полого ($5\text{--}10^\circ$) погружаются в восточном и восток-северо-восточном направлении (рис. 5, А). Линейность параллельна шарнирам складок. Линейность складок F_1 в условиях недостаточной обнаженности трудноотличима от субширотной линейности, параллельной шарнирам складок второй генерации,

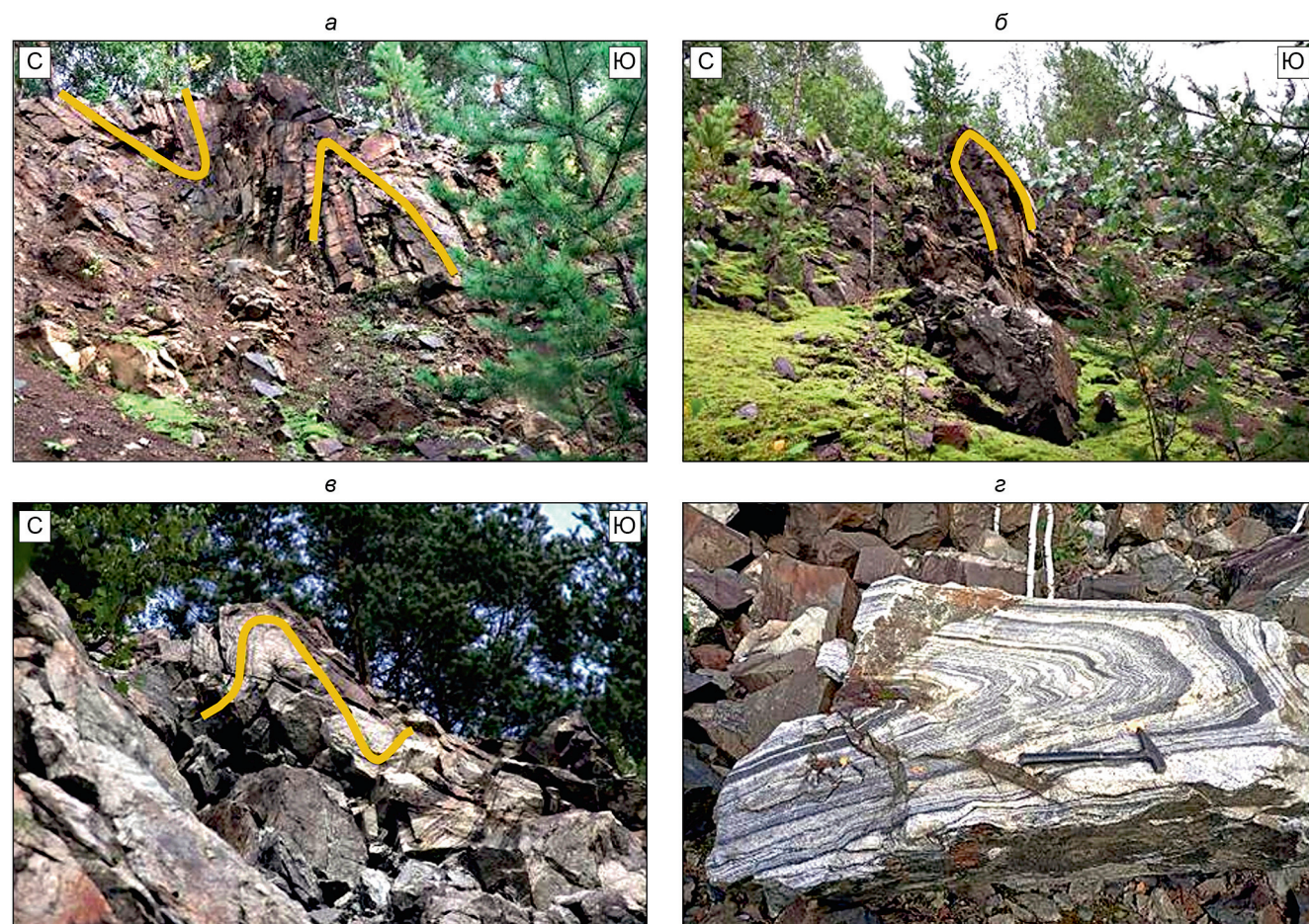


Рис. 4. Складки северной вергентности F_2 в кварцитах и амфиболитах тараташского комплекса: а — асимметричные, б — изоклинальные; в, з — складки F_2 с коробчатыми замками в амфиболовых гнейсах тараташского комплекса (а–в — в стенке карьера, з — в отвалившемся блоке)

