



STAGES OF DEFORMATION OF THE UPPER NEOPROTEROZOIC COMPLEXES IN THE NORTHEAST OF THE CENTRAL TAIMYR TECTONOC ZONE

K.S. Dodonov ^{1,2}✉, A.K. Khudoley ^{1,2}, V.F. Proskurnin ², M.Yu. Kurapov ^{1,2}, A.A. Bagaeva ²

¹ Saint Petersburg University, 7/9 Universitetskaya Emb, Saint Petersburg 199034, Russia

² Karpinsky Russian Geological Research Institute, 74 Sredny Ave, Saint Petersburg, 199106, Russia

ABSTRACT: A study has been made of the morphological characteristics of the Upper Proterozoic rocks and their shear sense indicators in the island-arc complex of the northeastern Central Taimyr tectonic zone near the Main Taimyr fault. The structural kinematic studies have made it possible to identify, to characterize and to specify the geodynamic position of the first-stage deformations related by the authors to the Late Neoproterozoic (Ediacaran) orogeny. The first-stage deformation structures are common in the Upper Neoproterozoic metamorphic rocks and represented by the north-west-overtaken folds, complex shear zones with C/S structures, and sheath folds indicative of the northwest-trending thrusting. The preserved first-stage deformation structures may be a relic of the suprasubduction accretionary prism formed in the Late Neoproterozoic. The deformations are almost absent in tectonic plates of the upper part of the accretionary prism, being more common in its deeper part. The second-stage (Late Paleozoic) structures are characterized by the east-southeast right-lateral reverse thrust movement along the NE-SW faults and are superimposed on the first-stage structures. The third-stage structures, corresponding to the Mesozoic orogeny for the study area, are a local occurrence and have the displacement similar to that of the first deformation stage, though they are represented by brittle left-lateral strike-slip deformations. Besides, at the third stage there is a partial reactivation of the earlier faults.

KEYWORDS: Taimyr-Severnaya Zemlya fold and thrust belt; Arctic; tectonic evolution; structural geology; shear sense indicators; Neoproterozoic; photogrammetry

FUNDING: The study was carried out on the state assignment of the Federal Agency for Mineral Resources (project No. 049-00003-24-00).



EDN: DAWTKN

RESEARCH ARTICLE

Correspondence: Kirill S. Dodonov, kirill.dodonov.spb@gmail.com

Received: March 10, 2025

Revised: July 11, 2025

Accepted: July 14, 2025

FOR CITATION: Dodonov K.S., Khudoley A.K., Proskurnin V.F., Kurapov M.Yu., Bagaeva A.A., 2025. Stages of Deformation of the Upper Neoproterozoic Complexes in the Northeast of the Central Taimyr Tectonoc Zone. *Geodynamics & Tectonophysics* 16 (4), 0842. doi:10.5800/GT-2025-16-4-0842

ЭТАПЫ ДЕФОРМАЦИЙ ВЕРХНЕНЕОПРОТЕРОЗОЙСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ ЦЕНТРАЛЬНО-ТАЙМЫРСКОЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

К.С. Додонов^{1,2}, А.К. Худолей^{1,2}, В.Ф. Проскурнин², М.Ю. Курапов^{1,2}, А.А. Багаева²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, наб. Университетская, 7-9, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, 199106, Санкт-Петербург, пр-т Средний, 74, Россия

АННОТАЦИЯ. Проведено исследование морфологических характеристик структуры и кинематических индикаторов в породах верхненеопротерозойского островодужного комплекса северо-восточной части Центрально-Таймырской тектонической зоны вблизи Главного Таймырского разлома. Структурно-кинематические исследования позволили выделить, охарактеризовать и уточнить геодинамическую позицию деформаций первого этапа, соотносимых авторами с поздненеопротерозойской (эдиакарской) фазой складчатости. Структуры первого этапа развиты в метаморфических породах верхнего неопротерозоя и представлены опрокинутыми на северо-запад складками, сложнодеформированными зонами смятия с сопутствующими С/С структурами, а также колчановидными складками, указывающими на надвигание в северо-западном направлении. Сохранившиеся структуры первого этапа деформаций могут являться реликтом надсубдукционной аккреционной призмы, сформировавшейся в позднем неопротерозое. Деформации в тектонических пластинах в верхней части аккреционной призмы практически отсутствуют, тогда как в более глубокой ее части проявлены интенсивнее. Структуры второго (позднепалеозойского) этапа характеризуются взбросо-надвиговыми перемещениями в восток-юго-восточном направлении с правосдвиговой компонентой по разломам северо-восток-юго-западного простирания и наложены на структуры первого этапа. Структуры третьего этапа, соотносимые с мезозойской фазой складчатости для исследуемой территории, развиты локально и характеризуются направлением перемещений, сходным с таковым для первого этапа деформаций, но представлены хрупкими нарушениями с левосдвиговой компонентой перемещений. Кроме того, на третьем этапе происходит частичная реактивация разломов более ранних этапов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Таймыро-Североземельская складчато-надвиговая область; Арктика; тектоническая эволюция; структурная геология; кинематические индикаторы; неопротерозой; фотограмметрия

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Исследование проведено в рамках госзадания Федерального агентства по недропользованию (проект №049-00003-24-00).

1. ВВЕДЕНИЕ

В Таймыро-Североземельском орогене выделяют три структурные зоны: Северо-, Центрально- и Южно-Таймырская. Тектоническими границами между зонами являются Главный Таймырский с Диабазовым и Пясино-Фадеевский разломы (рис. 1, а) [Bezzubtsev et al., 1986; Uflyand et al., 1991; Vernikovskiy, 1996]. В Северо-Таймырской тектонической зоне, выделяемой также как южная часть Карского блока или террейна, наиболее интенсивно проявились позднепалеозойские деформации, тогда как в Южно-Таймырской зоне – раннемезозойские [Pogrebitsky, 1971; Vernikovskiy, 1996; Khudoley et al., 2018; Zhang et al., 2018; Kurapov et al., 2020; Vernikovskiy et al., 2020]. В Центрально-Таймырской тектонической зоне, наряду с позднепалеозойскими и раннемезозойскими деформациями, отмечается широкое развитие неопротерозойских деформаций [Ravich, Chaika, 1962; Pogrebitsky, 1971; Bezzubtsev et al., 1986; Zabiya et al., 1986; Uflyand et al., 1991; Vernikovskiy, 1996; Pease et al., 2001; Vernikovskiy, Vernikovskaya, 2001; Proskurnin et al., 2003; Vernikovskiy et al.,

2004, 2011; Pease, Scott, 2009; Metelkin et al., 2012; State Geological Map..., 2013; Priyatkin et al., 2017]. Несмотря на проводившиеся исследования, детальная структурно-геологическая характеристика тектонических событий и кинематика разрывных нарушений на разных этапах эволюции региона остаются дискуссионными и требуют конкретизации.

Объектом исследования в настоящей работе являются разновозрастные структуры и направления перемещений, наблюдаемые в породах верхнего неопротерозоя Центрально-Таймырской тектонической зоны в разрезах, составленных вкрест простирания региональных структур.

Изученные разрезы расположены на п-ове Челюскин и на о. Старокадомского, входящих в состав архипелага Северная Земля (рис. 1, б). Район исследований располагается вблизи сочленения Центрально-Таймырской и Северо-Таймырской тектонических зон, граница между которыми проходит по Главному Таймырскому разлому (ГТР) (рис. 1, а, б) [Bezzubtsev et al., 1986; Zabiya et al., 1986; Uflyand et al., 1991; Vernikovskiy,

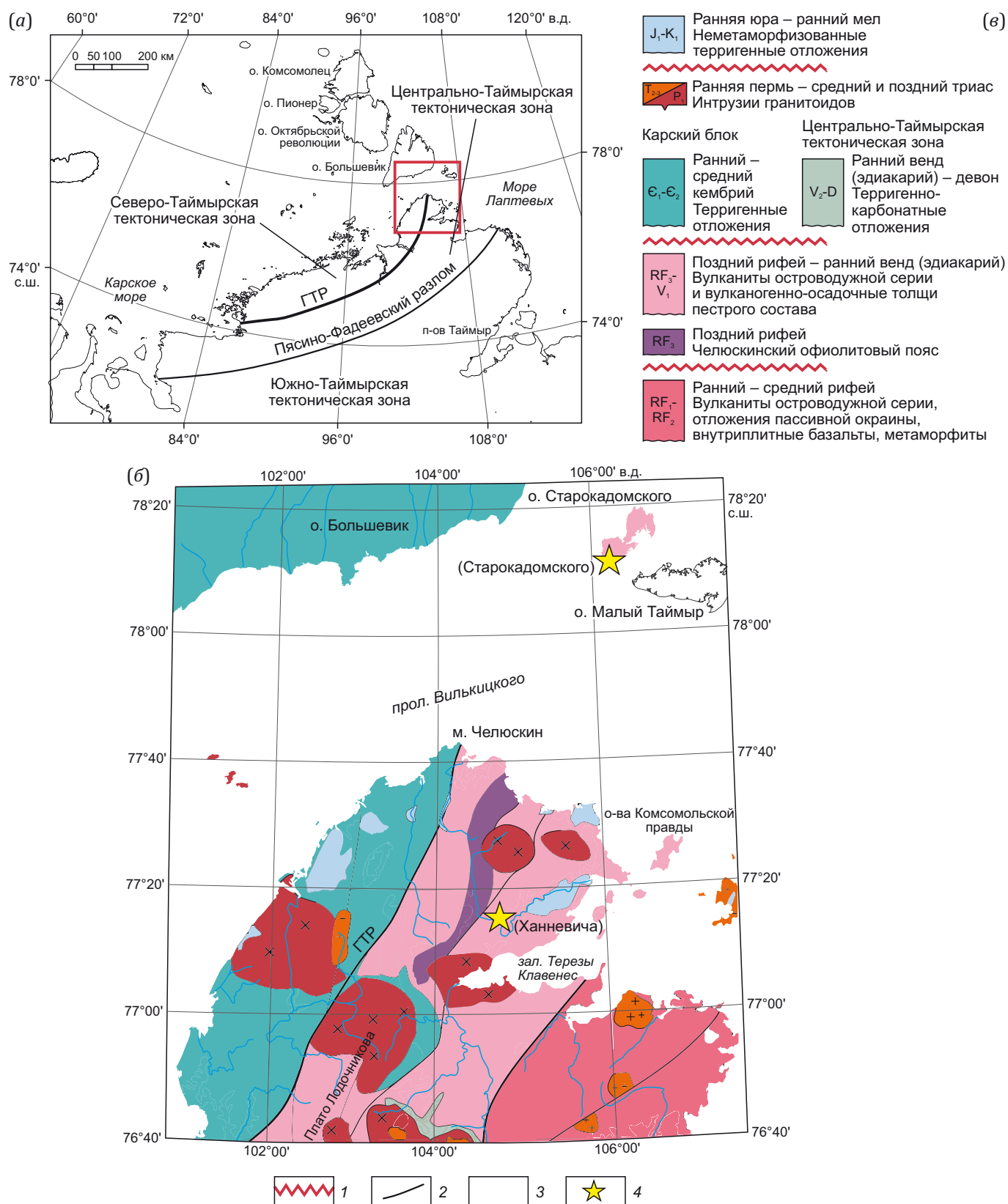


Рис. 1. Схема тектонического районирования Таймыро-Североземельской складчато-надвиговой области (а) [Vernikovskiy, 1996] и упрощенная геологическая схема дочетвертичных образований (б) с легендой (в) на основе [State Geological Map..., 2000, 2013]. 1 – угловые несогласия; 2 – разрывные нарушения; 3 – акватория и территория, скрытая четвертичными отложениями; 4 – расположение разрезов.

