

Палеосейсмогенные деформации рыхлых отложений Кольского и Архангельского побережий Белого моря: типы, распространение и возраст

Шварев С.В. ^{1, 2}

¹ *Институт географии РАН, Москва, s.v.shvarev@gmail.com*

² *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, shvarev@ifz.ru*

Аннотация. В статье представлены данные о палеосейсмогенных деформациях в отложениях побережий Белого моря – Терского, Канда拉克шского, Зимнего и Абрамовского берегов. Деформации изучены в 29 разрезах преимущественно межледниковых позднеплейстоценовых бассейновых осадков. Деформации включают разрывные, складчатые типы и различные формы разжижения – кластические дайки, структуры гравитационного погружения (load cast) и восходящего внедрения (water escape), гомогенизацию и фрагментацию слоистых толщ, горизонты деформаций с интенсивным перемешиванием. В большинстве случаев сейсмогенные текстуры различных типов проявляются совместно. В нескольких разрезах обнаружены следы нескольких сейсмических событий, в отдельных случаях до первых десятков (16 горизонтов сейсмиков), что, в сопоставлении с интервалом накопления толщи определяет периодичность палеоземлетрясений в позднем плейстоцене 500–1000 лет. Наблюдается концентрация наиболее крупных структур в северной части Горла Белого моря.

Ключевые слова: палеоземлетрясения, Терский берег, Зимний берег, поздний плейстоцен, голоцен.

Paleoseismic deformations of loose sediments of the Kola and Arkhangelsk coasts of the White Sea: types, distribution and age

Shvarev S.V. ^{1, 2}

¹ *Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, s.v.shvarev@gmail.com*

² *Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, shvarev@ifz.ru*

Abstract. The article presents data on paleoseismic deformations in sediments of the coasts of the White Sea – the Tersky, Kandalaksha, Zimny and Abramovsky coasts. Deformations were studied in 29 sections of mainly interglacial Late Pleistocene basin sediments. Deformations include faulted, folded types and various forms of liquefaction – clastic dikes, structures of gravitational immersion (load cast) and upward penetration (water escape), homogenization and fragmentation of layered strata, deformation horizons with intensive mixing. In most cases, seismogenic textures of various types appear together. Traces of several seismic events have been found in several sections, in some cases up to the first tens (16 horizons of seismites), which, in comparison with the interval of accumulation of strata, determines the frequency of paleoearthquakes in the late Pleistocene 500–1000 years. There is a concentration of the largest structures in the northern part of the Gorlo Strate of the White Sea.

Keywords: paleoearthquakes, Tersky Coast, Zimny Coast, Late Pleistocene, Holocene.

Введение

В последние десятилетия растёт количество данных о древних землетрясениях Фенноскандии. Выводы о сильной древней сейсмичности территории опираются, прежде всего, на исследование сейсмогенных деформаций в рельефе, скальных породах и рыхлых четвертичных отложениях. Не оставляют сомнений в происхождении крупные постледниковые разломы, протяжённостью в первые сотни км с уступами, достигающими первых десятков метров, сосредоточенные в северо-западной части Фенноскандии и объединённые в Лапландскую разломную провинцию (Lagerbäck&Sund, 2008). К этим разломам – первичным палеосейсмодеформациям, тяготеют и экзогенные процессы – оползни, каменные лавины, массовые смещения материала, а также деформации в четвертичных осадках, что позволяет и эти проявления однозначно относить к палеосейсмогенным (Ojala et al., 2018). В восточной Фенноскандии разломов, аналогичных по своей выразительно-

сти, нет, поэтому массово наблюдаемые, преимущественно вторичные сейсмогенные формы остаются предметом острых дискуссий, поскольку обладают определенным сходством с деформациями другого генезиса – гляциотектоническими, мерзлотными, гравитационными, седиментационными.

Качественный и количественный скачок в изучении палеосейсмогенных форм произошел в последние 10 лет и связан он с применением новых технических средств – лазерного сканирования (на суше) и многолучевого эхолотирования (в акваториях) в комбинации с высокоразрешающими геофизическими методами для приповерхностных горизонтов – георадиолокации и сейсмоакустики. Эти средства позволяют детально анализировать рельеф и подстилающий субстрат и выявлять активизированные разломы, нарушающие плейстоценовые и голоценовые отложения, а также комплексы деформаций к ним приуроченных. Что касается суши, то массовое покрытие лазерной съемкой западной части Фенноскандии позволило выявить на основе детальных ЦМР новые активизированные разломы и приуроченные к ним комплексы вторичных форм далеко за пределами Лапландской провинции, а, кроме того, обнаружить новые типы, обладающие признаками подледникового развития. В восточной части Фенноскандии лазерную съемку, отчасти, заменяет дистанционное зондирование с помощью БПЛА, что не дает массового эффекта в обнаружении сейсмогенных форм рельефа, но, в комбинации с использованием доступных ЦМР среднего разрешения (AsterGDEM, ArcticDEM) позволило в последние годы детально исследовать голоценовые сейсмогенные разрывы на Кольском полуострове (Шварев и др., 2021) и в северной Карелии (Шварев и др., 2022). Комплексный анализ данных по палео-, архео-, историческим и инструментальным данным о землетрясениях восточной Фенноскандии позволил выделить основные сейсмолинеаменты (Никонов, Шварев, 2015; Николаева и др., 2019), в пределах которых детально изучены проявления поздней и послеледниковой (голоценовой) активизации разломов (Munier et al., 2020; Nikolaeva et al., 2022).