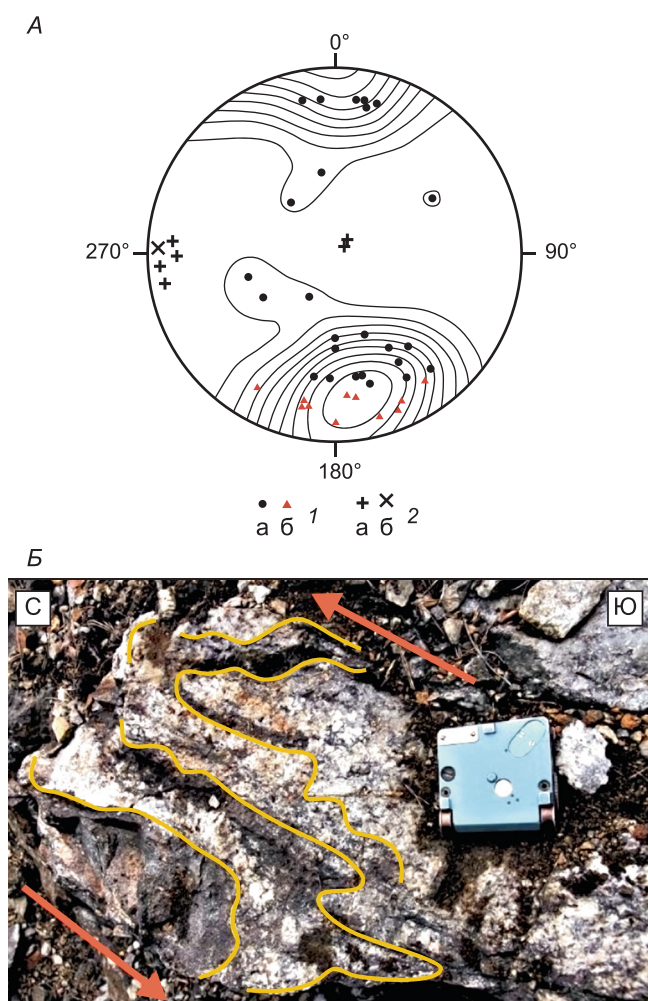


Рис. 5. Характер деформаций пород тараташского комплекса. А — структурная диаграмма залегания сланцеватости, полосчатости и линейных элементов в складках тараташского комплекса. Равноугольная проекция, верхняя полусфера; 44 замера; 1 — структурные элементы залегания полюсов сланцеватости (а — нормальное залегание, б — опрокинутое); 2 — линейные структурные элементы (а — шарниры, б — линейность). Б — сдвиговая складка F_3 в мигматитах тараташского комплекса, красные стрелки — ориентировки сил при сдвиговых перемещениях

однако следует учитывать, что в колчановидных складках линейность перпендикулярна изогнутым шарнирам во фронтальных частях складчатых структур и образует острые углы с шарнирами на флангах складок.

Направление сжатия и тектонического транспорта при образовании колчановидных складок F_1 субпараллельны линейности. В складках северной вергентности F_2 линейность, параллельная их шарнирам, перпендикулярна направлению сжатия и надвигания, следовательно, направления тектонического транспорта, при которых формировались складки первой и второй генерации, взаимно перпендикулярны.

На крыльях складок второй генерации отмечены локальные вариации направления погружения пород, при которых обычные падения в южных

и северных румбах меняются на юго-восточные и юго-западные. Наблюдения показали, что эти изменения в залегании пород связаны с образованием складок F_3 с крутопадающими шарнирами, деформирующих ранее образованные структуры (рис. 5, Б). Эти складчатые структуры являются наиболее поздними на данном участке детальных структурных наблюдений. Складки третьей генерации приурочены к зонам интенсивной мигматизации и развиты в послойных мигматитах. Наблюдаемый размах складок F_3 не превышает 0,2 м, они характеризуются левосторонним S-образным рисунком, шарниры складок круто (около 80°) погружаются в юго-западном направлении.