Fig. 1. A scheme of tectonic zoning of the Taimyr-Severnaya Zemlya fold and thrust belt (a) [Vernikovskiy, 1996] and a simplified geological map of the pre-Quaternary rocks (б) with a legend (в) based on [State Geological Map..., 2000, 2013]. 1 – angular unconformities; 2 – faults; 3 – water area and hidden area underneath the Quaternary sediments; 4 – section locations.

1996]. ГТР разделяет неопротерозойские породы остроугольных серий пестрого состава и верхнеэдиакарско-среднепалеозойские терригенно-карбонатные отложения пассивной окраины Сибири [State Geological Map..., 2000; Proskurnin et al., 2003] Центрально-Таймырской тектонической зоны и нижнепалеозойские [Lorenz et al., 2008; Ershova et al., 2017] породы флишеидного облика, относящиеся к отложениям Карского блока (рис. 1, б, в) [Vernikovskiy, 1996].

Породы неопротерозойского возраста слагают нижний структурный ярус. Они перекрыты с угловым несогласием отложениями верхнего эдиакария – среднего палеозоя, которые формируют средний структурный ярус. Эти породы прорваны позднепалеозойско-раннемезозойскими интрузиями гранитоидов [Zabiyaka et al., 1986; Vernikovskiy, 1996; State Geological Map..., 2000; Kurapov et al., 2020; Vernikovskiy et al., 2020] и перекрыты с резким угловым несогласием отложениями юрско-раннемелового возраста [State Geological Map..., 2000, 2013; Schneider, 2020], слагающими верхний структурный ярус.

2. МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Тектоническая структура пород верхнего неопротерозоя определялась в ходе составления детальных геологических разрезов с выявлением в них литолого-стратиграфической последовательности. При проведении структурных исследований замерялись плоскостные и линейные элементы. Результаты замеров представлены на сетке Шмидта, в проекции нижней полусферы, и обрабатывались в программе Stereonet [Allmendinger et al., 2012]. Определение нормального или опрокинутого залегания основывалось главным образом на соотношении кливажа и слоистости, а в структурах на о. Старокадомского также и на разном характере контакта в кровле и подошве пиллоу-лав [Koronovskiy, 2006]. Последнее было возможным благодаря достаточно хорошей сохранности первичных текстур. Степень метаморфизма изучавшихся пород варьируется от зеленосланцевой до эпидот-амфиболитовой фации. В породах, подвергшихся зеленосланцевому метаморфизму, отчетливо распознается первичная осадочная слоистость. При более высокой степени метаморфических преобразований в породах широко развиты биотит и мусковит, которые ориентированы параллельно слоистости. Тем не менее данная плоскостная структура уже является метаморфической и авторы далее рассматривают ее как сланцеватость. Параллельно с составлением разрезов производилось документирование индикаторов направления перемещения (кинематических индикаторов) в породах обнажений и отбор ориентированных образцов. Было отобрано 20 ориентированных образцов, по каждому из которых были сделаны шлифы в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Обе плоскости были ориентированы перпендикулярно сланцеватости или же слоистости, при этом одна плоскость была ориентирована

по простиранию, а вторая – по падению сланцеватости/слоистости. Изготовление ориентированных шлифов производилось в Центральной аналитической лаборатории Института Карпинского, а съемка – в ресурсном Центре микроскопии и микроанализа Научного парка СПбГУ. Для съемки использовался микроскоп Leica с микропозиционным столиком. Точки отбора ориентированных образцов показаны на схеме к разрезу по р. Ханневича (рис. 2). Далее проводился анализ структур в шлифах, указывающих на направление перемещения пород в ходе деформации, и сопоставление их с макроструктурными кинематическими индикаторами. Идентификация кинематических индикаторов основывалась на работах [Passchier, Trouw, 2005; Trouw et al., 2010]. Использование колчановидных складок как кинематических индикаторов основано на модели их формирования в ходе прогрессивной деформации [Minnigh, 1979; Cobbold, Quinquis, 1980; Passchier, Trouw, 2005]. Также было проведено дешифрирование деформационных структур на 3D-модели разреза пород на о. Старокадомского. 3D-модель была получена методом фотограмметрии. Математический аппарат данного метода подробно описан в работе [Krasnopevtsev, 2008]. Съемка велась с промышленного квадрокоптера «DJI Mavic 3 Enterprise», а обработка фотографий с географической привязкой и построение на их основе 3D-модели были произведены в программе «Agisoft Metashape Pro» (версия 2.02). Модель была построена в масштабе 1:1 с разрешением 1 пиксель на 10 см.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. Каньон реки Ханневича

В ходе составления опорного разреза было установлено чередование эффузивных пород среднего – основного состава, гипабиссальных пород основного состава, пачек вулканогенно-осадочных пород с карбонатными прослоями, кварцитов по риолитам и песчаникам, относимых, согласно [State Geological Map..., 2000, 2008], к эдиакарской лаптевской свите (рис. 2, б). Стратиграфическая последовательность выделенных пачек вулканических и вулканогенно-осадочных пород характеризуется постепенной сменой состава в сторону более насыщенных кремнеземом пород вверх по разрезу. Так, массивные метаандезитобазальты постепенно переходят в метаандезиты и метадациты с прослоями метатифов, которые, в свою очередь, сменяются чередованием небольших (мощность не более 5 м) покровов эффузивов дацит-андезитового состава, их метатифов и кварц-биотитовых сланцев по осадочным породам. Выше в разрезе преобладают терригенные породы (рис. 2, б). Несколько обособленно выделяются габбро-долериты (рис. 2, б), залегающие субсогласно со вмещающими породами в форме силла, но ограниченные тектоническими контактами (рис. 2, а, г). Породы в каньоне р. Ханневича повсеместно пронизаны будинированными кварц-карбонатными жилами.

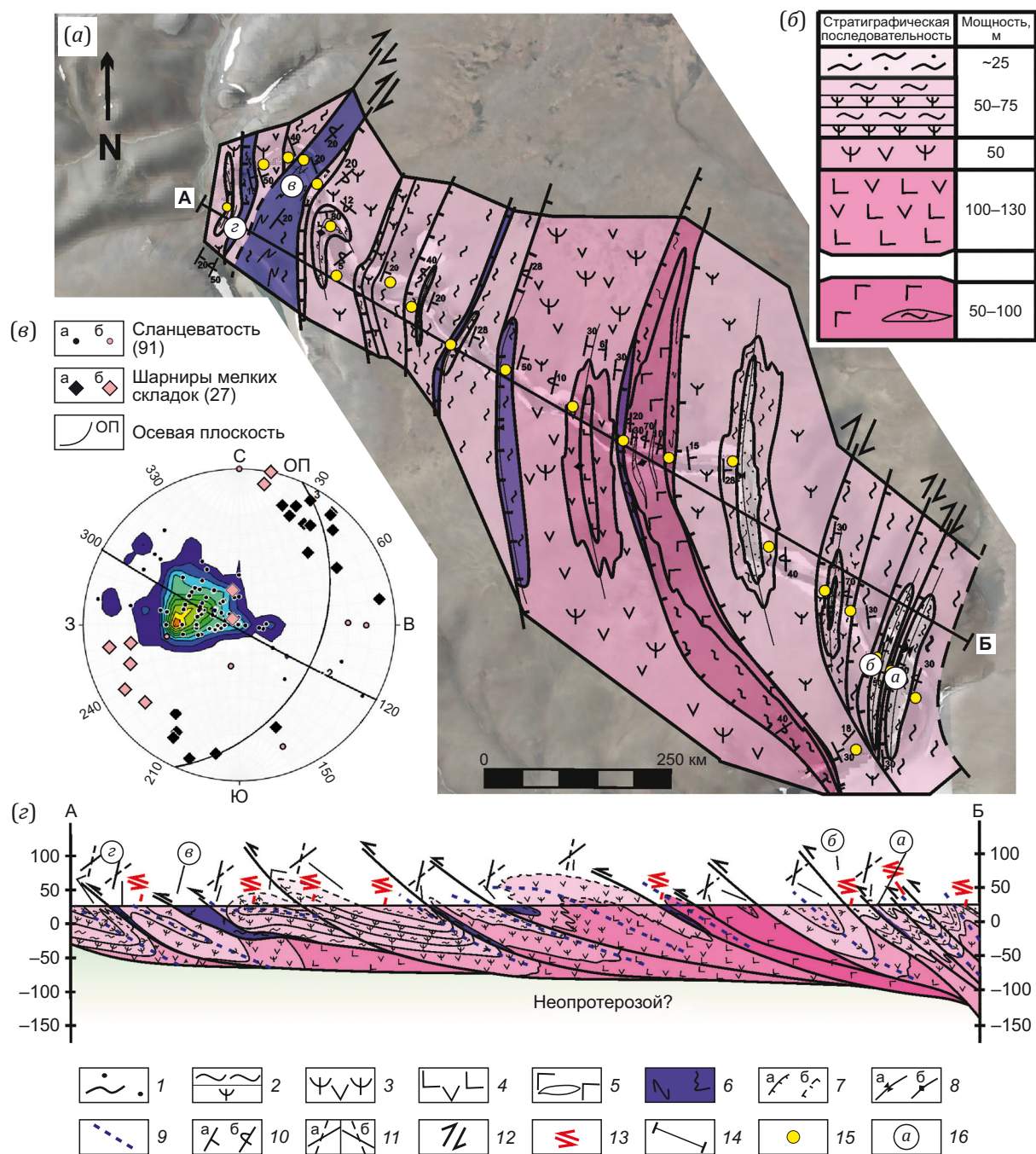


Рис. 2. Геологическая карта (а), стратиграфическая колонка (б), сетка Шмидта с вынесенными замерами элементов залегания (в) и разрез (д) вдоль каньона р. Ханневича.

Количество замеров показано в скобках. 1 – кварциты и кварц-мусковитовые сланцы; 2 – метатUFFы дацитов и андезитов в чередовании с кварц-биотитовыми сланцами; 3 – метаандезиты и их туфы; 4 – метаандезиты и metabasalts; 5 – габбро-долериты и пестроцветные сланцы; 6 – сложнодеформированные зоны смятия; 7 – тектонические нарушения: достоверные (а) и предполагаемые (б); 8 – осяевые плоскости основных синклиналей (а) и антиклиналей (б) (на карте); 9 – осяевые плоскости на разрезе; 10 – генерализованные падения слоистости/сланцеватости в породах с указанием нормального (а) и опрокинутого залегания (б); 11 – соотношение залегания кливажа и слоистости (на разрезе): кливаж круче (а) или положе слоистости (б); 12 – направление перемещений, определявшееся по кинематическим индикаторам в обнажениях или шлифах; 13 – направление перемещений тектонических пластин (интерпретация данных по кинематическим индикаторам); 14 – линия разреза; 15 – точки отбора ориентированных образцов; 16 – места фотографии с рис. 3. Пункты (а) и (б) в легенде к сетке Шмидта характеризуют пространственное положение замеров в разрезе на удалении (а) и вблизи (б) разрывных нарушений соответственно. Расположение разреза показано на рис. 1.

