

УДК 551.248+550.34.09+550.343.4

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2023-63-2-14-25

К ПРОБЛЕМЕ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ДИСЛОКАЦИЙ В ПЕСЧАНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ГОЛОЦЕНА ОНЕЖСКОЙ СТРУКТУРЫ БАЛТИЙСКОГО ЩИТА

Антон Владимирович Полешук¹, Дмитрий Сергеевич Зыков²,
Сергей Юрьевич Колодяжный³, Алексей Олегович Агибалов⁴,
Алексей Андреевич Сенцов⁵

¹ Геологический институт РАН, Москва, Россия; anton302@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7276-6107>

² Геологический институт РАН, Москва, Россия; zikov58@yandex.ru

³ Геологический институт РАН, Москва, Россия; kolod63@mail.ru

⁴ Институт физики Земли им. Шмидта РАН, Москва, Россия; agibalo@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-6742-3524>

⁵ Институт физики Земли им. Шмидта РАН, Москва, Россия; alekssencov@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-6182-114X>

Аннотация. На юго-восточной окраине Балтийского щита в районе Петрозаводской депрессии выявлены дислокации рыхлых песчаных (предположительно — голоценовых) отложений. Дизъюнктивные нарушения имеют сбросовую кинематику. Приведено описание характерных закономерностей пространственной ориентировки, совпадающей с ориентировкой субширотных палеопротерозойских разломов, долиной р. Шуи и озовых гряд. Рассмотрены возможные гипотезы и предложена модель их формирования. Выявленная согласованность ориентировки изученных дислокаций с древними нарушениями свидетельствует о тектонической природе и долгоживущем характере процессов, происходящих в пределах юго-восточной окраины Балтийского щита Восточно-Европейской платформы (ВЕП).

Ключевые слова: Восточно-Европейская платформа; Балтийский щит; Фенноскандия; неотектоника; подвижность фундамента; деформационные структуры; дислокации

Для цитирования: Полешук А.В., Зыков Д.С., Колодяжный С.Ю., Агибалов А.О., Сенцов А.А. К проблеме происхождения дислокаций в песчаных отложениях голоцена Онежской структуры Балтийского щита // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2023. № 2. С. 14–25.

ON THE PROBLEM OF THE ORIGIN OF DISLOCATIONS IN THE HOLOCENE SAND DEPOSITS OF THE ONEGA STRUCTURE OF THE BALTIC SHIELD

Anton V. Poleshchuk¹, Dmitriy S. Zikov², Sergey Y. Kolodyazhny³,
Alexey O. Agibalov⁴, Alexey A. Sentsov⁵

¹ Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; anton302@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-7276-6107>

² Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; zikov58@yandex.ru

³ Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; kolod63@mail.ru

⁴ Schmidt Earth Physics Institute RAS, Moscow, Russia; agibalo@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6742-3524>

⁵ Schmidt Earth Physics Institute RAS, Moscow, Russia; alekssencov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6182-114X>

Abstract. Associations of dislocations of sand deposits (probably — Holocene) have been identified on the southeastern margin of the Baltic Shield in the Petrozavodsk depression. Brittle disjunctives have a normal faults kinematics. The description of the identified dislocations and the patterns of spatial orientation characteristic of them, coinciding with the orientation of the Paleoproterozoic faults, the Shuya River valley and the eskers, are given. Possible hypotheses are considered and a model of their formation is proposed. The revealed consistency of the orientation of the studied dislocations with ancient disturbances indicates the tectonic nature and inherited nature of the processes occurring within the southeastern margin of the Baltic Shield of the East European Platform (EEP).

Keywords: East European platform; Baltic Shield; Fennoscandia; neotectonics; basement mobility; deformation structures; dislocations

For citation: Poleshchuk A.V., Zikov D.S., Kolodyazhny S.Y., Agibalov A.O., Sentsov A.A. On the problem of the origin of dislocations in the holocene sand deposits of the Onega structure of the Baltic shield. *Moscow University Geol. Bull.* 2023; 2: 14–25. (In Russ.).

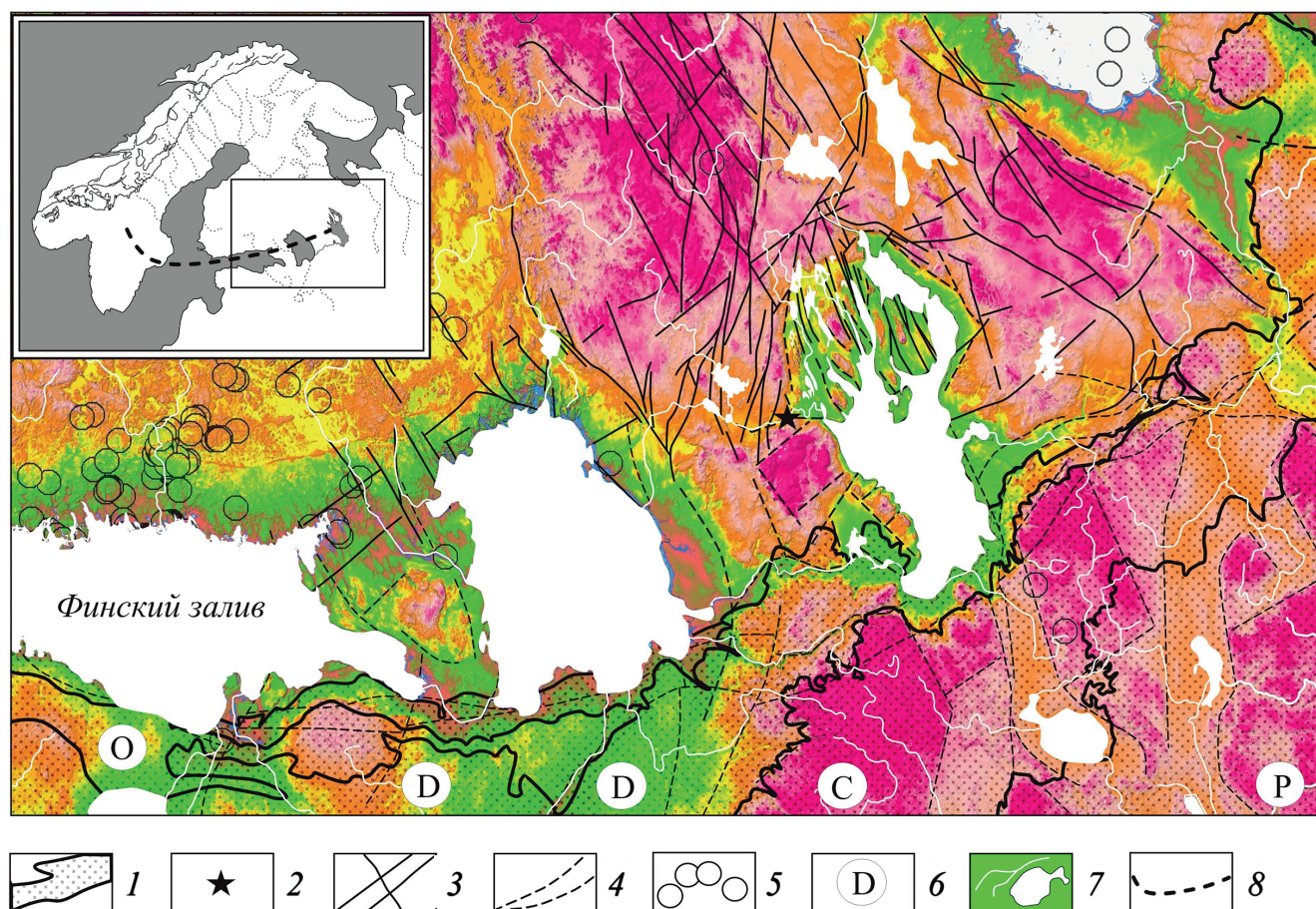


Рис. 1. Рельеф юго-восточной окраины Балтийского щита: 1 — область развития фанерозойского чехла, 2 — положение района исследований, 3 — разрывные нарушения, установленные и предполагаемые, по [Государственная..., 2000]; 4 — линейменты юго-восточной окраины Балтийского щита, с изменениями, по [Колодяжный, 2020]; 5 — эпицентры землетрясений; 6 — комплексы стратиграфических подразделений (буквы в кругах) фанерозойского чехла; 7 — реки и озера; 8 — положение большой радиальной флексуры (на врезке) по [Полканов, 1956]

Введение. Окраинные зоны выступов древнего фундамента платформ представляются наиболее значимыми для изучения неотектонических движений, поскольку чехольные комплексы, обрамляющие эти выступы, являются чувствительными индикаторами подвижек фундамента.