Участок Изранда. Структуры александровского комплекса изучались в стенках канала, соединяющего долины рек Изранда и Куса, где обнажены милонитизированные гранито-гнейсы и метабазиты. Гранито-гнейсы сильно рассланцованы и превращены в динамосланцы. По плоскостям рассланцевания развит серицит. Породы часто сильно выветрелые и непрочные, рассыпающиеся в руках. Настоящих бластомилонитов на данном участке не обнаружено. Среди динамосланцев встречаются относительно хорошо сохранившиеся будинообразные тектонические линзы гранито-гнейсов и метабазитов. Выходы метабазитов, очевидно, представляют собой разлинзованные дайки. В целом участок представляет собой зону низкотемпературных тектонитов по породам, вероятно изначально сформировавшимся в условиях амфиболитовой фации метаморфизма.

Преимущественное падение зон рассланцевания восток-юго-восточное, реже юго-восточное углы падения меняются от 35 до 85° , у моста на дороге Магнитка–Александровска наблюдаются крутые (65 – 75°) юго-западные падения.

Иногда среди динамосланцев наблюдаются фрагменты изоклиналиных складок с горизонтальным размахом до 0,5 м, круто наклоненные в запад-северо-западном направлении. Шарниры структур полого падают в юг-юго-западном направлении. Фрагментарно наблюдаемая линейность параллельна шарнирам (рис. 6, А).

В центральной части обнаженного отрезка канала встречаются фрагменты более крупных, по-видимому так же изоклиналиных складок с горизонтальным размахом до 10 м, опрокинутых в северо-западном направлении (рис. 6, Б). Нормальные крылья структур редуцированы и срезаны процессами эрозии, опрокинутые крылья погружаются в юго-восточном направлении под углами 55 – 75° . Замки складок округлые, кливаж осевой поверхности не выражен.

Вариации в падениях зон рассланцевания несомненно свидетельствуют о проявлении деформаций более поздних, по отношению к складчатости. Ранее на данном участке были отмечены левосторонние сдвиговые складки с вертикальными шарнирами и признаки «цветочной структуры», характерные для левосторонней транспрессии [Хотылев, 2014].

Обсуждение результатов. Обобщая вышеприведенные данные, можно сделать вывод о том, что характеристики мезоструктурных парагенезов и их эволюция резко различаются в тараташском метаморфическом комплексе и в тектонитах александровского комплекса в бассейне реки Изранда. В структурной эволюции Тараташского комплекса выделяются три разновозрастных мезоструктурных парагенеза, отвечающие, как представляется, трем различным этапам деформации. Первый этап деформации D1 связан с формированием колчано-видных и изоклиальных складок F_1 . Линейность колчановидных складок ориентирована в субширотном направлении, следовательно, ориентировки сжатия и надвигания, обусловившие формирование этих структур, также были ориентированы в субширотном направлении (здесь и далее в современных координатах), а сами структуры изначально имели субмеридиональное простирание. Следует отметить, что первый этап характеризуется самой высокой степенью деформации, обусловившей изгибание шарниров, изначально имевших субмеридиональное простирание. Очевидно, что при формировании складчатых структур первой генерации в обстановке простого сдвига в субгоризонтальной плоскости сначала образовывались асимметричные складки субмеридионального простирания, которые по мере увеличения степени деформации превращались в изоклиальные складчатые структуры. При достижении пика деформации происходило изгибание шарниров изоклиальных складок в направлении тектонического транспорта, приведшее к образованию колчановидных структур.

Второй этап деформации D2, выразившийся в формировании складок северной вергентности и, соответственно, субширотного простирания F_2 , характеризуется резкой сменой ориентировки тектонического транспорта по отношению к первому этапу деформации. Сжатие и тектонические движения второго этапа были направлены в северном направлении. Изоклиальные складки преобладают среди складок второй генерации, однако колчановидных складок среди них нет, что указывает на более низкую степень деформации в ходе второго этапа по сравнению с предыдущим. Вместе с тем, именно этот этап определил общую субширотную ориентировку крупных антиклиналей Тараташского выступа, в ядрах которых выходит куватальская толща (рис. 2).