Fig. 2. Geological map (а), stratigraphic column (б), Schmidt net with the strike and dip measurements (в) and cross-section along the canyon of the Khanneevich River.

A number of measurements is shown in brackets. 1 – quartzites and quartz-muscovite shales; 2 – dacitic to andesitic metatUFFs alternating with quartz-biotite shales; 3 – metaandesites and their tuffs; 4 – metaandesites and metabasalts; 5 – gabbro-dolerites and pестроцветные shales; 6 – complexly deformed zones of folding; 7 – tectonic disturbances: reliable (а) and suspected (б); 8 – axial planes of main synclines (а) and anticlines (б) (on map); 9 – axial planes on the section; 10 – generalized bedding/foliation dips in rocks with indication of normal (а) and overturned (б) bedding; 11 – relationship of cleavage and bedding (on section): cleavage steeper (а) or shallower (б) than bedding; 12 – direction of movements determined by kinematic indicators in outcrops or thin sections; 13 – direction of movements of tectonic plates (interpretation of data by kinematic indicators); 14 – line of section; 15 – points of sampling of oriented samples; 16 – places of photographs with Fig. 3. Points (а) and (б) in the legend to the Schmidt net characterize the spatial position of measurements in the section at distance (а) and near (б) of fracture disturbances respectively. The location of the section is shown in Fig. 1.

variegated shales; 6 – complex shear zones; 7 – faults: reliable (a) and inferred (6); 8 – axial planes of the main synclines (a) and anticlines (6) (on the map); 9 – axial planes in cross-section; 10 – generalized dips of bedding/foliation in rocks, indicating normal (a) and overturned bedding (6); 11 – cleavage/bedding relationship (in cross section): cleavage steeper (a) or lower-grade (6) than bedding; 12 – shear sense indicators in outcrops and thin sections; 13 – direction of movement of tectonic plates (interpreting information from shear sense indicators); 14 – cross-section line; 15 – oriented sampling points; 16 – photo locations from Fig. 3. Points (a) as well as in the legend to the Schmidt net (6) characterize the spatial distribution of measurement locations in the section far from (a) and near (6) the faults, respectively. Section location is shown in Fig. 1.

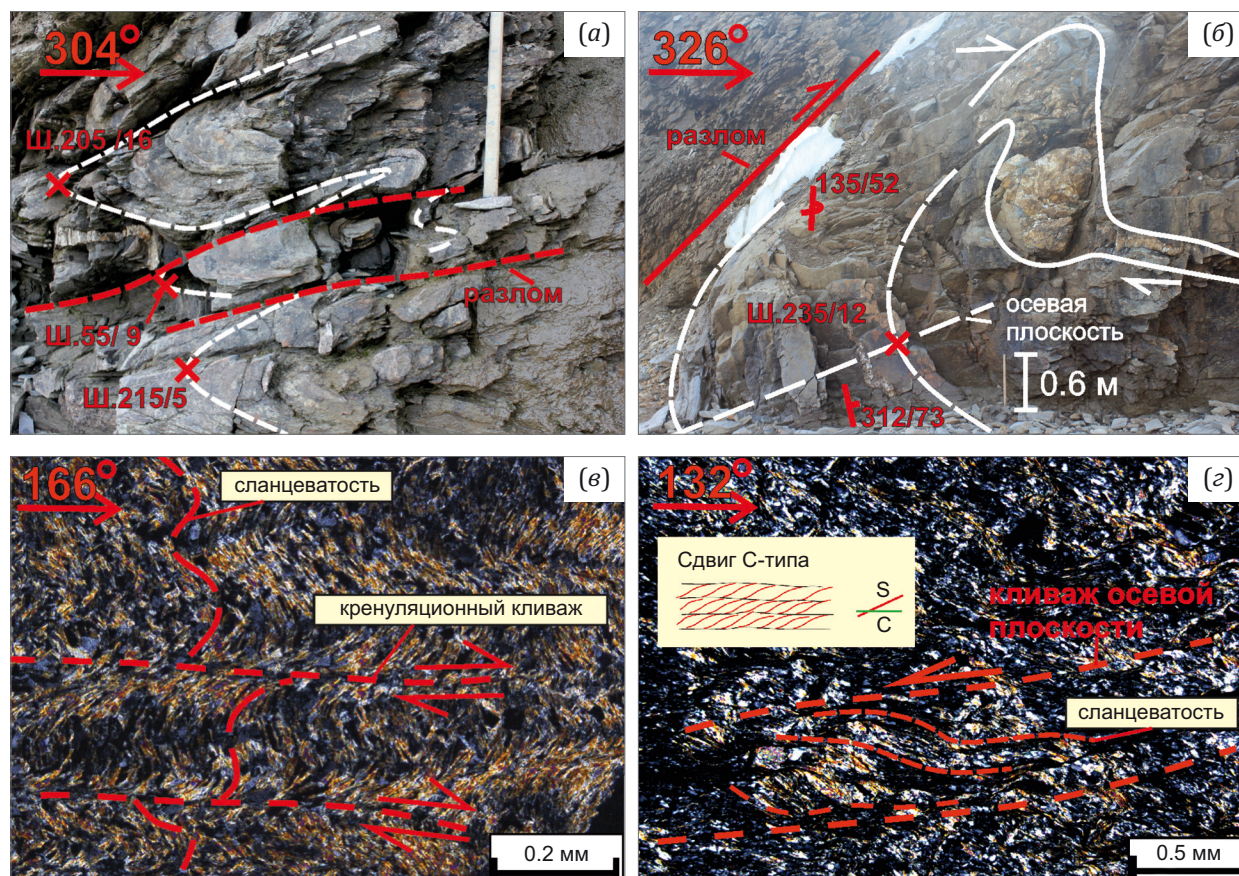


Рис. 3. Характерные типы деформаций, наблюдаемых в породах каньона р. Ханневича (шарниры складок показаны красными крестиками).

(a) – сложнодеформированные пачки в кварцитах по риолитам; (б) – опрокинутая синформная складка с деформированной в δ -образную структуру кварцевой жилы; (в) – кренуляционный кливаж в кварц-биотитовых сланцах; (г) – наложенная C/S структура [Trouw et al., 2010] в кварц-биотитовых сланцах.

Fig. 3. Major types of deformations observed in the rocks of the Khannevir River canyon (fold bends are marked by red crosses). (a) – highly deformed bands in rhyolite-based quartzites; (б) – an overturned synformal fold with a quartz vein deformed into the δ -shaped structure; (в) – crenulation cleavage in quartz-biotite shales; (г) – superimposed C/S structure [Trouw et al., 2010] in quartz-biotite shales.

Описанные выше пачки залегают в тектонических пластинах со структурами северо-западной вергентности (рис. 2, а, в), поверхность срыва которых в большинстве случаев располагается в толще сланцев (рис. 3, г). Для пород характерны пластические деформации, происходившие в процессе метаморфизма от верхов зеленосланцевой до эпидот-амфиболитовой фации. Породы смяты в сложные опрокинутые, близкие к лежащим, складки различного размера, с пологопадающими на юго-восток осевыми плоскостями (см. рис. 2, в, г).

Сами складки имеют параболический тип замка от сжатых до закрытых по классификации [Fleuty, 1964] (см. рис. 2, г). На сетке Шмидта видно (см. рис. 2, в), что большинство шарниров мелких складок ориентировано параллельно генерализованной осевой плоскости. В то же время некоторые шарниры складок практически перпендикулярны к ней. Последние задокументированы вблизи разрывных нарушений (см. рис. 2, в), и такая их ориентировка является, вероятно, результатом более молодых тектонических процессов. Рядом с дизъюнктивами также присутствуют мощные,

до 10 м, сложнодеформированные зоны смятия, в которые вовлечены как осадочные, так и вулканические породы (см. рис. 2). Плоскости сместителей надвигов и взбросов падают на юго-восток и ориентированы преимущественно параллельно осевым плоскостям складок в этих зонах.

Индикаторы перемещения в породах представлены δ -образными структурами, образованными фрагментами кварцевых жил (рис. 3, б), S – складками, а также S/C структурами, которые свойственны для кварц-биотитовых сланцев и характеризуются сечением сланцеватости (S), образованной по слоистости, кливажом осевой плоскости (C) (рис. 3, г). В сложнодеформированных зонах смятия присутствует кренуляционный кливаж (рис. 3, в). Он параллелен малоамплитудным разломам, которые, в свою очередь, параллельны осевым плоскостям складок северо-западной вергентности (рис. 3, а). Все достоверные кинематические индикаторы указывают на перемещение пород в северо-западном направлении.

3.2. Разрез на острове Старокадомского

В пределах юго-западной части о. Старокадомского (см. рис. 1, б) развиты вулканогенно-осадочные породы, коррелируемые с островодужными сериями верхнего неопротерозоя [State Geological Map..., 2013]. В видимом основании данной толщи залегают черные метатUFFиты алевритово-глинистой размерности. Выше они начинают переслаиваться с псаммит-лапиллиевыми метатUFFами, а еще выше – с лавовыми потоками metabазальтов. Последние в верхней части разреза преобладают (рис. 4, б). Степень метаморфизма пород не превышает зеленосланцевой фации.

В отличие от разреза вдоль каньона р. Ханневича, для структуры о. Старокадомского характерна восток-юго-восточная вергентность большинства тектонических пластин (рис. 4, а, в).

Выделяются три этапа деформаций. Структуры первого этапа в значительной степени переработаны в ходе более молодых тектонических процессов и распознаются только локально. Они диагностируются исключительно в наиболее мощных пачках метатUFFитов и представлены зонами смятия с пластическими деформациями. Деформации данного этапа представлены опрокинутыми на северо-запад складками, шарниры которых ундулируют при погружении по азимуту около 20–55° (рис. 5, а). Углы падения осевых плоскостей данных складок также изменчивы – от пологих до крутых (см. рис. 4, а; рис. 5, а). Осевые плоскости складок ориентированы параллельно разрывным нарушениям, которые маркируют видимую нижнюю границу пачек метатUFFитов (см. рис. 4, в; рис. 5, а). Вблизи тектонических контактов пачек развиты колчановидные складки, однообразная форма которых указывает на перемещение пород в северо-западном направлении (см. рис. 4, в; рис. 5, б, в).

Наиболее широко проявлен второй этап деформаций, в значительной степени и сформировавший струк-

туру, наблюдаемую на юго-западе о. Старокадомского (см. рис. 4). Вторым этапом деформаций содержит структуры двух фаз: первой пластических и второй хрупких деформаций. Объединение структур данных фаз в единый этап деформаций условно и основано на сходстве кинематических характеристик, а именно взбросо-надвиговых перемещений в восток-юго-восточном направлении с праводвиговой компонентой перемещений по разломам северо-восток-юго-западного простирания.

Шарниры складок, формирование которых связано с фазой пластических деформаций второго этапа, полого погружаются по азимутам от 5 до 25° или около 200°. Сами складки, в преобладающем количестве, запрокинуты на восток-юго-восток, закрытые [Fleuty, 1964] (см. рис. 4, в). Индикаторы перемещений в большинстве случаев представлены σ - и δ -образными структурами в будинированных прослоях лапиллиевых метатUFFов и тремолит-актинолитовых прожилках (рис. 6, а, б). Индикаторами второй фазы хрупких деформаций являются зеркала скольжений и системы сопряженных трещин, указывающих на северо-запад-юго-восточную ориентировку оси сжатия (рис. 6, в, г).