Одна из наиболее протяженных зон дислокаций — Балтийско-Мезенская зона (БМЗ), располагается на юго-восточной окраине Балтийского щита ВЕП (рис. 1). БМЗ объединяет как выявленные различными методами разрывные дислокации кристаллического фундамента, так и сопряженные дислокации чехольных комплексов. Часть разрывов согласуется с общим северо-восточным простираем БМЗ, часть — является опережающими. В разное время в пределах юго-восточной окраины Балтийского щита выделялись Большая флексура [Полканов, 1956], зона разломов Полканова [Доливо-Добровольский, 1983] и Ладожско-Мезенская [Ядута, 2000] зона. А.А. Полканов прослеживал положение Большой флексуры от тектонических депрессий Далекарлии (Швеция) до Ладожской и Онежской структур по развитию иотнийских (вепсийских и нижнерифейских) вулканогенно-осадочных образо-

ваний и проявлениям магматизма. В более поздних работах [Колодяжный и др., 2020] осевая часть БМЗ дислокаций прослеживается южнее Ладожской и Онежской структур, и далее в северо-восточном направлении вдоль долины р. Сухона до района р. Сев. Двина.

Разрывные нарушения, осложняющие рыхлые четвертичные отложения, обычно рассматриваются в качестве новейших. Происхождение подобных разрывов обычно связывается либо с экзогенными факторами, например, с воздействием ледника [Левков, 1980; Gruzka, Van Loon, 2011], либо — с тектоническими [Колодяжный и др., 2020; Крапивнер, 1992], в том числе сейсмогенными [Николаева, 2021; Шварев, 2019]. При этом нарушения, пространственная ориентировка которых и признаки многократной активизации сохраняются на протяжении длительной геологической истории, принято рассматривать в качестве долгоживущих унаследованных [Шатский, 1955].

Одним из главных критериев отличия унаследованных тектонических разрывов от дизъюнктивных нарушений иной природы является их закономерная ориентировка, образующая выраженные скопления

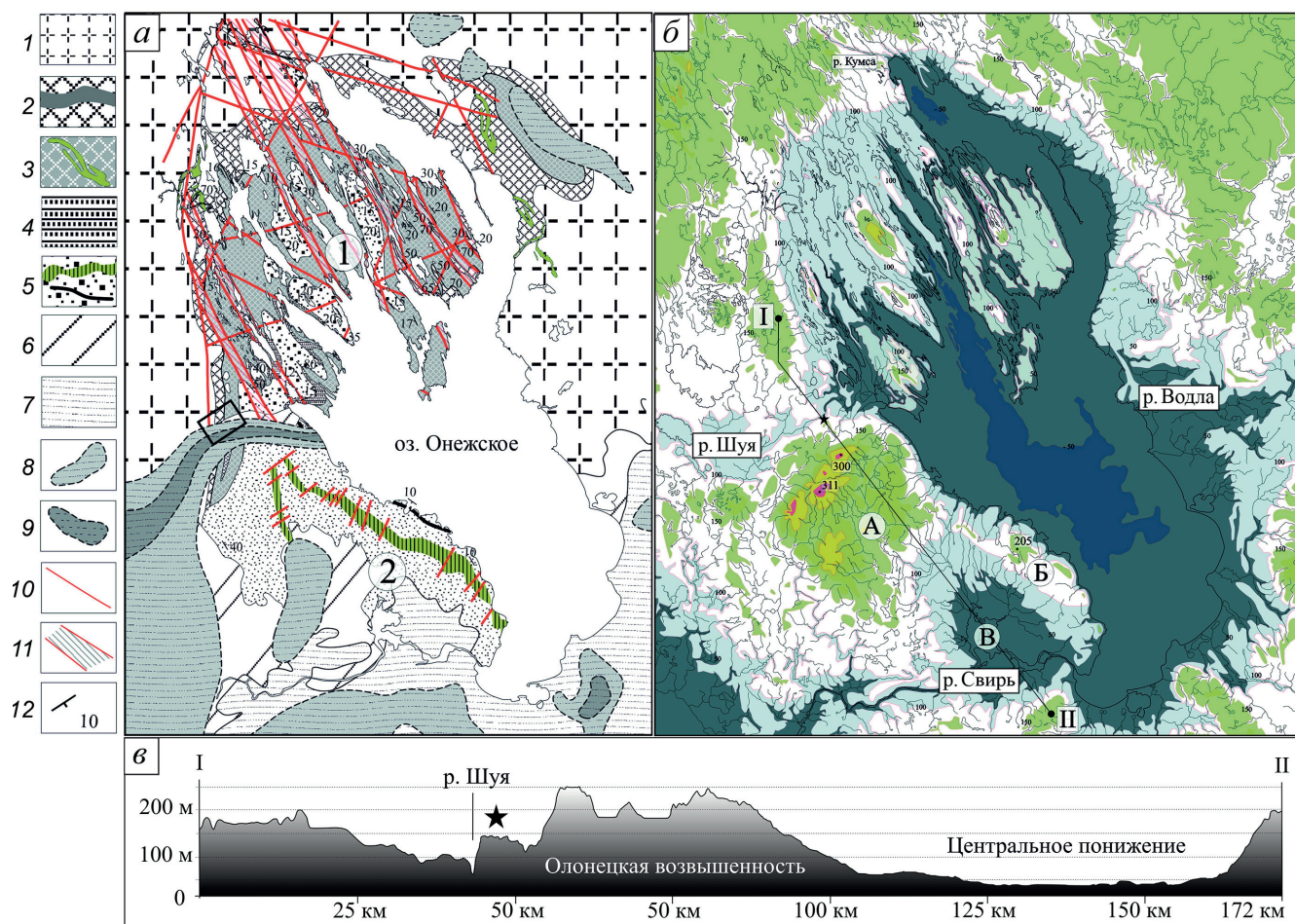


Рис. 2. Схемы геологического строения, рельефа и гипсометрический профиль в районе Онежской структуры. Цифры в кружках (а): Северо-Онежская муфта (1) и Южно-Онежская муфта (2); 1 — гранито-гнейсы фундамента, сумийский и сариольский надгоризонты палеопротерозоя; 2–5 — палеопротерозой: 2 — ятулийский надгоризонт, сегозерский и онежский горизонты с силлами габбро-долеритов; 3–4 — людиковый надгоризонт: 3 — заонежский горизонт, 4 — суйсарский горизонт; 5 — калевийский и вепсийский надгоризонты; 6 — рифей-вендские нерасчлененные комплексы; 7 — фанерозойские чехольные комплексы; 8–9 — Петрозаводская депрессия, четвертичные образования мощностью: 8 — 50–100 м, 9 — >100 м; 10–11 — разрывные нарушения и зоны складчато-разрывных дислокаций: 10 — межблоковые разломы; 11 — зоны складчато-разрывных дислокаций по данным [Кондаков и др., 1986]; 12 — элементы залегания по данным [Сыстра, 1991; Экман, 1971].

Схема распределения уровней рельефа и основных водотоков Онежской структуры (б): А — Олонечкая возвышенность, Б — Шокшинская гряда, В — Центральное понижение. Цветом выделены одинаковые гипсометрические уровни.

Гипсометрический профиль по линии I–II (в). Прямоугольником (рис. 2, а) и звездочкой (рис. 2, б, в) показан район работ

(системы) согласующиеся с ориентировкой крупных региональных тектонических структур. Выявление таких унаследованных дислокаций — важный ключ к пониманию истории развития и механизмов объемных деформаций, затрагивающих как фундамент, так и чехол древних платформ.

Район исследований и геологическое строение. В пределах юго-восточной окраины Балтийского щита ВЕП (рис. 1) располагается палеопротерозойская Онежская структура (рис. 2), состоящая из двух меньших по размеру синклинальных структур — Северо-Онежской и Южно-Онежской.

Северо-Онежская муфта (рис. 2, а) имеет площадь около 17 000 км² и выполнена главным образом терригенными и терригенно-карбонатными толщами ятулийского, людикового и калевийского надгоризонтов палеопротерозоя, перемежающимися с силлами и лавами основного состава мощностью

не менее 2 км [Онежская..., 2011]. Древние толщи перекрыты маломощным покровом четвертичных отложений. Структура характеризуется чередованием узких гребневидных антиклиналей и широких корытообразных синклиналей, вытянутых в северо-западном направлении, и осложняется зонами складчато-разрывных дислокаций северо-западного и северо-восточного простираения.