Третий этап деформации D3 проходил в сдвиговых условиях. Характер складок F_3 , развитых в зонах послышной мигматизации, указывает на то, что их формирование происходило в условиях пластических деформаций, следовательно, мигматизация носила синкинематический характер. Полевые наблюдения указывают на то, что образование складок третьей генерации происходило в условиях левостороннего сдвига северо-восточного простирания, однако небольшое количество выявленных

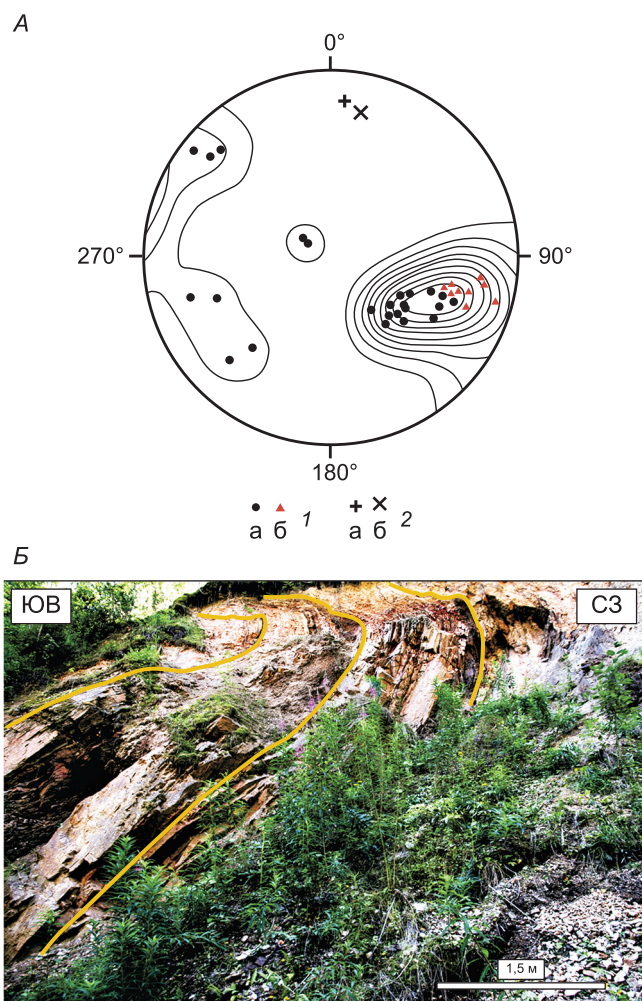


Рис. 6. Характер деформаций низкотемпературных тектонитов в стенках канала Изранда — Куса: А — структурная диаграмма залегания сланцеватости, полосчатости и линейных элементов в складках низкотемпературных динамосланцах по породам александровского комплекса, равноугольная проекция, верхняя полусфера, 36 замеров, 1 — структурные элементы залегания полюсов сланцеватости (а — нормальное залегание, б — опрокинутое залегание), 2 — линейные структурные элементы (а — шарниры, б — линейность). Б — сдвиговая складка в динамосланцах участка Изранда

сдвиговых складок не позволяет говорить с достаточной степенью уверенности, насколько масштабным было проявление данного этапа деформации в области развития тараташского метаморфического комплекса.

Переходя к структурной характеристике тектонитов, развитых в районе канала Изранда-Куса, следует отметить, что для него характерны складки западной и северо-западной вергентности, которые в свою очередь, по данным предшественников [Хотылев, 2014], деформируются несколько более поздними левосторонними сдвиговыми структурами. Подобная последовательность деформаций неизвестна в образованиях тараташского метаморфического комплекса. Учитывая то, что данные деформации присутствуют в низкотемпературных динамосланцах, развитых по метаморфическим породам, логично предположить, что эти деформации являются

более поздними, чем деформации тараташского комплекса, и относятся уже к палеозойской эпохе тектогенеза. Возможно, что и образование складок, опрокинутых в западных румбах, и левосдвиговых складок, было сближено во времени и маркирует единый процесс левосторонней транспрессии. Складки с подобными ориентировками широко развиты практически во всех структурно-формационных зонах южноуральского фрагмента Уральской складчатой области. Эти структуры относятся к последнему этапу деформации D4, существенно оторванному по времени от первых трех.