Стоит отметить, что деформации в покровах metabазальтов гораздо более простые относительно наблюдавшихся в пачках вулканокластического состава. Современная структура metabазальтов представлена как результат деформаций второго этапа – породы смяты в простые складки (рис. 7, а).

Разница в пространственной ориентировке структурных элементов первого и второго этапа, которые отмечены красным и оранжевым цветом соответственно, составляет от 30 до 40° (рис. 8). Азимуты погружения длинных осей колчановидных складок, сформировавшихся на первом этапе деформаций, отличаются на 180° и близки либо 330°, либо к 150° (рис. 8). Противоположные погружения длинных осей колчановидных складок, при сохранении единого северо-западного направления перемещений, являются результатом более молодых деформаций, которые авторы связывают со вторым этапом. Значительные изменения в углах погружения шарниров мелких складок первого этапа, вероятно, так же связаны с их поворотом в ходе деформаций второго этапа (рис. 8).

Третий этап деформаций слабо проявлен и выделяется по аналогии с соседними регионами, где деформации со сходными характеристиками развиты значительно шире [Khudoley et al., 2018]. На о. Старокадомского структуры, сформировавшиеся на этом этапе, представлены малоамплитудными разрывными нарушениями (хрупкие деформации), параллельными простиранию ГТР с преобладанием леводвиговых перемещений (см. рис. 1, а, б). Пример деформаций третьего этапа приведен на рис. 9, где кварцевая жила ориентирована перпендикулярно оси растяжения, определяемой по сопряженным трещинам второго этапа, но при этом смещена вдоль более молодого разлома (левого сдвига), относимого авторами к деформациям третьего

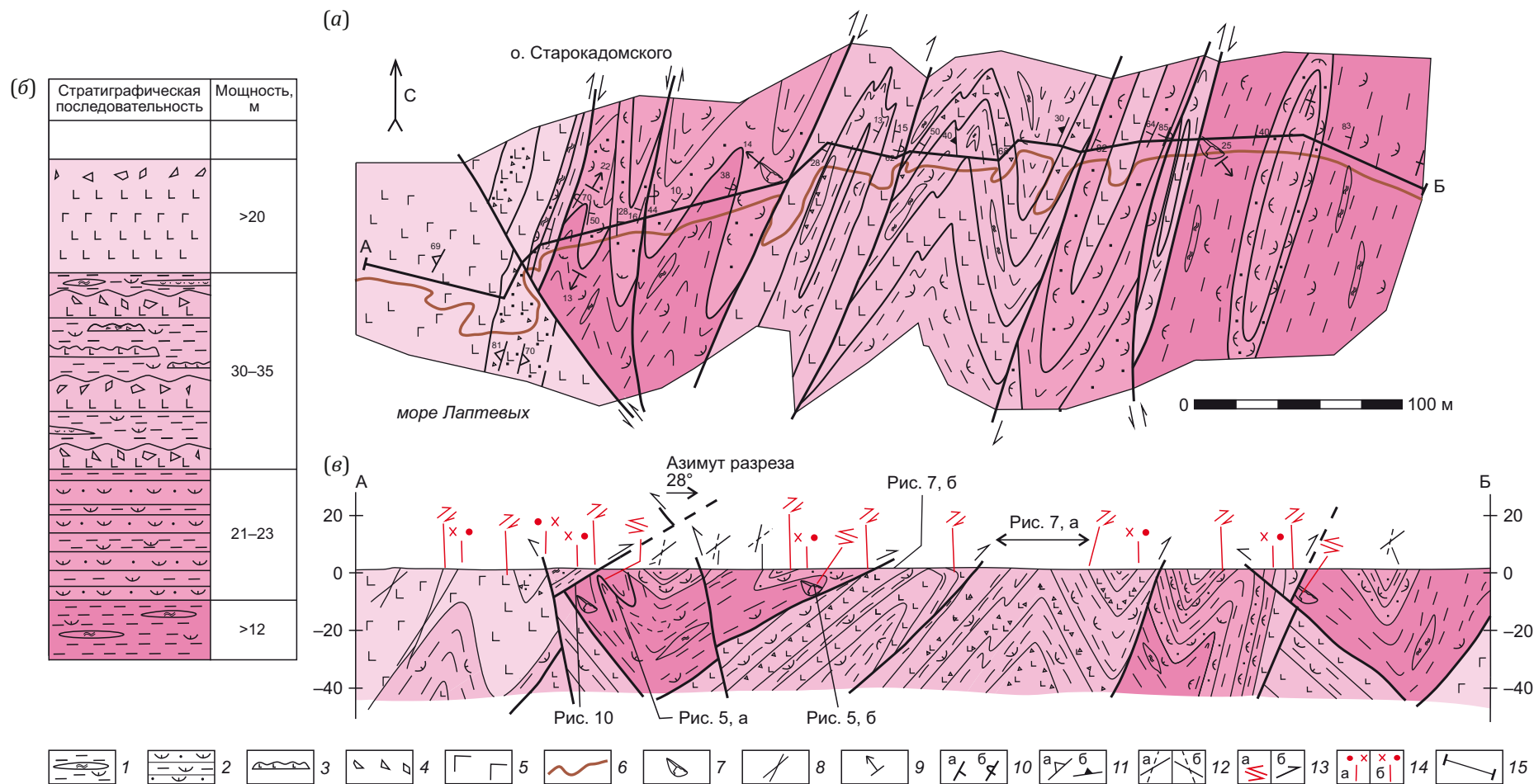


Рис. 4. Геологическая карта (а), стратиграфическая колонка (б) и разрез (в) юго-западной части о. Старокадомского.

1 – черные метатUFFиты алевроитоглинистой размерности базальтового состава; 2 – переслаивание псаммит-лапиллиевых метатUFFов и алевроаргиллитовых метатUFFитов; 3 – пиллоу-лавы; 4 – металавообреккии; 5 – амфиболизированные габбро мелко- и среднекристаллические; 6 – береговая линия; 7 – колчановидные складки; 8 – системы сопряженных трещин (на разрезе); 9 – погружение шарниров складок; 10 – генерализованные падения слоистости в породах с указанием нормального (а) и опрокинутого залегания (б); 11 – кливаж (а), сланцеватость (б); 12 – соотношения залегания кливажа к слоистости (на разрезе): кливаж круче (а), положе слоистости (б); 13 – направление перемещений: по кинематическим индикаторам, наблюдаемым в обнажениях или шлифах (а) и тектонических пластинах (интерпретация данных по кинематическим индикаторам) (б); 14 – индикаторы направления перемещения пород с левосдвиговой (а) и правосдвиговой (б) составляющей; 15 – линия разреза. Расположение разреза показано на рис. 1.

Fig. 4. Geological map (a), stratigraphic column (б) and cross-section (в) of the southwest of the Starokadomsky Island.

1 – black silt-clay metatuffites of basaltic composition; 2 – intercalation of psammitic-lapilli metatuffites and silt-clay metatuffites; 3 – pillow lavas; 4 – metalava breccias; 5 – amphibolized fine to medium-grained gabbro; 6 – coastal line; 7 – sheath folds; 8 – systems of conjugate fractures (in cross-section); 9 – plunge of fold bends; 10 – generalized dips of bedding indicating normal (a) and overturned (б) bedding; 11 – cleavage (а) foliation (б); 12 – the cleavage/bedding relationship (in cross-section): cleavage steeper (а) or lower-grade (б) than bedding; 13 – direction of movements according to shear sense indicators in outcrops or thin sections (а) and in tectonic plates (interpreting information from shear sense indicators) (б); 14 – indicators of the sinistral (а) and dextral (б) sense of shear; 15 – cross-section line. Section location is shown in Fig. 1.

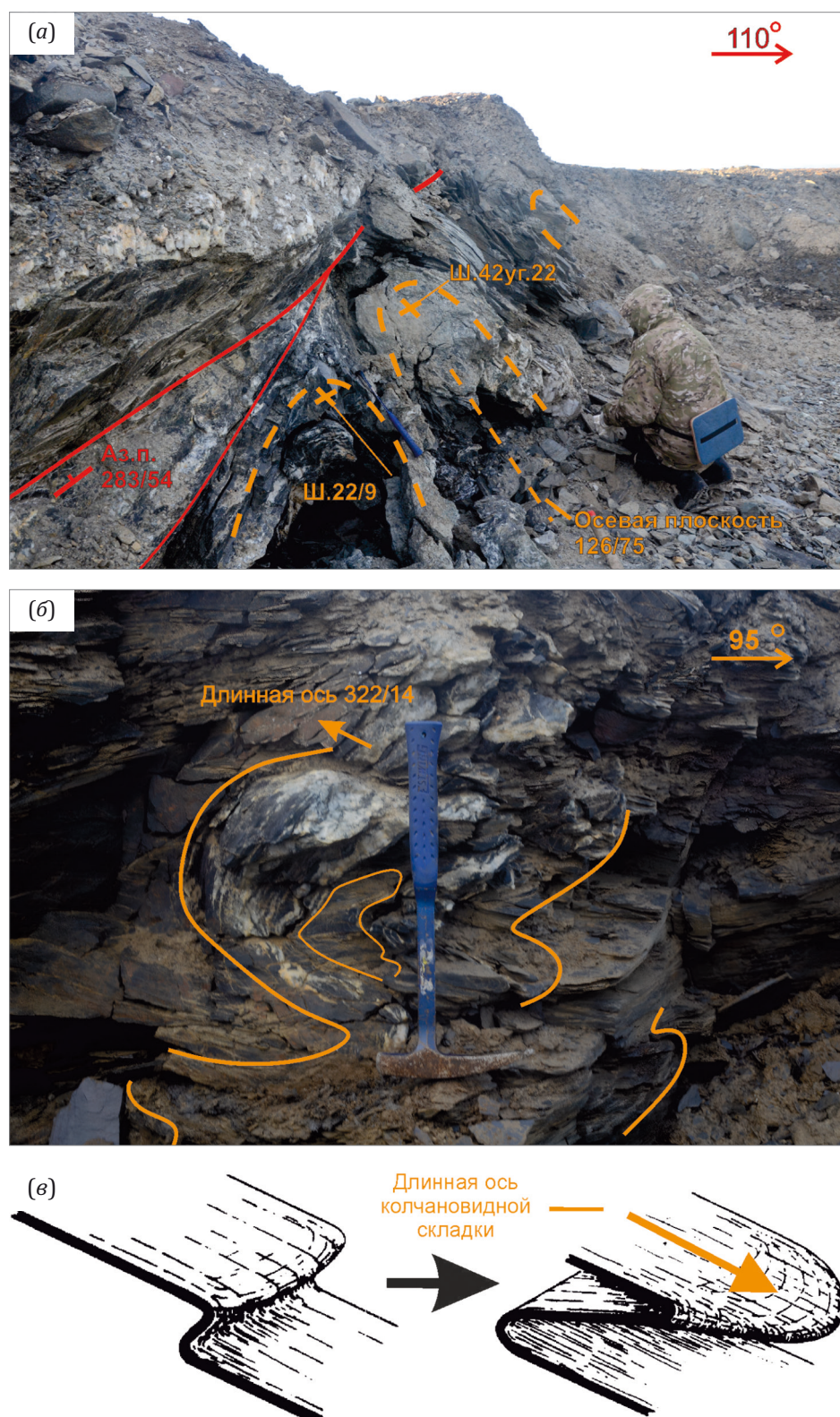


Рис. 5. Структуры первого этапа деформаций.