Геологическое строение определяет характерную морфоструктуру Северо-Онежской муфты — узкие протяженные депрессии, подчеркнутые озерами, реками и заливами Онежского озера (рис. 2, б), развиваются по осложненным продольными разломами палеопротерозойским антиклиналям, а возвышенности (гряды и сельги) отвечают палеопротерозойским синклиналям.

В строении Южно-Онежской муфты, имеющей площадь около 9 000 км², принимают участие песча-

ники и кварцито-песчаники вепсийского надгоризонта палеопротерозоя мощностью не менее 2 км (рис. 2, а). Эти толщи сформированы в мелководных бассейновых обстановках и расслоены Ропручским силлом основного состава [Онежская..., 2011]. На северо-западе структура замыкается, а на юго-востоке полого погружается, скрываясь под отложениями платформенного чехла ВЕП в р-не р. Свирь. Палеопротерозойские отложения на крыльях полого падают (5–15°, до 40°) к центральной части мульды, где залегание становится близким к горизонтальному. На отдельных участках синформная структура осложняется крутопадающими зонами расщепления и приразломными дислокациями. Мульда рассечена многочисленными сбросами преобладающего северо-восточного (рис. 2, а) простирания, подчеркивающимися спрямленными участками речных долин. Амплитуды смещений по этим разрывам составляют от первых десятков до первых сотен метров, а свежесть сколов на вертикальных уступах, отсутствие следов ледниковой экзарации, аномально высокое залегание озерных осадков, а также — находки сейсмодислокаций указывают на голоценовый возраст тектонических подвижек.

В морфоструктуре Южно-Онежской мульды (рис. 2, б) выделяются три крупные орографические единицы: Олонецкая возвышенность (рис. 2, б, в), которая очерчивается с севера долиной р. Шуи; вытянутая в северо-западном направлении Шокшинская гряда (рис. 2, б); а также Центральное понижение с бассейном р. Свирь (рис. 2, б, в). Эти крупные орографические единицы подчеркиваются распределением участков аномальных падений рек [Экман, 1972] и характером гидросети — центробежным и центростремительным его рисунком для участков Олонецкой возвышенности и Центрального понижения, и субпараллельным — для Шокшинской гряды. Такое поведение рек свидетельствует об унаследованных дифференцированных движениях блоков палеопротерозойского фундамента, продолжающихся на новейшем этапе, учитывая приуроченность современных речных долин к погребенным доледниковым палеодолинам [Экман, 1972].

Отметим, что северо-восточная ориентировка некоторых крупных возвышенностей Южно-Онежской мульды является отчетливо выраженной на значительном протяжении, а иногда прослеживается и за ее пределы. Например, северное ограничение Олонецкой возвышенности, которое приблизительно соответствует центриклинальному замыканию Южно-Онежской мульды южнее долины р. Шуи, образует линеамент, который уверенно прослеживается далее вдоль южной оконечности Заонежского полуострова Северо-Онежской мульды (рис. 1, рис. 2, а, б).

В пограничной области между Северо-Онежской и Южно-Онежской мульдами севернее долины р. Шуи (рис. 2, а, рис. 3) палеопротерозойские толщи смяты в складки [Сыстра, 1991], морфология

которых также прослеживается на геофизических профилях [Глубинное..., 2010]. Осевые плоскости этих складок и осложняющие их разрывы имеют северо-западное простирание (рис. 2, а, рис. 3). Южнее складчатая структура осложнена разрывными нарушениями субширотного и северо-восточного простирания. С зонами разрывов связаны гидротермальные изменения, которые протекали на заключительных этапах палеопротерозоя [Михайлов и др., 2014].

К этой пограничной области приурочена субширотная Петрозаводская неотектоническая депрессия (рис. 2, а), обрамляющая с северо-запада Южно-Онежскую мульду и подчеркиваемая повышенными значениями изолиний мощностей четвертичных отложений [Государственная..., 2000; Экман, 1972]. Она выполнена четвертичными отложениями общей мощностью более 150 м [Экман, 1972]. Преобладают континентальные фации, для верхнеплейстоценовых слоев характерны морские фации. Анализ многослойных рыхлых осадков повышенной мощности, выполняющих Петрозаводскую депрессию, показывает, что для нее характерен особый режим новейших движений — тенденция к опусканию [Экман, 1972]. В северной части депрессии прослеживается долина р. Шуя, вытянутая в северо-восточном направлении.

Современные реконструкции этапов развития Онежского озера [Субетто и др., 2019] показывают, что область Петрозаводской депрессии и долина р. Шуя в районе исследований полностью освободилась от ледникового покрова 14 тыс. лет назад, и здесь существовал залив Онежского ледникового озера, достигавшего максимальной трансгрессии 13,3 тыс. лет назад, испытывавший несколько стадий регрессий 13,2, 12,4 и 12,3 тыс. лет назад. [Субетто и др., 2019].

Свидетелями этих процессов являются озовые гряды и эрозионные уступы, развитые в бортах долины р. Шуя. Необходимо подчеркнуть, что ориентировка озв и долины реки согласована, и на значительном протяжении они пространственно совмещены. По существующим представлениям [Государственная..., 2000], озовые гряды в районе исследований относятся к верхнечетвертичным флювигляциальным отложениям ошастовского горизонта валдайского надгоризонта (рис. 4, б). Известно также, что озовые гряды сопряжены с тектоническими разломами [Левков, 1980; Лукашов, Ильин, 1974].

Материал и методы исследования. В ходе полевых наблюдений в южном борту долины р. Шуя нами детально изучен разрез рыхлых отложений, вскрытых карьером в районе дер. Половина (Прионежский район республики Карелия). В расчистке зафиксированы 22 разрывных нарушения сбросовой кинематики, элементы залегания которых приведены в таблице. Для реконструкции положения главных нормальных осей напряжений эти замеры