Что же касается возраста выделенных деформационных событий, то в отсутствие микроструктурных исследований, позволяющих построить структурно-метаморфическую шкалу, мы можем лишь предположить связь этапов деформации с этапами метаморфизма, ранее установленными в исследуемом районе. Возможно, наблюдаемое снижение степени деформации при переходе от первого ко второму этапу деформации соответствует также и снижению *P-T*-условий метаморфизма. В породах района наблюдается смена ранних парагенезисов минералов, отвечающих гранулитовой фации, более поздними, характерными для амфиболитовой фации. Наиболее поздние ассоциации соответствуют эпидот-амфиболитовой субфации и зеленосланцевой фации [Ронкин и др., 2012]. По данным [Ронкин и др., 2012] деформации происходили при переходе от гранулитовой к высокотемпературной амфиболитовой фации. Не исключено, что первая стадия метаморфизма может быть увязана с первым, а вторая — со вторым этапами деформации. Метаморфизм гранулитовой фации, по данным U-Pb датирования по цирконам, имеет возраст 2461 ± 36 млн лет [Ронкин и др., 2012], верхов амфиболитовой фации — 2264 ± 6 млн лет [Тевелев и др., 2017а; Сомсикова и др., 2022], более поздняя ассоциация — 2058 ± 12 и 2052 ± 5 [Сомсикова и др., 2022] — 2055 ± 45 [Ронкин и др., 2012] млн лет. Данные о втором этапе гранулитового метаморфизма с возрастом 2099 ± 30 млн лет, основанные на возрасте цирконов, сходных по морфологии с цирконами «гранулитового типа» [Пыстин и др., 2012], не находят своего отражения в смене минеральных парагенезисов тараташского метаморфического комплекса. В породах комплекса наблюдается единая регрессивная последовательность смены парагенезисов гранулитовой, амфиболитовой и зеленосланцевой фаций. Признаков более позднего этапа прогрессивного метаморфизма и смены парагенезисов амфиболитовой фации более поздними парагенезисами гранулитовой фации в породах не наблюдается. Возраст синкинематической мигматизации, происходившей, как представляется, во время последнего фиксируемого на данном участке деформационного события — 2044 ± 4 [Ронкин и др., 2012] — $2033,0 \pm 9,2$ [Тевелев и др., 2015] млн лет. Нетрудно заметить, что датировки, которые можно

связать с последними двумя этапами деформации, близки по времени, так что эти этапы были стадиями единой фазы тектогенеза.

Таким образом, изученные докембрийские деформационные события относятся к раннепротерозойской эпохе тектогенеза, причем первый этап, вероятно, относится к раннекарельскому, а два последних — к позднекарельскому времени. Раннедокембрийскую структурную эволюцию тараташского комплекса завершило формирование зон бластомилонитов, разделяющих Тараташский блок на несколько структур более высокого порядка [Тевелев и др., 2017б].

Раннедокембрийские датировки метаморфических пород александровского комплекса характеризуют лишь возраст самих этих пород. Низкотемпературные динамосланцы, развивавшиеся по этим породам, очевидно, были существенно моложе. Формирование структур левосторонней транспрессии в тектонитах по породам александровского комплекса, судя по датировкам белых слюд из этих пород ~ 300 млн лет [Ронкин и др., 2012], относится уже к герцинской эпохе позднепалеозойской межконтинентальной коллизии, завершившей структурную и геодинамическую эволюцию региона.

Выводы. 1. Формирование структуры тараташского метаморфического комплекса происходило в ходе трех этапов D1–D3 деформации.