(а) – складки северо-западной вергентности (их шарниры показаны оранжевыми крестиками), на которые наложены более молодые хрупкие деформации (красные линии); (б) – колчановидные складки; (в) – механизм формирования колчановидной складки (по [Minnigh, 1979]). Размер молотка – 50 см. Расположение складок в структуре о. Старокадомского показано на профиле на рис. 4, в.

Fig. 5. The first-stage deformation structures.

(a) – folds of northwestern vergence (their bends marked with orange crosses), superimposed by younger brittle deformations (red lines); (b) – sheath folds; (c) – sheath fold formation mechanism (after [Minnigh, 1979]). The size of the hammer is 50 cm. Location of folds in the structure of the Starokadomsky Island in cross-section is shown in Fig. 4, b.

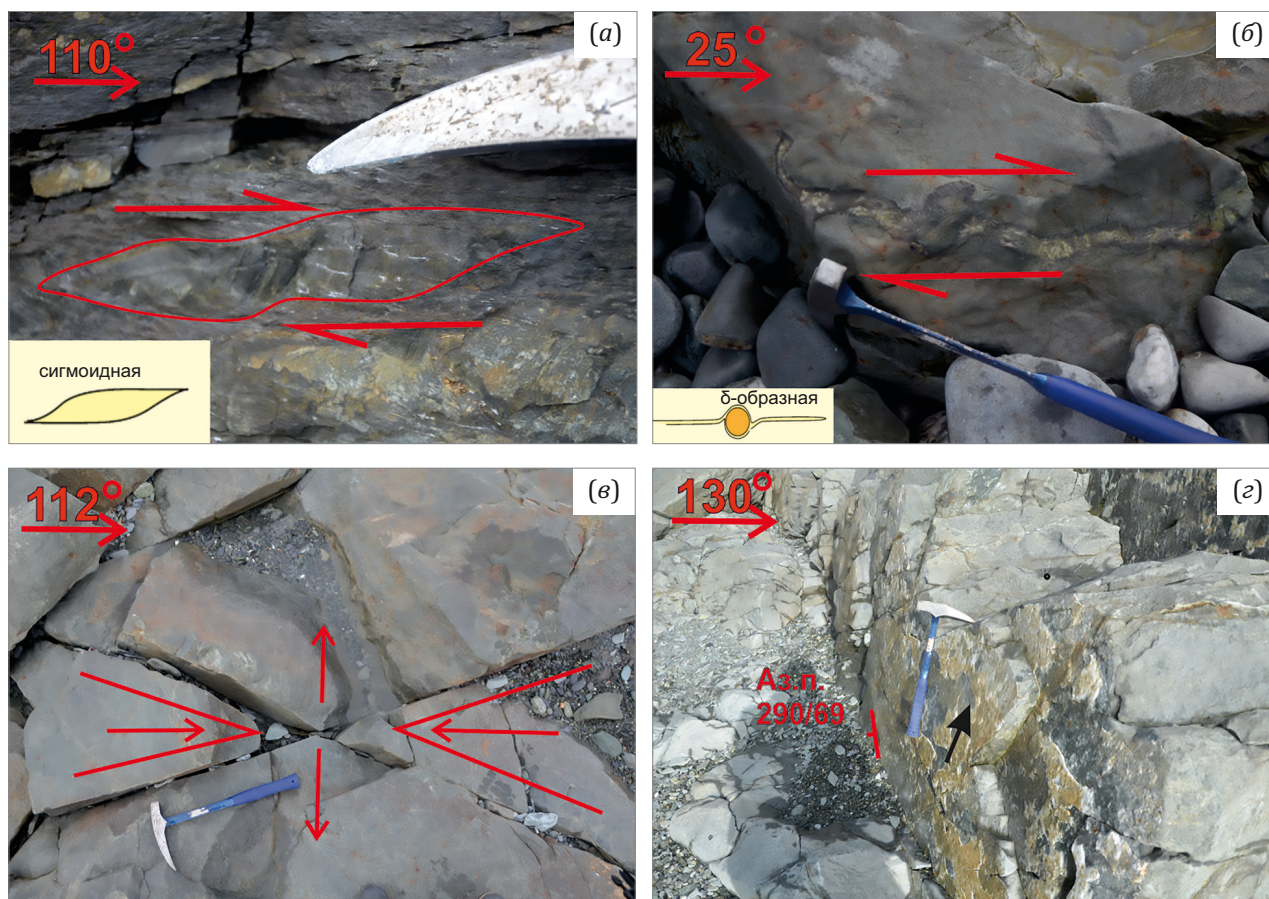


Рис. 6. Кинематические индикаторы перемещений второго этапа деформаций: будинированный прослой лапиллиевое метатUFF, образующего сигмоидную структуру (а) и δ -образная структура [Trouw et al., 2010] тремолит-актинолитового прожилка (б) первой (пластических деформаций) фазы, а также система сопряженных трещин (в) и зеркало скольжения второй (хрупких деформаций) фазы (г). Размер молотка – 50 см.

Fig. 6. Second-stage shear sense indicators: sigmoid-boudinaged lapilli metatuff interlayer (a) and a δ -shaped structure [Trouw et al., 2010] of the tremolite-actinolite vein (б) of the first ductile deformation phase; a system of conjugate fractures (в) and a slickenside of the second brittle deformation phase (г). The size of the hammer is 50 cm.

этапа. Реже структуры третьего этапа представлены малоамплитудными надвигами со смещением висячего крыла в северо-западном направлении (см. рис. 4, в; рис. 10, а) и взбросо-сдвигами. Разрывные нарушения третьего этапа являются самыми молодыми в тектонической истории данной территории.

Полная тектоническая история вулканогенно-осадочной толщи представлена на одном из обнажений берегового обрыва о. Старокадомского (рис. 10). Колчановидные складки первого этапа, указывающие на тектонический транспорт в северо-западном направлении, срезаны пологим надвигом второго этапа юго-восточной вергентности, на что, в частности, указывает сигмоидная структура (см. рис. 6, а; рис. 10, а). Все эти структуры смещены пологим надвигом третьего этапа, по которому перемещение пород в висячем блоке происходило в северо-западном направлении. В висячем блоке этого разлома присутствует реликтовая С/С-структура первого этапа деформаций (рис. 10, б), указывающая на северо-западное направление перемещений, такое же как в колчановидных складках, на-

блюдаемых в лежащем блоке надвига второго этапа деформаций (рис. 10, а).

4. ОБСУЖДЕНИЕ

Структурно-кинематический анализ пород верхне-неопротерозойской островодужной серии позволил выделить и охарактеризовать структуры первого этапа деформаций. Наиболее хорошо они сохранились в разрезе вдоль каньона р. Ханневича, где представлены падающими на юго-восток надвигами и опрокинутыми на северо-запад складками (см. рис. 2). Как на р. Ханневича, так и на о. Старокадомского для структур первого этапа характерно широкое развитие зон смятия с пластическими деформациями, локальное развитие колчановидных складок и северо-западное направление перемещений, фиксируемое по различным кинематическим индикаторам (см. рис. 3, 5). Зоны смятия с колчановидными складками и ассоциирующие с ними поверхности срыва приурочены к наиболее пластичным пачкам, таким как сланцы для разреза р. Ханневича и метатUFFиты алевроитоглинистой размерности

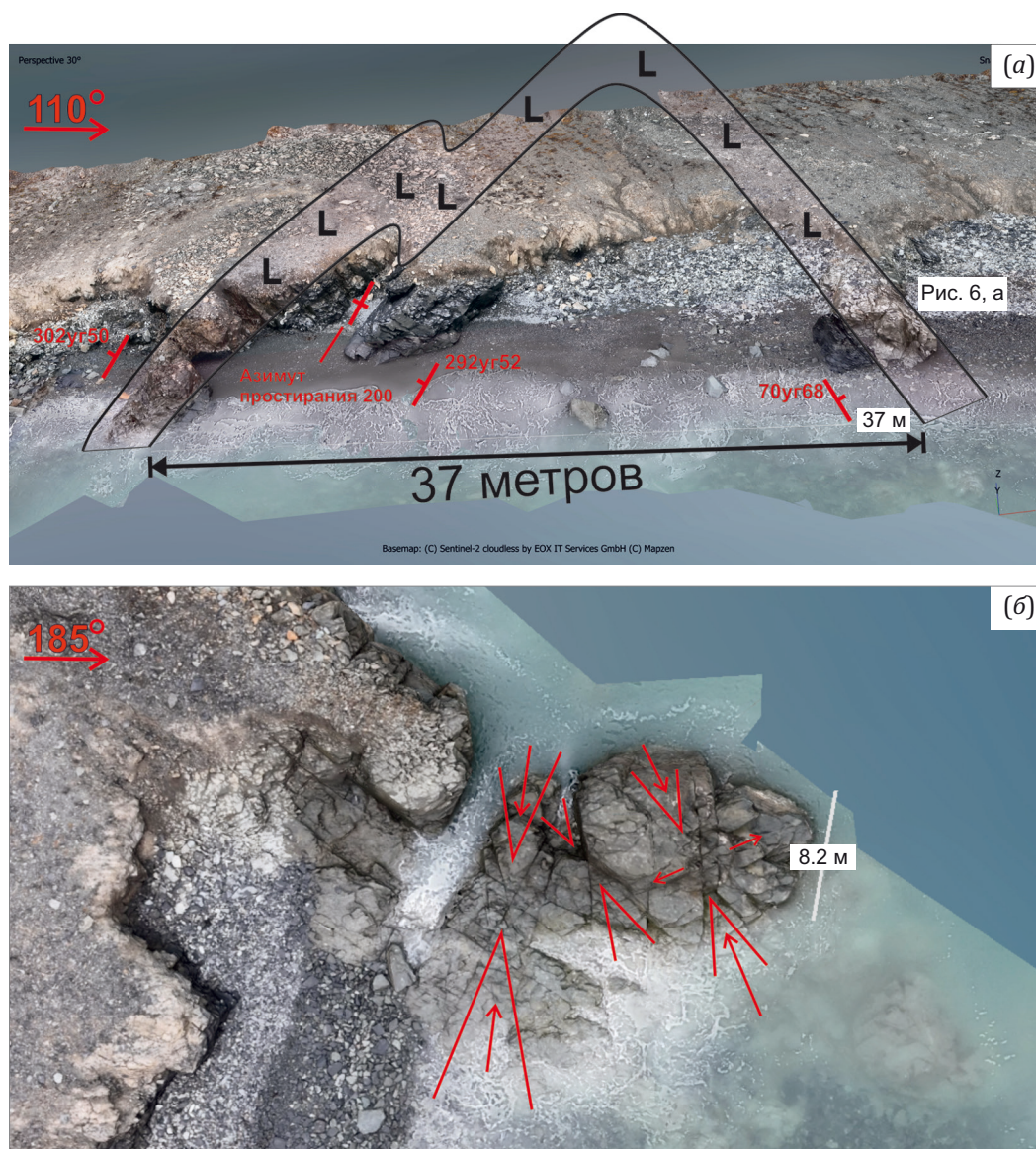


Рис. 7. Деформации в покровах metabазальтов на основе дешифрирования 3D-модели.