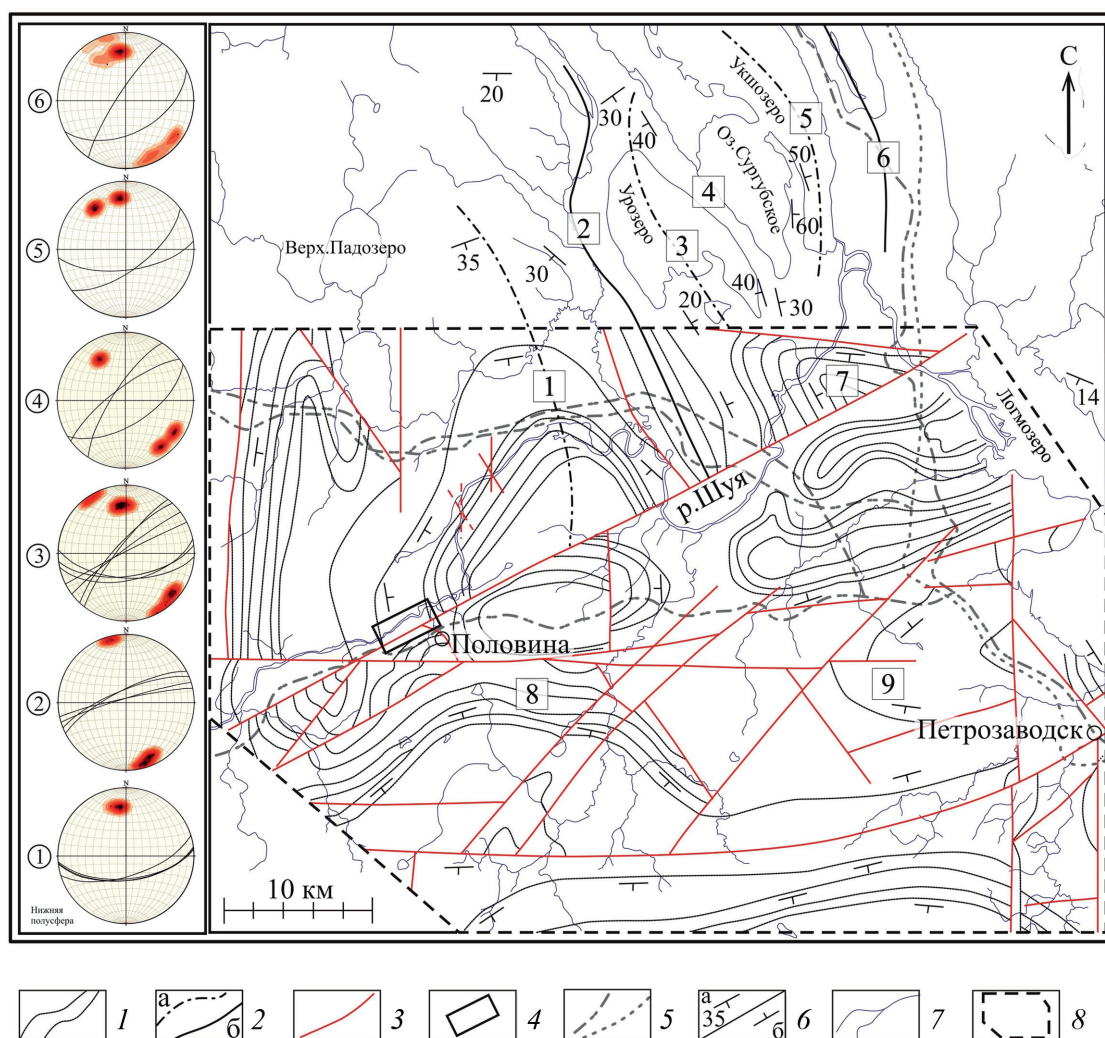


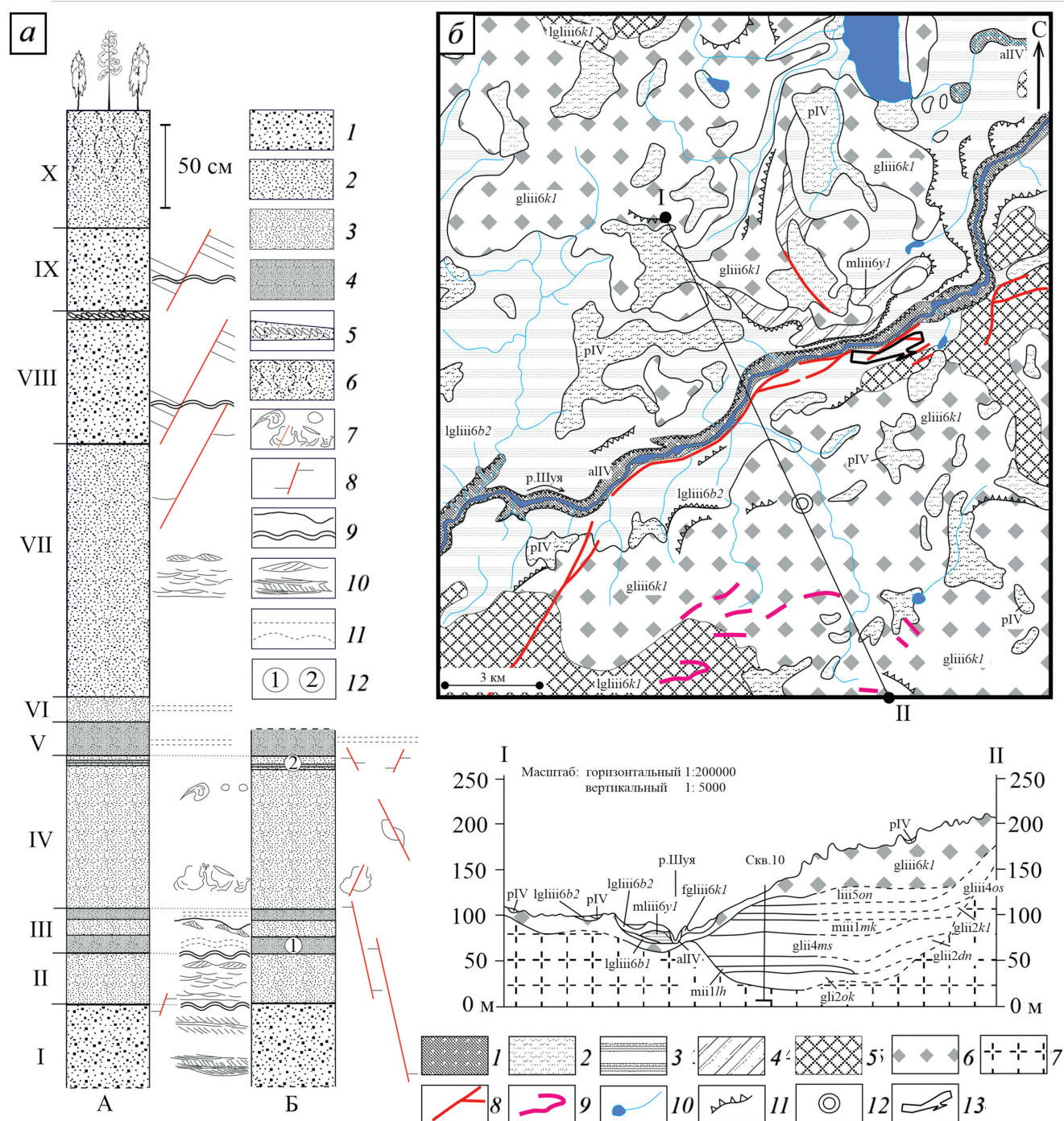
Рис. 3. Схема ориентировки основных тектонических элементов окрестностей района исследований (составлена по данным: [Михайлов и др., 2014; Сыстра, 1991; Экман, 1971] с дополнениями. Цифры в квадратах — структуры: Синклинали (Виданская (1), Урозерская (3), Укшезерская (5) и Нижнешуйская (7)); антиклинали (Чалнинская (2), Сургубская (4), Кончезерская (6), Вилгинская (8) и Сулажгорская (9)). 1 — линии простираения геологических структур; 2 — оси складок: а — синклиналей; б — антиклиналей; 3 — разрывные нарушения, по [Михайлов и др., 2014]; 4 — район работ; 5 — дороги; 6 — элементы залегания: а — установленные; б — предполагаемые; 7 — реки; 8 — положение врезки с геологическим строением, по [Михайлов и др., 2014]. На врезке показаны диаграммы групп замеров из таблицы, построенные в программе Stereonet

обработаны методом катакlastического анализа разрывных смещений Ю.Л. Ребецкого, реализуемого в программе STRESSgeol [Ребецкий и др., 2017]. Ее использование позволяет в автоматизированном режиме выделить однородные выборки таким образом, чтобы на совокупности элементов одной выборки достигалась максимальная диссипация упругой энергии, а количество выборок было минимальным. Для визуализации положения областей сжатия и растяжения, главных нормальных осей напряжений

применялись также программы Р. Алльмендинера Stereonet и FaultKin [Allmendinger et al., 2012].

Фактический материал. Вскрытые карьером рыхлые, предположительно, голоценовые песчаные толщи, развитые в поле верхнечетвертичных озерно-ледниковых отложений времени второго балтийского доледникового озера, имеют мощность >10 м (рис. 4, 5). В южной части карьера непосредственно под почвенным слоем обнажается толща разноразмерных песков с прослоями алевролитов и

Рис. 4. Схема строения и выявленная стратиграфическая последовательность четвертичных отложений в песчаном карьере в южном борту р. Шуй. а — колонки, отражающие последовательность слоев в борту (А) и в области расчистки (Б) в центральной части карьера (рис. 5, в). Римскими цифрами обозначены выделенные слои, арабскими цифрами в кружках — маркирующие прослои в пределах расчистки (пояснения в тексте): 1 — сероцветные грубозернистые плохосортированные пески с гравийными и галечными включениями; 2 — сероцветные грубозернистые и среднезернистые плохосортированные пески с косой слоистостью; 3 — желтовато-серые мелко-среднезернистые хорошо сортированные пески с прослоями алевролитов; 4 — темно-серые алевролиты; 5 — прослой грубозернистого гравийно-галечного материала; 6 — корневая система и почвенный слой; 7 — желтовато-серые амёбообразные обособления (нодулы) хорошо сортированного песчаного материала в сероцветных средне-мелкозернистых песках; 8 — положение в разрезе выявленных разрывных нарушений и их амплитуда; 9 — положение размывов; 10 — выявленные



осадочные текстуры (линзовидная и косая слоистость, нодульные образования); 11 — неотчетливая горизонтальная и волнистая слоистость; 12 — маркирующие прослои

б — схема распространения четвертичных отложений в районе исследований по данным [Экман, 1971]: 1–2 — современные отложения: 1 — аллювиальные (allV); 2 — органогенные (pIV); 3–4 — слои бассейна Балтийского моря: 3 — озерно-ледниковые отложения времени второго балтийского доледникового озера (lgliiib62); 4 — морские отложения трансгрессии июльдя I (miiib61); 5–6 — нижнекарельские слои: 5 — озерно-ледниковые отложения (lgliiib61); 6 — ледниковые отложения первого карельского надвига (gliiib61); 7 — фундамент; 8 — озовые гряды (fgliiib61); 9 — конечные морены; 10 — реки и озера; 11 — уступы; 12 — скважина № 10; 13 — контуры песчаного карьера.