2. Первый этап деформации D1 связан с формированием изоклинальных и колчановидных складок F_1 , образовавшихся в условиях субширотного (здесь и далее в современных координатах) сжатия и, соответственно, тектонического транспорта в ходе раннекарельской эпохи тектогенеза.

3. Второй этап деформации D2 маркируется формированием складок северной vergentности F_2 , образованных в условиях субмеридионального сжатия и тектонического транспорта в северном направлении в ходе позднекарельской эпохи тектогенеза.

4. Третий этап деформации D3 происходил в сдвиговых условиях и выразился в формировании левосторонних сдвиговых складок F_3 . Формирование структур второго и третьего этапов деформации было близким по времени, и эти этапы, вероятно, относятся одной и той же эпохе тектогенеза.

5. Структуры, развитые в тектонитах по метаморфическим породам александровского комплекса, сформировались в условиях левосторонней транспрессии и отвечают последнему этапу деформации D4, связанному с палеозойскими коллизионными процессами, окончательно оформившими структурный облик региона.

Благодарности. Авторы благодарят А.С. Аверьянову (МГУ, Москва, Россия) за помощь при проведении экспедиционных работ на Южном Урале.

Финансирование. Исследования выполнены в соответствии с Госзаданием ГИН РАН (FMMG-2023-0009).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Голионко Б.Г., Георгиевский А.А. Структурная эволюция южной части зоны распространения суваньянского метаморфического комплекса и его обрамления (Южный Урал) // Вестн. СПбГУ. Науки о Земле. 2023. Т.68, вып. 3. С. 553–579.
- Казаков А.Н. Деформации и наложенная складчатость в метаморфических комплексах. Л.: Наука, 1976. 237 с.
- Кирмасов А.Б. Основы структурного анализа. М.: Научный мир, 2011. 368 с.
- Ленных В.И., Петров В.И. Гранулитовый метаморфизм и этапы диафтореза пород тараташского комплекса // Тез. докл. Третьего Уральского петрографического совещания. Т. 1. Свердловск, 1974. С. 49–52.
- Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
- Пыстин А.М., Ронкин Ю.Л., Синдерн С., Пыстина Ю.И. Геохронологическая история метаморфизма пород до-рифейских образований Южного Урала // Вестн. Ин-та геологии Коми НЦ Уро РАН. 2012. Т. 215. Вып. 11. С. 2 — 8.
- Ронкин Ю.Л., Синдерн С., Лепехина О.П. Изотопная геология древнейших образований Южного Урала // Литосфера. 2012. № 5. С. 50–76.
- Сомсикова А.В., Аносова М.О., Федотова А.А. и др. Изотопно-геохимические особенности мигматитов тараташского метаморфического комплекса (Южный Урал) // Геохимия. 2022. Т. 67, № 10. С. 903–920.
- Тевелев Ал.В., Кошелева И.А., Тевелев Арк.В. и др. Новые данные об изотопном возрасте тараташского и александровского метаморфических комплексов (Южный Урал) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2015. № 1. С. 27–42.
- Тевелев Ал.В., Мосейчук В.М., Тевелев Арк.В., Шкурский Б.Б. Распределение значений возраста цирконов в метаморфитах Тараташского блока Южного Урала (исходный провенанс-сигнал) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2017а. № 4. С. 15–19.
- Тевелев Ал.В., Тевелев Арк.В., Федорчук В.А. и др. Тараташский индентор и его роль в строении Урала // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2017б. № 1. С. 3–11.
- Хотылев А.О. Строение, состав и история развития раннепротерозойского александровского комплекса (Южный Урал) // Тектоника складчатых поясов Евразии: сходство, различие, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения: Мат-лы XLVI Тектонического совещания. Т. II. М.: ГЕОС, 2014. С. 276–280.
- Tuner F.J., Weiss L.E. Structural analyses of metamorphic tectonites. N.Y.: Hill Book Co, 1963. 545 p.
- Ramsay J.G., Huber M. The Techniques of Modern Structural Geology. Vol. 2. Folds and Fractures. L.; N.Y.: Academic Press, 1987. 700 p.

Статья поступила в редакцию 05.03.2026,
одобрена после рецензирования 18.03.2026,
принята к публикации 24.06.2026