(a) – простая закрытая антиклинальная складка, вид в разрезе; (б) – системы сопряженных трещин, вид в плане. Масштаб вычислялся непосредственно в программе «Agisoft Metashape Pro». Расположение складки и систем сопряженных трещин в структуре о. Старокадомского показано на профиле на [рис. 4, в](#).

Fig. 7. Deformations in metabasalts based on 3D model interpretation.

(a) – a simple closed antiform fold, in cross-section; (б) – a system of conjugate fractures, in plan view. The scale was calculated using the Agisoft Metashape Pro software. Location of folds and conjugate fracture sets in the structure of the Starokadomsky Island in cross-section is shown in [Fig. 4, в](#).

для разреза о. Старокадомского. Поздненеопротерозойский (эдиакарский) возраст деформаций первого этапа определяется тем, что типичные для них зоны смятия отмечаются в породах лаптевской свиты, возраст которой определен U-Pb (SHRIMP) методом по циркону как 617 ± 4 млн лет [State Geological Map..., 2000, 2008, 2013], и отсутствуют в отложениях позднеэдиакарского и палеозойского возраста. Наличие креолюационного кливажа (см. [рис. 3, в](#)) свидетельствует, о том, что эволюция структур первого этапа деформаций могла быть довольно сложной, но для выделения разновозрастных фаз данных пока недостаточно.

Северо-западная вергентность структур первого этапа позволяет рассматривать их как реликты структуры аккреционной призмы, формировавшейся при субдукции под Сибирскую платформу в неопротерозое [Priyatkina et al., 2017] ([рис. 11, а](#)). В породах о. Старокадомского как степень метаморфизма, так и распространение структур первого этапа деформаций заметно ниже, чем в породах каньона р. Ханневича. Это позволяет предполагать, что в структуре аккреционной призмы неопротерозойские комплексы о. Старокадомского располагались структурно выше, чем неопротерозойские комплексы каньона р. Ханневича ([рис. 11, б](#)).

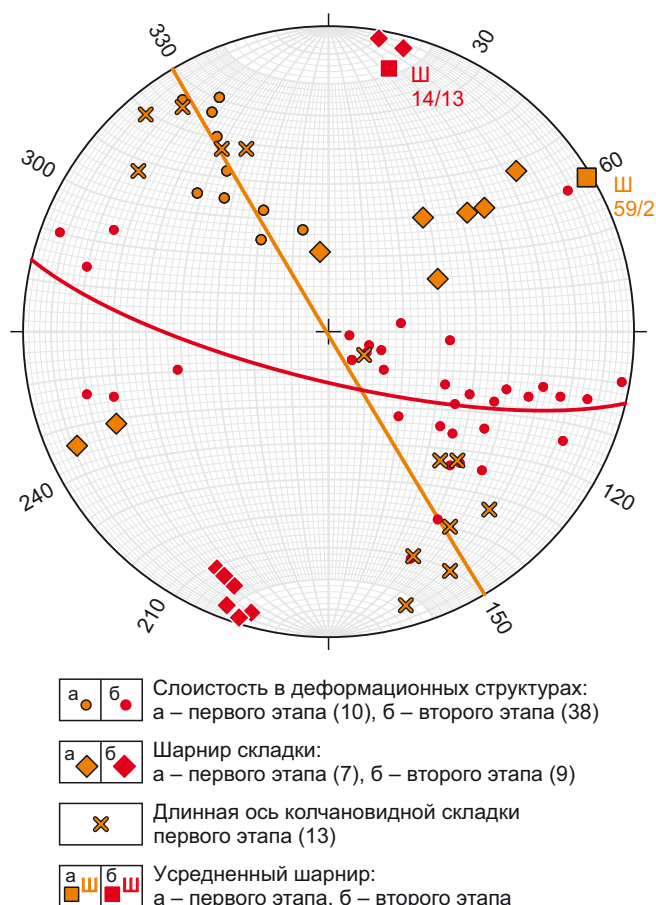


Рис. 8. Сетка Шмидта с вынесенными замерами структурных элементов первого и второго этапа деформаций для разреза на о. Старокадомского, которые отмечены оранжевым и красным цветом соответственно.

Количество замеров указано в скобках. Дуги большого круга (π-диаграммы) показывают усредненное положение нормалей к поверхностям слоистости и сланцеватости по ней для каждого этапа.

Fig. 8. The Schmidt net with the measurements of structural elements of the first (orange) and the second (red) deformation stages for the Starokadomsky Island cross-section.

A number of measurements is shown in brackets. Large circle arcs (π-diagrams) show average location of π-poles to bedding and foliation surfaces for each stage thereon.

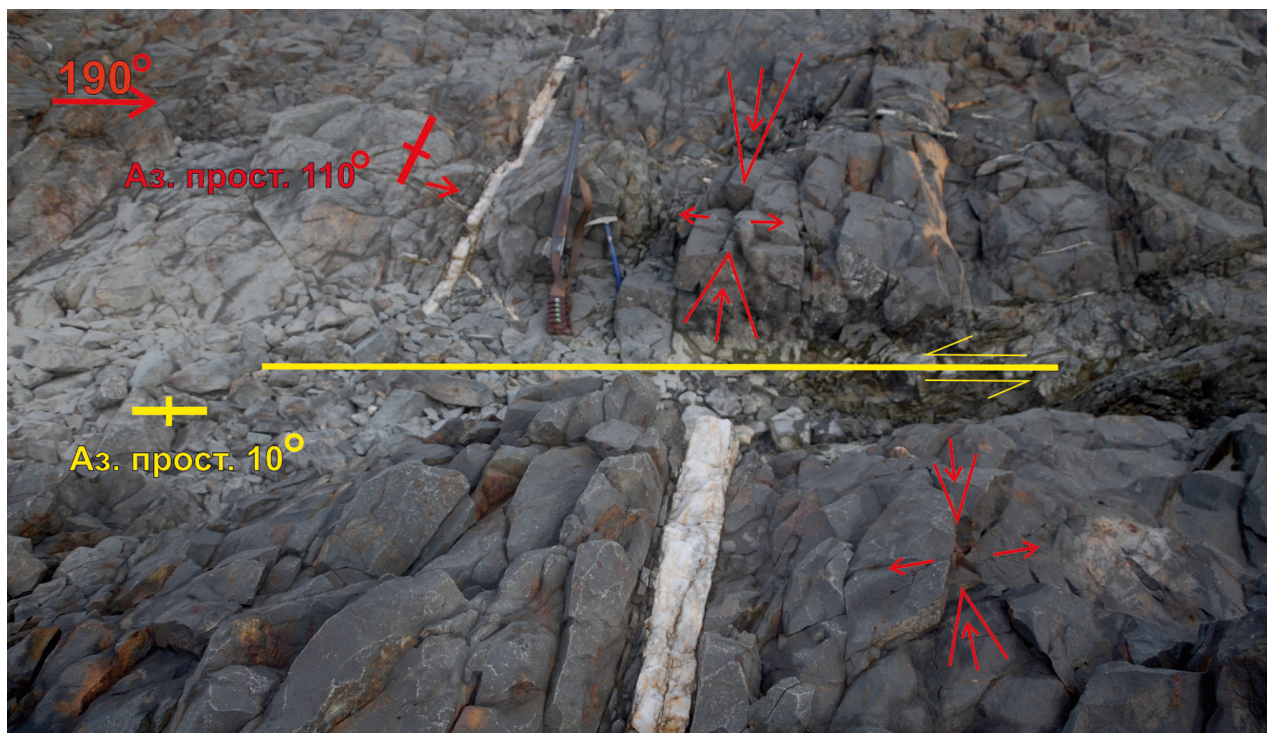


Рис. 9. Левый сдвиг третьего этапа деформаций (желтый), смещающий жилу кварца, внедрение которой происходило в поле напряжений, идентичном определяемому по сопряженным трещинам фазы хрупких деформаций второго этапа (красный). Размер молотка – 50 см.

Fig. 9. The sinistral strike-slip fault of the third deformation stage (yellow), displacing a quartz vein, which was formed in the stress field identical to that for conjugate fractures of the second-stage brittle deformation phase (red). The size of the hammer is 50 cm.

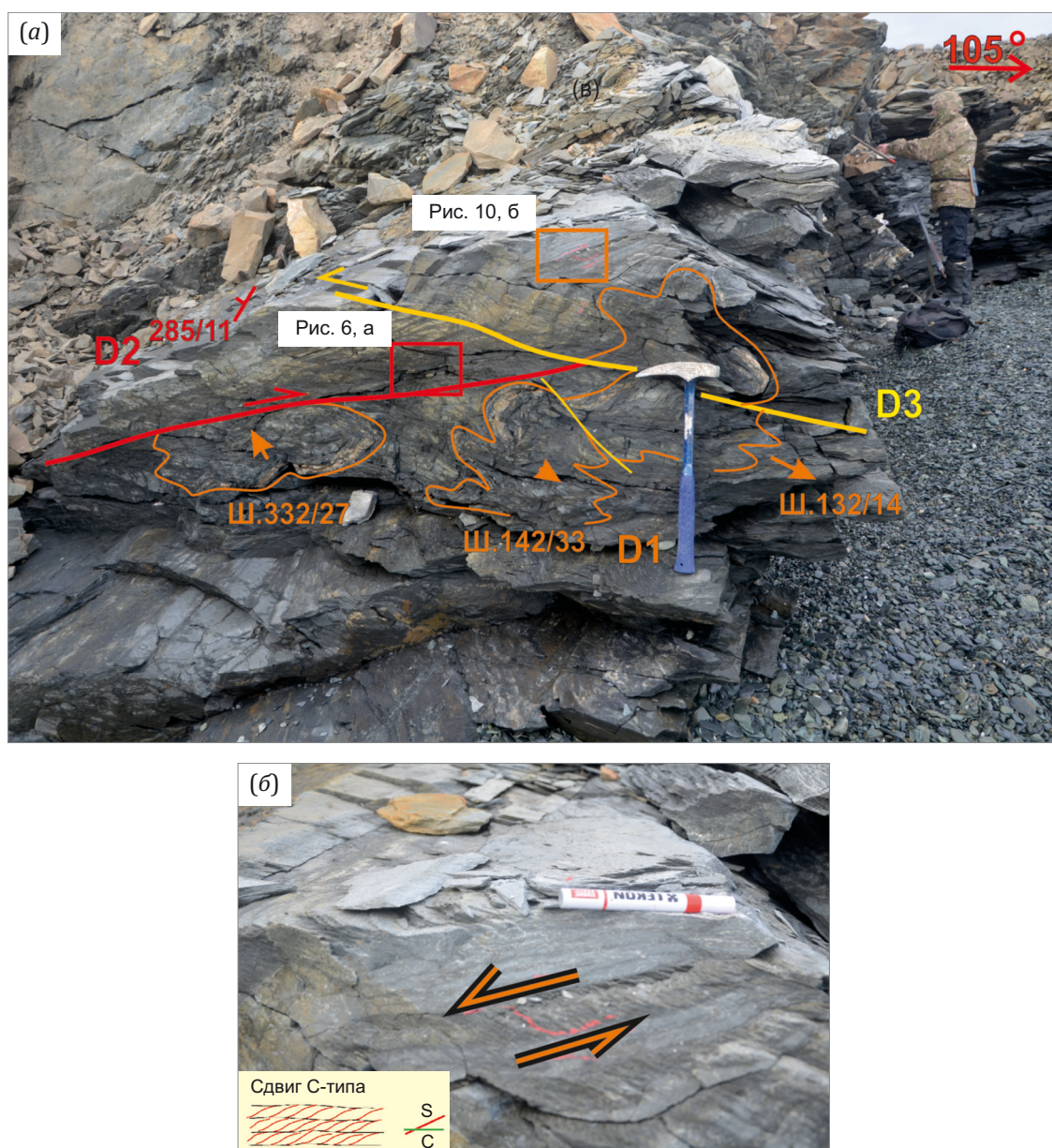


Рис. 10. Тектоническая эволюция вулканогенно-осадочной толщи в береговом обрыве о. Старокадомского (а). Расположение обнажения в структуре о. Старокадомского показано на профиле на рис. 4, в. Структуры первого, второго и третьего этапа деформаций показаны оранжевым, красным и желтым цветом соответственно. На фото-врезке С/С структура (б) [Trouw et al., 2010]. Размер объектов для масштаба: молоток – 50 см, маркер – 15 см.