Буквенные обозначения (только на разрезе): lglii6b1 — озерные отложения первого Балтийского ледникового озера: верхнечетвертичные отложения, валдайский надгоризонт, ошашковский горизонт, карельский ледниковый подгоризонт, слои Балтийского ледникового моря; fglii6k1 — флювигляциальные отложения: нижнекарельские слои; liii5on — озерные отложения: онегоозерский межледниковый подгоризонт; gliii4os — озерно-ледниковые отложения: ошашковский максимальный ледниковый подгоризонт; gliii2kl — ледниковые отложения: калининский ледниковый горизонт; miii1mk — морские отложения: микулинский межледниковый горизонт; glii4ms — ледниковые отложения: среднечетвертичные отложения, среднерусский надгоризонт, московский ледниковый горизонт; glii2dn — ледниковые отложения: днепровский ледниковый горизонт; miil1h — морские отложения: лихвинский межледниковый горизонт; gli2ok — ледниковые отложения: нижнечетвертичные отложения, окский горизонт

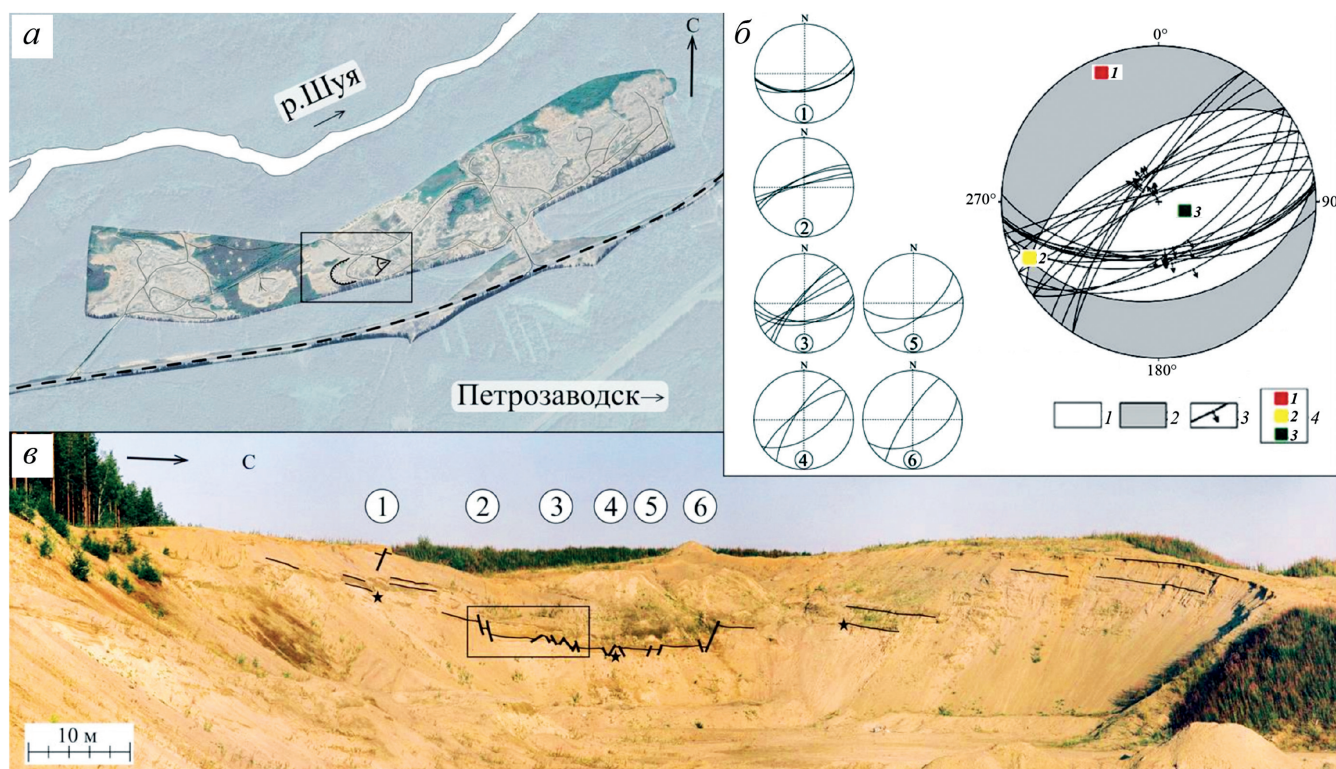


Рис. 5. Общий вид на карьер в плане (а) и разрезе (в) в южном борту р. Шуя и результаты обработки элементов залегания разрывных нарушений (б).

а — пунктиром показана автотрасса; прямоугольником — район исследований, дугой — изученная стенка карьера и точка экспозиции панорамы на рис. в.

б — реконструкция положений главных нормальных осей напряжений по замерам элементов залегания разрывных нарушений сбросовой кинематики в песчаных отложениях, вскрытых в карьере: 1 — области сжатия, 2 — области растяжения; 3 — поверхности сместителей сбросов и направления смещения; 4 — положения главных нормальных осей напряжений: 1 — растяжения, 2 — промежуточной, 3 — сжатия. Диаграммы построены в программах Stereonet и FaultKin [Allmendinger et al., 2012].

в — панорама изученной фронтальной стенки карьера, вскрывшего разрез песчаных отложений. Звездочкой показана кровля слоя I грубозернистых песков с косой слоистостью. Цифры в кружках — группы замеров на рис. Б. Колонка отложений под почвенным слоем (рис. 4, а, А) располагается в области первой группы замеров; область расчистки показана прямоугольником. Черными пологими линиями подчеркнута слоистость, а круто падающими выделены изученные разрывы

гравийно-галечных горизонтов/линз общей мощностью более 7 м (рис. 4). Для этих отложений (рис. 5, в) отчетливо прослеживается слоистость, имеющая падение по азимуту $320-330^\circ$, угол падения $15-20^\circ$. На разных уровнях разреза (рис. 4, в, слой I, VII-IX) проявлены разрывные нарушения сбросовой кинематики с амплитудами смещения до 0,5 м (таблица, группа 1). В основании расчистки располагаются крупнозернистые пески слоя I мощностью >2 м, с косой слоистостью, падающей в северных румбах, в сторону современного положения долины р. Шуя. Кровля этих песков является хорошим реперным уровнем для реконструкции общего облика вскрытой структуры (рис. 5).

Например, если проследить в разрезе изменение гипсометрического уровня этого репера (рис. 5, в), то можно заключить, что в центральной части структуры он находится на 3 м ниже, чем на смежных склонах. Также обращает на себя внимание несовпадение положения этого репера в южном и северном склонах карьера с учетом общего падения слоистости. Иными словами, если принять за основу

нормальное падение слоистости в южном склоне, то положение репера в северном склоне должно быть на несколько метров ниже, чем наблюдается.

В 6 м к северо-востоку от установленной вертикальной последовательности слоев (рис. 5, А) заложена детальная расчистка, отражающая структурные особенности развитых здесь дислокаций (рис. 6). Общая длина расчистки достигает 10 м, высота 2,5 м. В ее пределах обнажаются рыхлые отложения слоев № I-V (рис. 4, а, колонка А). Они нарушены деформационными процессами, развивавшимися условно в два этапа — начального, или пластичного, проявившегося до уплотнения осадка, представленного амебообразными песчаными нодульными обособлениями (слой № IV) и последующего этапа формирования хрупких разрывов, осложняющих как отдельные прослои, так и всю их последовательность.

В юго-западной части расчистки развита система 2 однонаправленных крутопадающих сбросов (рис. 6, кв. Б-В-3-4) суммарной амплитудой 1,5 м и падением к северо-востоку (таблица, группа 2).

Элементы залегания разрывных нарушений сбросовой кинематики в рыхлых песчаных отложениях в районе дер. Половина

№	Азимут падения	Угол падения	№ группы и стереограммы
1	173°	60°	1
2	175°	62°	
3	174°	60°	
4	163°	65°	
5	338°	75°	2
6	343°	85°	
7	333°	75°	
8	348°	85°	
9	183°	60°	3
10	168°	57°	
11	308°	80°	
12	313°	77°	
13	323°	85°	4
14	173°	62°	
15	333°	88°	
16	323°	75°	
17	148°	60°	5
18	303°	75°	
19	173°	65°	
20	143°	65°	
21	303°	80°	6
22	153°	50°	

Расстояние между сбросами — 1,5 м. Поверхности разрывов спрямленные, местами извилистые. Для «северного» сброса характерны ступенчатые изгибы. Разрыв разветвляется, образуя структуры линзовидной морфологии наподобие дуплекса растяжения (рис. 6, кв. Б-4). Вдоль поверхности разрывных нарушений развит крупнозернистый полимиктовый песчаный материал с окатанными гравийными зернами, заимствованный из слоя I.

В пространстве между двумя крупными сбросами устанавливается три уровня разрывных нарушений: 1) нижние — установлены в пределах пачки I и представлены малоамплитудными сбросами с падением к юго-западу (кв. А-4); 2) средние — в пределах слоя II образуют небольшие грабенообразные структуры, ограниченные серией малоамплитудных (первые сантиметры) крутопадающих однонаправленных сбросов (кв. Б-3-4); 3) верхние — в пределах слоя IV представлены серией сбросов, образующих веерообразную структуру (кв. А-3-4).

Обращаясь к описанию центральной части расчистки, сначала обратим внимание на изменение мощности выделенных слоев, а затем — на секущие их разрывные нарушения. В центральной части расчистки (рис. 6, кв. А-В-5-19) выделены два маркирующих горизонта алевролитов (рис. 6, цифры в кружках 1, 2). Для них характерны области нормального (кв. 4-13 и кв. 17-19) и сближенного (кв. 14-17) взаиморасположения. В первом случае оба маркера на равном расстоянии друг от друга

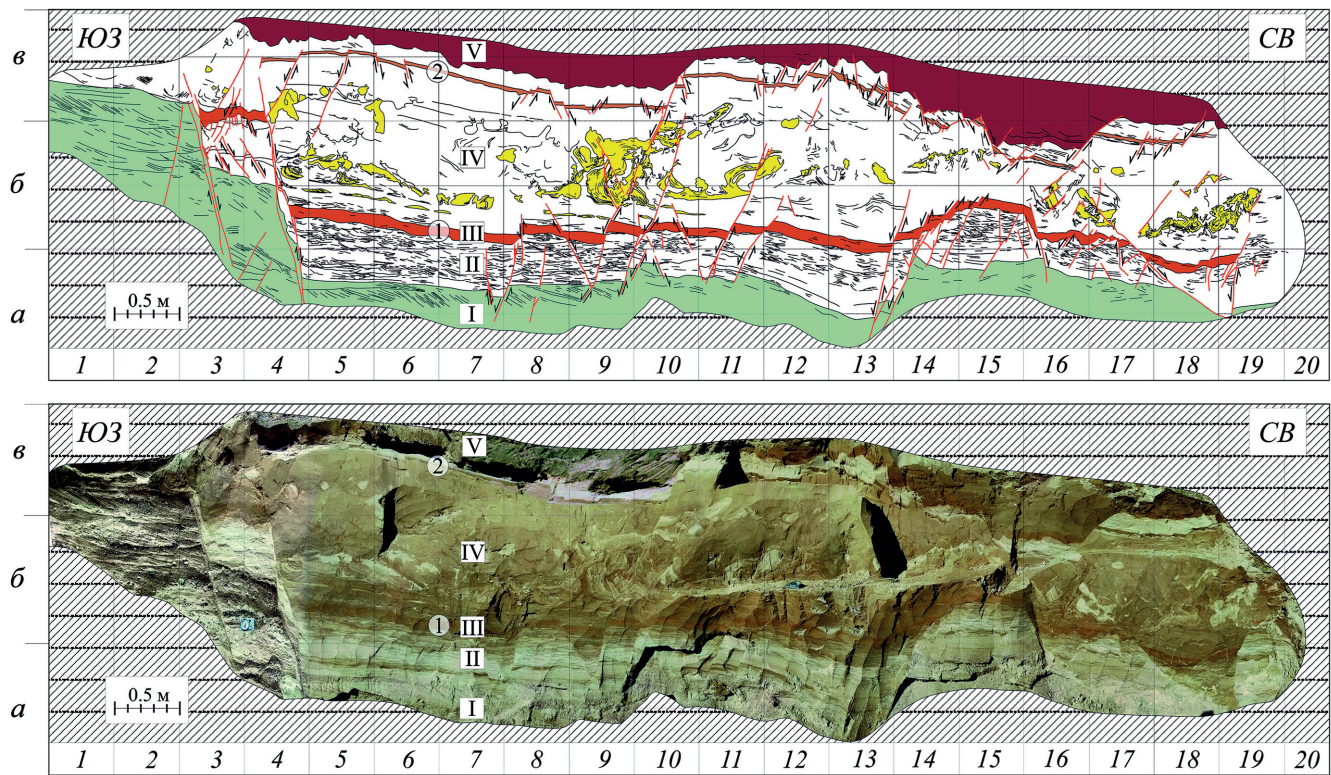


Рис. 6. Детальная расчистка, отражающая особенности дислокаций осадочных толщ в карьере около дер. Половина. Вверху — схема дешифрирования, внизу — панорама расчистки. Римскими цифрами обозначены слои, соответствующие слоям в колонке (рис. 4, а); арабские цифры в кружках — первый и второй маркирующий слой

прослеживаются на 4,5 м (кв. 4-13), ограничивая слой IV с выдержанной мощностью 1,4 м. Далее расположения этих слоев меняется, они сближаются на расстояние около 0,5 м (кв. 14-17), а затем вновь расходятся, и мощность слоя IV возвращается к нормальным значениям (кв. 17-19). Важно отметить, что изменение мощности не сопровождается соответствующим изменением вещественного состава, происходит на коротком интервале разреза, а область редуцированной мощности (кв. 14-17) насыщена разрывами. Рассмотрим эту область подробнее. Положение маркера 1 очерчивает горстообразное поднятие (кв. 14-17), ограниченное с северо-востока сбросом (кв. А-Б-16), а с юго-запада — веером однонаправленных сбросов (кв. А-Б-13-15). Этот веер представлен частыми и малоамплитудными разрывами с суммарным смещением до 0,4 м. Поднятие и ограничивающие его сбросы уверенно фиксируются в нижележащих слоях, при этом в верхнюю часть обнажения прослеживается лишь один сброс (кв. Б-17-18). Положение маркирующего горизонта 2 на этом участке вырисовывает практически зеркальную картину — асимметричное грабенообразное понижение (кв. Б-15-17), ограниченное с юго-востока серией частых малоамплитудных сбросов, а с северо-востока (кв. Б-16-17) — единичным сбросом с амплитудой до 0,5 м.

При прослеживании разрывных нарушений в разрезе расчистки (кв. 4-16) выявлены следующие закономерности. В ее южной части (кв. В-4-6) развита серия малоамплитудных разнонаправленных сбросов с падением к юго-западу и северо-востоку, которые выделяются по смещению маркирующего слоя 2 и затрагивают только верхнюю часть расчистки, не прослеживаясь выше и ниже по разрезу. В центральной части (кв. А-В-8-11) развиты малоамплитудные разрывы сбросовой и взбросовой кинематики (табл., группа 3), затрагивающие оба маркирующих горизонта. Единым сместителем для этих маркеров является сброс в кв. А-В-9-10, прочие затухают в слое IV. Крупные сбросы, пересекающие всю расчистку (кв. 3-4, 9-10, 15-16), вероятно, являются наиболее поздними (рис. 6, в, диаграмма 3).

В центральной части карьера в наиболее погруженной области (рис. 5, в) грабенообразной структуры развиты сбросы (таблица, группа 4, рис. 5, в, звездочка) суммарной амплитудой до 1 м, смещающие кровлю слоя I. Эта область наименее доступна для детального изучения вследствие регулярного оползания верхних водонасыщенных слоев центральной части склона. Далее к северу наблюдается противоположное плечо грабенообразной структуры. Гипсометрический уровень кровли слоя I повышается двумя ступенями сбросов с суммарной амплитудой до 1 м (табл., группа 5, рис. 5, б, в, диаграмма 5). Затем, через небольшое понижение, следует крупный сброс с падением к центру структуры и амплитудой около 2 м (таблица, группа 6), он очерчивает противоположный борт грабена.