Fig. 10. Tectonic evolution of volcanogenic sediments of the coastal cliff on the Starokadomsky Island (a). The outcrop location in the structure of the Starokadomsky Island in cross-section is shown in Fig. 4, v. The structures of the first, second and third stages of deformation are shown in orange, red and yellow, respectively. The inset photo shows the C/S structure (b) [Trouw et al., 2010]. The reference objects for showing scale: a 50-cm hammer and a 15-cm marker.

Для исследуемого региона сходное направление перемещений отмечалось в метаморфических толщах и ранее [Pease, 2011], но они без какого-либо обоснования были отнесены к нижнему палеозою.

Второй этап деформаций, отчетливо проявленный в разрезе о. Старокадомского и характеризующийся юго-восточной вергентностью структур (см. рис. 4), вероятно, связан с позднепалеозойской фазой складчатости [Pogrebitsky, 1971; Vernikovskiy, 1996; Kurapov et al., 2020]. Так, структурные и кинематические харак-

теристики второго этапа деформаций аналогичны наблюдаемым в кембрийских терригенных отложениях флишеидного облика на п-ове Челюскин, что исключает их принадлежность к поздненеопротерозойским тектоническим событиям [Vernikovskiy, Vernikovskaya, 2001; Dodonov et al., 2024]. В ходе второго этапа деформаций структуры, сформировавшиеся на первом этапе, были существенно переработаны. Так, на о. Старокадомского перестройка структур первого этапа деформаций отражается в ундуляции длинных осей

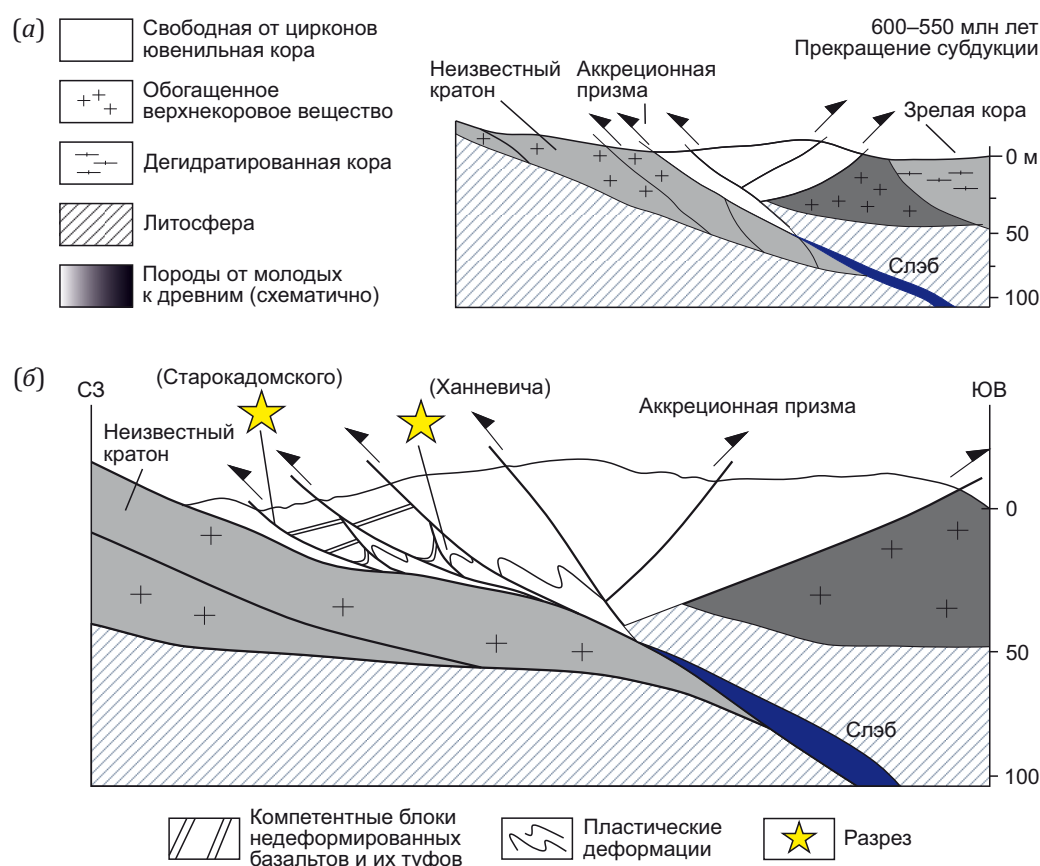


Рис. 11. Строение активной окраины Сибири в неопротерозое [Priyatkina et al, 2017] (a) с указанием предполагаемого положения наблюдаемых структур первого этапа деформаций (б).

Fig. 11. The structure of an active margin of the Siberian craton in the Neoproterozoic [Priyatkina et al, 2017] (a) with reference to the inferred location of the observed first-stage deformation structures (б).

колчановидных складок (см. рис. 8), а также в разбросе ориентировок шарниров складок северо-западной вергентности и в углах падения их осевых плоскостей (см. рис. 3, 6, 5, а). Восток-юго-восточное направление перемещений пород (см. рис. 6), наложение структур второго этапа на более древние структуры (см. рис. 5, а, 10, а), а также, в целом, относительно простая морфология складок (см. рис. 7, а) являются основными характеристиками структур второго этапа деформаций, позволяющими отличать их от структур первого этапа.

Деформации третьего этапа на исследуемой территории присутствуют локально и представлены главным образом разломами с левосдвиговыми смещениями и редкими пологими надвигами со смещением висячего блока в северо-западном направлении (см. рис. 9, 10, а), реактивированными разломами первого этапа на разрезе о. Старокадомского (см. рис. 4, в, 10, а), и разрывными нарушениями, секущими осевые плоскости складок в разрезе по р. Ханневича (см. рис. 2, а). Они рассекают структуры второго этапа деформаций, но их верхняя возрастная граница остается не определенной. Необходимо отметить, что северо-западное направление перемещений по надвигам отмечалось в Южно-Таймырской тектонической зоне при доминиру-

ющей роли хрупких деформаций и отсутствии специфических сложнодеформированных зон смятия, установленных исключительно в породах неопротерозоя Центрально-Таймырской тектонической зоны. Возраст наиболее молодых деформаций в Центрально-Таймырской тектонической зоне совпадает с возрастом деформаций в Южно-Таймырской тектонической зоне и определяется методами низкотемпературной термохронологии как поздний триас – ранняя юра [Khudoley et al., 2018; Zhang et al., 2018]. С этими тектоническими событиями мы связываем и формирование структур третьего этапа деформаций.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты, проведенного исследования следующие.

1. Поздненеопротерозойская фаза складчатости, определяемая как первый этап деформаций, в породах островодужных серий Центрально-Таймырской тектонической зоны вблизи ГТР характеризуется пластическими деформациями с северо-западным направлением надвиговых перемещений.

2. Деформации в тектонических пластинах о. Старокадомского происходили в верхней части структуры аккреционной призмы и проявлены значительно слабее,

чем в разрезе на р. Ханневича, соответствующем более глубокой ее части.

3. Структуры второго этапа характеризуются взбросо-надвиговыми перемещениями в восток-юго-восточном направлении с правосдвиговой компонентой по разломам северо-восток-юго-западного простирания и наложены на структуры первого этапа, и, вероятно, относятся к позднепалеозойской фазе складчатости.

4. Структуры третьего этапа, соотносимые с мезозойской фазой складчатости для исследуемой территории, представлены малоамплитудными хрупкими разломами с левосдвиговой компонентой перемещений или пологими надвигами с северо-западным направлением надвиговых перемещений и реактивируют разломы более ранних этапов.

6. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам Отдела региональной геологии и полезных ископаемых севера Сибири (Сектор Таймыра) ВСЕГЕИ, в частности Н.И. Березюку и К.В. Борисенкову за помощь в составлении разрезов в ходе полевых работ. Авторы также признательны анонимному рецензенту и В.А. Ванину, работа над замечаниями которых позволила существенно улучшить статью.

7. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку рукописи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

All authors made an equivalent contribution to this article, read and approved the final manuscript.

8. РАСКРЫТИЕ ИНФОРМАЦИИ / DISCLOSURE

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанного с этой рукописью.

The authors declare that they have no conflicts of interest relevant to this manuscript.

9. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Allmendinger R.W., Cardozo N.C., Fisher D., 2012. Structural Geology Algorithms: Vectors and Tensors. Cambridge University Press, New York, 289 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511920202>.

Bezzubtsev V.V., Zalyaleev R.M., Sakovich A.B., 1986. Geological Map of Gorny Taimyr. Scale of 1:500000. Explanatory Note. Krasnoyarsk, 177 p. (in Russian) [Беззубцев В.В., Залялеев Р.М., Сакович А.Б. Геологическая карта Горного Таймыра. Масштаб 1:500000: Объяснительная записка. Красноярск, 1986. 177 с.].

Cobbold P.R., Quinquis H., 1980. Development of Sheath Folds in Shear Regions. *Journal of Structural Geology* 2 (1–2), 119–126. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(80\)90041-3](https://doi.org/10.1016/0191-8141(80)90041-3).

Dodonov K.S., Khudoley A.K., Bagaeva A.A., Kurapov M.Yu., Berzon E.I., Gromova P.A., 2024. Structure and Stages of Deformation of the Main Taimyr Fault Zone (Northeastern

Taimyr). In: *Tectonics and Geodynamics of the Earth's Crust and Mantle: Fundamental Problems. Proceedings of the LV Tectonic Meeting (January 29 – February 3, 2024)*. Vol. 2. GEOS, Moscow, p. 138–143 (in Russian) [Додонов К.С., Худoley А.К., Бараева А.А., Курапов М.Ю., Берзон Е.И., Громова П.А. Структура и этапы деформаций зоны Главного Таймырского разлома (Северо-Восточный Таймыр) // Тектоника и геодинамика земной коры и мантии: фундаментальные проблемы – 2024: Материалы LV тектонического совещания (29 января – 3 февраля 2024 г.). М.: ГЕОС, 2024. Т. 1. С. 138–143].