Зафиксированные инструментально превышения бортов относительно наиболее погруженной части структуры составляют в левом плече грабена 4,5 м, а в правом — около 3 м.

Обработка замеров описанных выше разрывных нарушений сбросовой кинематики в программе STRESSgeol показала, что они являются элементами одной однородной выборки и полностью удовлетворяют критериям метода катакlastического анализа [Ребецкий и др., 2017]. Для этих разрывов рассчитаны необходимые условия формирования — в обстановке растяжения, ось которого погружается по азимуту 337° под углом 9° (рис. 5, Б).

Таким образом, наблюдения за изменением положения кровли слоя I, смещенного сериями крутопадающих хрупких разрывов сбросовой кинематики, позволяет интерпретировать выявленную структуру как грабен, основание которого имеет наклон, согласующийся с общим падением слоистости осадочных толщ. Участки разреза с ненарушенной или слабонарушенной стратификацией чередуются с участками, интенсивно затронутыми дислокациями. Простирающие ограничивающих и осложняющих эту структуру сбросов согласуется с северо-восточным простирающим расположенной севернее долины р. Шуя на этом участке (рис. 3–5, диаграммы).

Обсуждение. Формирование облика современного рельефа юго-восточной окраины Балтийского щита традиционно объясняется сочетанием экзогенных и эндогенных факторов. Снятие ледовой нагрузки, сопровождавшееся сейсмическими событиями, инициировало дифференцированное поднятие периферийной области щита и формирование сложного облика Южно-Онежской морфоструктуры: Олонецкой возвышенности, приподнятой в своей северо-западной части, центрального понижения и Шокшинской гряды, а также разрывов, секущих кристаллические и чехольные комплексы.

Для объяснения происхождения выявленных дислокаций целесообразно рассмотреть три гипотезы: 1) тектоническую, 2) техногенную, 3) гляциальную.

1. Согласно тектонической гипотезе, выявленные дислокации связаны с проявлением тектонического фактора, который также оказывал влияние и на условия образования осадочной толщи, например, на изменение мощности и особенностей внутреннего строения отдельных слоев. Так, формирование нодульных обособлений слоя IV может быть инициировано сейсмическим процессом и развиваться вследствие гравитационной неустойчивости [Neuwerth et al., 2006] и перераспределения материала. Изменение взаимного расположения маркирующих горизонтов 1 и 2 (рис. 6, кв. 13-17) определяется изменением мощности разделяющего их слоя IV. Принято считать, что подобные изменения происходят либо в процессе осадконакопления, например, при выклинивании слоя в области конседиментационного поднятия, либо вследствие после-

дующих постседиментационных преобразований. В рассматриваемом случае уменьшение мощности на коротком интервале не может быть обусловлено процессами осадконакопления, поскольку не сопровождается появлением линз конгломератов и грубозернистого материала, неизбежно сопровождающих локальные поднятия. Следовательно, оно произошло позднее, на постседиментационном этапе. Учитывая, что кроме уплотнения каких-либо серьезных диагенетических преобразований эти толщи не претерпели, авторы считают возможным рассмотреть известный тектонический механизм, связанный со сдвиговыми дислокациями.

Подобные локальные изменения мощности слоев описаны в литературе в областях проявления субгоризонтальных подвижек по разломам, которые происходят в сдвиговых зонах по механизму отрицательной “структуры цветка” [Jackson, Hudec, 2017]. В результате формируется грабенообразная структура, осложненная разрывами сбросовой кинематики, морфология которой аналогична выявленной структуре со сходными вариациями мощностей отдельных прослоев. Такая структурная аналогия показывает, что и формирование выявленного грабена могло происходить по сходному механизму в обстановке трансенсии, вдоль разрыва северо-восточного простираия (рис. 3, 7).

Установленные закономерности ориентировки новейших разрывных нарушений, согласующиеся с ориентировкой древних разрывов, вероятно, обусловлены проявлениями региональной тектоники, которые контролировали ориентировку этих крупных геологических тел и структур, а также линеаментов (участков речных долин, границ тектонических структур и т.д.) в районе исследования. Сопоставление ориентировок выявленных разрывных нарушений с ориентировкой геологических структур фундамента и линеаментов, выявленных по цифровой модели рельефа (рис. 1–3) показывает, что наиболее ярко проявлена такая согласованность с ориентировкой крупных субширотных разрывов Южно-Онежской мульды и линеаментов БМЗ. Напротив, северо-западные направления, характерные для морфоструктур Северо-Онежской мульды, не проявлены.

Спрямоленный участок долины р. Шуя в области влияния разлома северо-восточного простираия (рис. 3) можно проинтерпретировать как морфоструктуру растяжения. В таком случае ось растяжения на новейшем этапе должна быть ориентирована вкрест ее простираия (по азимуту $\sim 330^\circ$), что хорошо согласуется с результатами реконструкции положения главных нормальных осей напряжений по замерам элементов залегания сместителей сбросов (рис. 4, б). Также обращает на себя внимание пространственное совмещение долины р. Шуя и протяженных озовых гряд. Такая согласованность также может быть связана с проявлением тектонического фактора, что подтверждает существующие

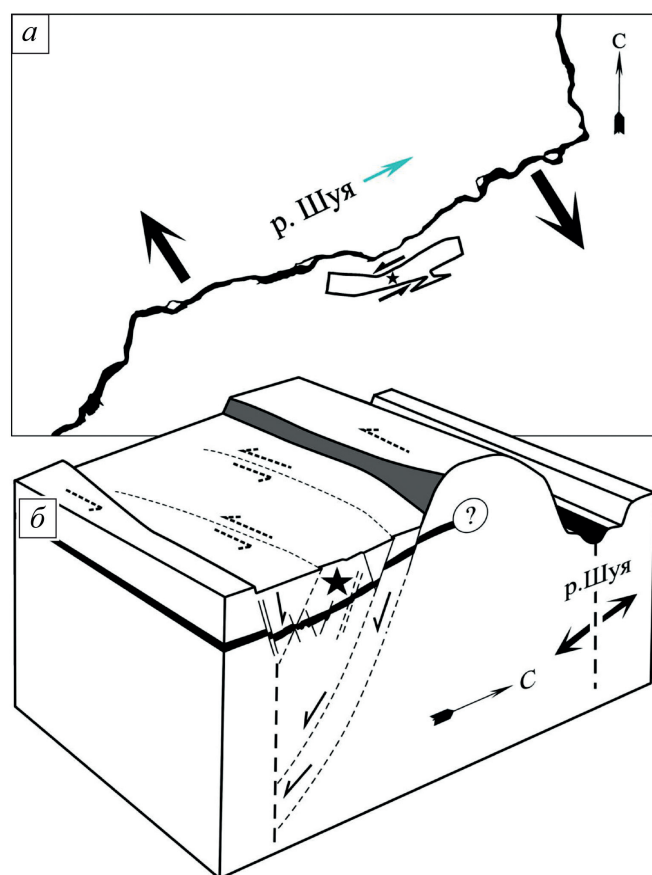


Рис. 7. Спрямоленный участок р. Шуя в районе дер. Половина, интерпретируемый как предполагаемая морфоструктура растяжения: а — спрямоленный участок реки, стрелками показана предполагаемая ориентировка оси растяжения; б — модель формирования грабенообразной структуры в режиме левосторонней трансенсии. Черный горизонт — кровля слоя I. Левый сдвиг предполагается исходя из общего рисунка грабена вслед за данными [Jackson, Hudec, 2017]. Звездочкой показан объект наблюдения

представления о связи формирования озов с разломами фундамента.

2. Техногенная гипотеза подразумевает, что формирование выявленных дислокаций связано с оползневыми процессами, которые инициированы вычерпыванием песка при разработке карьера. Эта гипотеза не подтверждается визуальными наблюдениями и не дает объяснения некоторым характерным особенностям выявленных нарушений: 1) согласованному простираию разрывов и речной долины с простираием крупных тектонических элементов; 2) наличию разрывов под ненарушенным почвенным слоем в бортовой части выработки, не затронутой техногенными воздействиями (рис. 4, а, колонка А). Неясными остаются и некоторые структурные особенности, такие как изменение мощности осадочных прослоев (слой IV) на коротком интервале разреза.