Ershova V.B., Prokopiev A.V., Khudoley A.K., Proskurnin V.F., Andersen T., Kullerud K., Stepunina M.A., Kolchanov D.A., 2017. New U-Pb Isotopic Data for Detrital Zircons from Metasedimentary Sequences of Northwestern Taimyr. *Doklady Earth Sciences* 474, 613–616. <https://doi.org/10.1134/S1028334X17060022>.

Fleuty M.J., 1964. The Description of Folds. *Proceedings of the Geologists' Association* 75 (4), 461–492. [https://doi.org/10.1016/S0016-7878\(64\)80023-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7878(64)80023-7).

Khudoley A.K., Verzhbitsky V.E., Zastrozhnov D.A., O'Sullivan P., Ershova V.B., Proskurnin V.F., Tuchkova M.I., Rogov M.A., Kyser T.K., Malyshev S.V., Schneider G.V., 2018. Late Paleozoic – Mesozoic Tectonic Evolution of the Eastern Taimyr – Severnaya Zemlya Fold and Thrust Belt and Adjoining Yenisey-Khatanga Depression. *Journal of Geodynamics* 119, 221–241. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2018.02.002>.

Koronovsky N.V., 2006. *Fundamentals of Geology*. University Book House, Moscow, 528 p. (in Russian) [Коронковский Н.В. Общая геология. М.: КДУ, 2006. 528 с.].

Krasnopevtsev B.V., 2008. *Photogrammetry*. Textbook. Publishing House of the Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, 160 p. (in Russian) [Краснопевцев Б.В. Фотограмметрия: Учебное пособие. М.: Изд-во МИИГАиК, 2008. 160 с.].

Kurapov M.Yu., Ershova V.B., Khudoley A.K., Luchitskaya M.V., Makariev A.A., Makarieva E.M., Vishnevskaya I.A., 2020. Late Palaeozoic Magmatism of Northern Taimyr: New Insights Into the Tectonic Evolution of the Russian High Arctic. *International Geology Review* 63 (16), 1990–2012. <https://doi.org/10.1080/00206814.2020.1818300>.

Lorenz H., Gee D.G., Simonetti A., 2008. Detrital Zircon Ages and Provenance of the Late Neoproterozoic and Palaeozoic Successions on Severnaya Zemlya. Kara Shelf: A Tie to Baltica. *Norwegian Journal of Geology* 88 (4), 235–258.

Metelkin D.V., Vernikovskiy V.A., Kazansky A.Y., 2012. Tectonic Evolution of the Siberian Palecontinent from the Neoproterozoic to the Late Mesozoic: Paleomagnetic Record and Reconstructions. *Russian Geology and Geophysics* 53 (7), 675–688. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2012.05.006>.

Minnigh L.D., 1979. Structural Analysis of Sheath-Folds in a Meta-Chert from the Western Italian Alps. *Journal of Structural Geology* 1 (4), 275–282. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(79\)90002-6](https://doi.org/10.1016/0191-8141(79)90002-6).

Passchier C.W., Trouw R.A.J., 2005. *Microtectonics*. 2nd Edition. Springer, 366 p. <https://doi.org/10.1007/3-540-29359-0>.

Pease V., 2011. Chapter 20. Eurasian Orogens and Arctic Tectonics: An Overview. Geological Society of London Memoirs 35, 311–324. <https://doi.org/10.1144/M35.20>.

Pease V., Gee D., Vernikovskiy V., Vernikovskaya A., Kireev S., 2001. Geochronological Evidence for Late-Grenvillian Magmatic and Metamorphic Events in Central Taimyr, Northern Siberia. *Terra Nova* 13 (4), 270–280. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3121.2001.00351.x>.

Pease V., Scott R., 2009. Crustal Affinities in the Arctic Uralides: Northern Russia: Significance of Detrital Zircon Ages from Neoproterozoic and Palaeozoic Sediments in Novaya Zemlya and Taimyr. *Journal of the Geological Society* 166 (3), 517–527. <https://doi.org/10.1144/0016-76492008-093>.

Pogrebitsky Yu.E., 1971. Paleotectonic Analysis of the Taimyr Folded System. Nedra, Leningrad, 248 p. (in Russian) [Погребитский Ю.Е. Палеотектонический анализ Таймырской складчатой системы. Л.: Недра, 1971. 248 с.].

Priyatkin N., Collins W.J., Khudoley A., Zastrozhnov D., Ershova V., Chamberlain K., Shatsillo A., Proskurnin V., 2017. The Proterozoic Evolution of Northern Siberian Craton Margin: A Comparison of U–Pb–Hf Signatures from Sedimentary Units of the Taimyr Orogenic Belt and the Siberian Platform. *International Geology Review* 59 (13), 1289–1341. <https://doi.org/10.1080/00206814.2017.1289341>.

Proskurnin V.F., Simonov O.N., Sobolev N.N., Tuganova E.V., Uklein V.N., 2003. Tectonic Zoning of the North of Central Siberia (Taimyr Autonomous District). *Natural Resources of Taimyr*. Dudinka, p. 178–209 (in Russian) [Проскурнин В.Ф., Симонов О.Н., Соболев Н.Н., Туганова Е.В., Уклеин В.Н. Тектоническое районирование севера Центральной Сибири (Таймырский АО) // Природные ресурсы Таймыра. Дудинка, 2003. С. 178–209].

Ravich M.G., Chaika L.A., 1962. Metamorphic and Magmatic Formations of the Taimyr Precambrian. In: *Petrography of Eastern Siberia*. Vol. 1. Publishing House of the USSR Academy of Science, Moscow, p. 590–719 (in Russian) [Павич М.Г., Чайка Л.А. Метаморфические и магматические формации Таймырского докембрия // Петрография Восточной Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1962. Т. 1. С. 590–719].

Schneider G.V., 2020. Jurassic Deposits of Northern Taimyr (Chelyuskin Peninsula). In: *The Jurassic System of Russia: Problems of Stratigraphy and Paleogeography*. Proceedings of the VIII All-Russian Meeting with International Participation (September 7–10, 2020). IG Komi SC UB RAS, Syktyvkar, p. 243–247 (in Russian) [Шнейдер Г.В. Юрские отложения Северного Таймыра (п-ов Челюскин) // Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии: Материалы VIII всероссийского совещания с международным участием (7–10 сентября 2020 г.). Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2020. С. 243–247].

State Geological Map of the Russian Federation, 2000. Taimyr Series. Scale of 1:200000. Sheets T-47-XXVIII, XXIX, XXX (Marga River), T-48-XIX, XX, XXI (Chelyuskin Peninsula), T-48-XXII, XXIII, XXIV (Samuil Island), T-48 XV, XXVI, XXVII (Lodochnikov Plateau), T-48-XVIII, XXIX, XXX (Sims

Bay). Explanatory Note. VSEGEI, Saint Petersburg, 2000. 186 p. (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Таймырская серия. Масштаб 1:200000. Листы Т-47-XXVIII, XXIX, XXX (р. Марга), Т-48-XIX, XX, XXI (п-ов Челюскин), Т-48-XXII, XXIII, XXIV (о-в Самуила), Т-48 XXV, XXVI, XXVII (плато Лодочникова), Т-48-XXVIII, XXIX, XXX (залив Симса): Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 186 с.].

State Geological Map of the Russian Federation, 2008. Taimyr-Severnaya Zemlya Series. Scale of 1:1000000. Sheet T-45-48 (Cape Chelyuskin). Explanatory Note. VSEGEI, Saint Petersburg, 260 p. (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Таймырско-Североземельская серия. Масштаб 1:1000000. Лист Т-45-48 (м. Челюскин): Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2008. 260 с.].

State Geological Map of the Russian Federation, 2013. North Kara-Barents Sea and Taimyr-Severnaya Zemlya Series. Scale of 1:1000000. Sheet T-45-48 (Cape Chelyuskin). Explanatory Note. VSEGEI, Saint Petersburg, 564 p. (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серии Северо-Карско-Баренцевоморская и Таймыро-Североземельская. Масштаб 1:1000000. Лист Т-45-48 (м. Челюскин): Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2013. 564 с.].

Trouw R.A.J., Passchier C.W., Wiersma D.J., 2010. Atlas of Mylonites- and Related Microstructures. Springer, Berlin, Heidelberg, 322 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-03608-8>.

Uflyand A.K., Natapov L.M., Lopatin V.M., Chernov D.V., 1991. On Tectonic Nature of Taimyr. *Geotectonics* 6, 76–93 (in Russian) [Уфлянд А.К., Натапов Л.М., Лопатин В.М. О тектонической природе Таймыра // Геотектоника. 1991. № 6. С. 76–93].

Vernikovskiy V.A., 1996. Geodynamic Evolution of the Taimyr Fold Area. PhD Thesis (Doctor of Geology and Mineralogy). Novosibirsk, 202 p. (in Russian) [Верниковский В.А. Геодинамическая эволюция Таймырской складчатой области: Дис. ... докт. геол.-мин. наук. Новосибирск, 1996. 202 с.].

Vernikovskiy V.A., Metelkin D.V., Vernikovskaya A.E., Sal'nikova E.B., Kovach V.P., Kotov A.B., 2011. The Oldest Island Arc Complex of Taimyr: Concerning the Issue of the Central-Taimyr Accretionary Belt Formation and Paleogeodynamic Reconstructions in the Arctic. *Doklady Earth Sciences* 436, 186–192. <https://doi.org/10.1134/S1028334X1102019X>.

Vernikovskiy V.A., Vernikovskaya A., Proskurnin V., Matushkin N., Proskurnina M., Kadilnikov P., Larionov A., Travin A., 2020. Late Paleozoic–Early Mesozoic Granite Magmatism on the Arctic Margin of the Siberian Craton During the Kara-Siberia Oblique Collision and Plume Events. *Minerals* 10 (6), 571. <https://doi.org/10.3390/min10060571>.

Vernikovskiy V.A., Vernikovskaya A.E., 2001. Central Taimyr Accretionary Belt (Arctic Asia): Meso–Neoproterozoic Tectonic Evolution and Rodinia Breakup. *Precambrian Research* 110 (1–4), 127–141. [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(01\)00184-X](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(01)00184-X).

Vernikovsky V.A., Vernikovskaya A.E., Pease V.L., Gee D., 2004. Neoproterozoic Orogeny Along the Margins of Siberia. *Geological Society of London Memoirs* 30, 233–248. <https://doi.org/10.1144/GSL.MEM.2004.030.01.18>.

Zabiyaka A.I., Zabiyaka I.D., Vernikovsky V.A., Zlobin M.N., Serdyuk S.S., 1986. Geological Structure and Tectonic Development of the Northeastern Taimyr. Nauka, Novosibirsk, 144 p. (in Russian) [Забияка А.И., Забияка И.Д., Верниковский В.А., Злобин М.Н., Сердюк С.С.

Геологическое строение и тектоническое развитие Северо-Восточного Таймыра. Новосибирск: Наука, 1986. 144 с.].

Zhang X., Pease V., Carter A., Kostuychenko S., Suleymanov A., Scott R., 2018. Timing of Exhumation and Deformation Across the Taimyr Fold-Thrust Belt: Insights from Apatite Fission Track Dating and Balanced Cross-Sections. *Geological Society of London Special Publications* 460, 315–333. <https://doi.org/10.1144/SP460.3>.