3. Гляциальная гипотеза. Гляциодислокации объединяют весь спектр разнообразных структур сжатия и растяжения, связанных с ледниковыми процессами. Наиболее близки к изученным по своей морфологии грабенообразные структуры, которые формируются вследствие заполнения пространства

над залежами мертвого льда [Левков, 1980; Gruzskaya, Van Loon, 2011]. Для них характерны синформные изгибы крутопадающих слоев в основании и локальные конседиментационные раздувы мощности верхних слоев, находящихся над областью таяния льда. При развитии таких структур крупные сбросы ограничивают области трапецевидной формы (в вертикальном сечении) и направлены как во внешнюю сторону, к контактам со льдом [Левков, 1980], так и падают к центру структур, локализуясь в бортовых частях синформ [Gruzskaya, Van Loon, 2011]. Мелкие сбросы часто развиваются в центральных частях структур и ориентированы наподобие перевернутого веера. Углы падения слоистости нижних толщ, выполняющих эти синформы, характеризуются значительными вариациями на коротких интервалах, увеличиваясь к центру структур. Перечисленные особенности строения не согласуются с нашими наблюдениями. Важно отметить, что несмотря на то, что присутствие ледника в районе исследований (озовые гряды, конечные морены и др. (рис. 4, Б)) не вызывает сомнений, признаков прямого воздействия ледового панциря (скибовые дислокации, термокарстовые явления [Левков, 1980]) на изученные толщи выявлено не было. Эти факты, учитывая современные реконструкции развития Онежского озера [Субетто и др., 2019], также могут свидетельствовать в пользу тектонической гипотезы формирования выявленных дислокаций.

Завершая рассмотрение гипотез, можно заключить, что ведущим в формировании выявленных дислокаций, по-видимому, являлся тектонический фактор. Закономерная ориентировка выявленных разрывных нарушений, согласующаяся с ориенти-

ровкой древних разломных зон (рис. 4, диаграммы), может быть следствием их парагенетических взаимоотношений и свидетельствовать о новейшей активизации этих зон [Левков, 1980].

Выводы. Выявленные дислокации в рыхлых четвертичных отложениях Петрозаводской депрессии образуют грабенообразную структуру в южном борту р. Шуя. Простираание разрывов закономерно согласуется с общим северо-восточным простираанием Балтийско-Мезенской зоны, а также субширотных линеаментов и разрывных нарушений Южно-Онежской мульды, озовых гряд и долины р. Шуя. Такая согласованность наиболее удачно объясняется проявлением тектонического фактора и, вероятно, заключается в реализации проявления трансензионных сдвиговых дислокаций по механизму отрицательной «структуры цветка». Реализация этого процесса возможна вследствие деформации древнего палеопротерозойского фундамента с формированием перекошенной морфоструктуры [Экман, 1972] Южно-Онежской мульды (рис. 2, профиль) на новейшем этапе развития и воздыманием Олонецкой возвышенности (рис. 2, б). Сочетание северо-восточной ориентировки осевой части Петрозаводской тектонической депрессии, озовых гряд и долины р. Шуя, крупных разрывных нарушений и выявленных дислокаций позволяет подтвердить представления об унаследованном [Шатский, 1955] характере реализующихся здесь тектонических процессов.

Финансирование. Исследования проведены в рамках темы Госзадания ГИН РАН (А.В. Полещук, Д.С. Зыков и С.Ю. Колодяжный) и темы Госзадания ИФЗ РАН (А.О. Агибалов, А.А. Сенцов)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: Интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и ТАТСЕЙС / Ред. А.Ф. Морозов. М.: ГЕОКАРТ, ГЕОС, 2010. Т. 2, вып. 4. 400 с.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1000 000. Карта четвертичных образований. Р-(35)-37 (Петрозаводск) на 2 листах. Лист 2. Схема мощностей четвертичных образований. Масштаб 1: 2500 000. М.: ВСЕГЕИ, 2000.

Доливо-Добровольский А.В. Балтийский щит. Линеаменты и кольцевые образования. в кн. Космическая информация в геологии / Гл. ред. А.В. Пейве, А.В. Сидоренко, А.Л. Яншин. М.: Наука, 1983. С. 173–179.

Колодяжный С.Ю., Терехов Е.Н., Балуев А.С. и др. Тектоника и этапы эволюции Балтийско-Мезенской сдвиговой зоны в фанерозое, северо-запад России // Геотектоника. 2020. № 1. С. 3–22.

Кондаков С.Н., Петров Ю.В., Булавин А.В. и др. Блоковое и глубинное строение Онежского прогиба // Блоковая тектоника и перспективы рудоносности северо-запада Русской платформы. Л.: Изд. ВСЕГЕИ, 1986. С. 68–75.

Крапивнер Р.Б. Происхождение приповерхностных деформационных структур областей динамического влияния разломов // Геотектоника. 1992. № 3. С. 27–36.

Левков Э.А. Гляциотектоника. Минск: Наука и техника, 1980. 280 с.

Лукашов А.Д., Ильин В.А. Озы и тектонические нарушения. Новейшие и современные движения земной коры вост. части Балтийского щита. Петрозаводск, 1974. С. 43–46.

Михайлов В.А., Лодыгин А.Н., Кушнеренко В.К. Особенности геологического строения и металлоносность Шуйско-Петрозаводской площади (Республика Карелия) // Региональная геология и металлогения. 2014. № 59. С. 61–69.

Николаева С.Б. Отражение палеосейсмических событий в позднеплейстоцен-голоценовых отложениях террас озера Имандра (Кольский регион) // Геоморфология. 2021. № 1. С. 86–99.

Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минералогия) / Отв. ред. Л.В. Глушанин, Н.В. Шаров, В.В. Щипцов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. 431 с.

Полканов А.А. Геология хогландий-иотния Балтийского щита // Труды лаборатории геологии докембрия. Вып. 6. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. 122 с.

Ребецкий Ю.Л., Сим Л.А., Маринин А.В. От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям. Методы и алгоритмы. М.: ГЕОС, 2017. 234 с.

Субетто Д.А., Потахин М.С., Зобков М.Б. и др. Развитие Онежского озера в позднеледниковье по результатам ГИС-моделирования // Геоморфология. 2019. № 3. С. 83–90.

Сыстра Ю.И. Тектоника Карельского региона / Отв. ред. М.М. Стенарь. СПб.: Наука, 1991. 175 с.

Шатский Н.С. О происхождении Пачелмского прогиба. Сравнительная тектоника древних платформ // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1955. Т. 30, вып. 5. С. 5–26.

Шварев С.В. Постледниковые сейсмогенные деформации озовой гряды в северной части Карельского перешейка // Геоморфология. 2019. № 3. С. 19–35.

Экман И.М. Карта четвертичных образований СССР (первое издание). Масштаб 1 : 200000. Лист Р-36-XXII / Ред. Н.И. Апухтин. М.: ВСЕГЕИ, 1971.

Экман И.М. Морфоструктуры западного Прионезья // Четвертичная геология и геоморфология восточной части Балтийского щита / Отв. ред. Г.С. Бискэ. Л., 1972. С. 15–24.

Ядута В.А. Неотектоника. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Лист Р-(35)-37-Петрозаводск. Объяснительная записка / Ред. Ю.Б. Богданов, К.Э. Якобсон. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. 322 с.

Allmendinger R.W., Cardozo N.C., Fisher D. Structural geology algorithms: Vectors & Tensors. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. 302 p.

Jackson M.P.A., Hudec M.R. Strike-Slip Salt-Tectonic Systems // Salt Tectonics, Publ: Cambridge University Press, 2017. P. 336–362.

Gruszka B., Van Loon A.J. Genesis of a giant gravity-induced depression (gravifossum) in the Enköping esker, S. Sweden // Sedimen. Geol. 2011. Vol. 235. P. 304–313.

Neuwerth R., Suter F., Guzman C.A., Gorin G.E. Soft-sediment deformation in a tectonically active area: The Plio-Pleistocene Zarzal Formation in the Cauca Valley (Western Colombia) // Sedimentary Geology. 2006. Vol. 186, No. 1–2. P. 67–88.

Статья поступила в редакцию 29.12.2022,
одобрена после рецензирования 22.03.2023,
принята к публикации 22.05.2023