Кардинальное значение для понимания общей ситуации в восточной Фенноскандии дали материалы по субаквальному рельефу Белого моря и строению донных отложений (Рыбалко и др., 2011, 2013; Никифоров и др., 2013; Старовойтов и др., 2018). Они дают основание для утверждения о наличии крупных, протяженностью до первых сотен км, высокоамплитудных, до нескольких десятков метров – первых сотен метров в позднем плейстоцене и первых десятков метров в голоцене, активизированных тектонических нарушениях в акватории Кандалакшского залива, определяющих новейшее развитие и сейсмичность Белого моря. Очевидно, что новейшая морфоструктура Белого моря, главным элементом которой является обновленный Кандалакшский грабен северо-западного простирания, включает не только его составляющие, но и второстепенные разломы, и, прежде всего, поперечные структуры северо-восточного простирания, протягивающиеся от Соловецкого архипелага через Горло Белого моря, обрамляющие глыбу Кольского полуострова и сопрягающиеся с Мурманской зоной от северо-восточного побережья Кольского полуострова в сторону основания п-ова Канин и вдоль Абрамовского берега к Мезенской губе (Балуев и др., 2010).

Имеющиеся данные позволяют считать всю акваторию Белого моря потенциальной ареной древних землетрясений и рассматривать сейсмогенез в качестве одного из ведущих факторов формирования деформационных структур на его побережьях. В этом ключе необходимо рассматривать распространение этих структур, типы, масштабы проявления, возраст, повторяемость, кинематические характеристики, временные и пространственные комбинации. Эти данные обеспечивают, с одной стороны, корректный палеотектонический анализ, а с другой – актуализацию и детализацию палеогеографических реконструкций.

Материалы и методы

В работе использованы данные собственных геолого-геоморфологических наблюдений, стратиграфо-генетического, стратиграфо-литологического анализа разрезов рыхлых отложений Прибеломорья и результатов инструментального датирования, методы палеосеймотектонического анализа деформационных текстур (Obermeier, 1996; McCalpin (ed.), 1996).

В основе временных оценок для деформационных эпизодов лежат полученные в последние годы инструментальные геохронологические данные. Они позволяют в коррелировать стратигра-

фические последовательности несколько основных разрезов, расположенных на Терском и Кандалакшском берегах Кольского полуострова в долинах рек Большая Кумжевая, Чапома, Каменка, Стрельна, Чаваньга, Варзуга, Умба, Колвица (Korsakova et al., 2004, 2019; Korsakova, 2009; Зарецкая и др., 2019), а также на Зимнем и Абрамовском берегах Беломорско-Кулойского плато в абразионных уступах на побережье и в долинах рек Това, Койда (Zaretskaya et al., 2020; Зарецкая и др., 2022).

Основные события позднего неоплейстоцена, запечатленные и достаточно хорошо сопоставимые в разрезах, включают: бореальную и беломорскую трансгрессии на протяжении МИС 5, морскую седиментацию в МИС 4, мезенскую трансгрессию на границе МИС 4 и МИС 3, морскую седиментацию в МИС 3, ледниковое и водноледниковое (озерно-ледниковое и ледниково-морское осадконакопление) в течение МИС 2, когда территория была полностью покрыта Скандинавским ледником.

Результаты исследований

Типы и распространение деформаций

По результатам изучения 29 разрезов межледниковых осадков (рис. 1) можно констатировать, что во всех разрезах в бассейновых, преимущественно песчано-глинистых позднеплейстоценовых осадках с преобладающей первичной градиационной нормальной слоистостью обнаруживаются те или иные постседиментационные деформации, к основным типам которых относятся разрывные, складчатые и разжижения (табл. 1). Наиболее распространены разрывные и складчатые деформации с амплитудами в диапазоне мм-первых десятков см и текстуры разжижения, проявляющиеся в гомогенизации слоистых осадков с незначительными (мм-см) смещениями материала, массово проявляющимися в разрывах тонких слоев илистых осадков и их фрагментации. Такие незначительные по масштабу конкретные проявления, но широко распространенные формы определяют фоновые условия, свидетельствуя о постоянном и повсеместном присутствии стрессового фактора, нарушавшего осадконакопление в позднем неоплейстоцене. Хотя и пространственное и временное постоянство четко дискретизируется отдельными проявлениями, позволяющими наметить с одной стороны «очаговые» участки с концентрацией наиболее интенсивных деформаций различного типа, а с другой – периодичность проявлений стрессового фактора на основании стратиграфического чередования нарушенных горизонтов в разрезах.

Таблица 1. Типы и параметры деформаций (цветом показаны масштабы и интенсивность деформаций: красный – максимальные; оранжевый – крупные; желтый – средние; зеленый – мелкие)

Table 1. Types and parameters of deformations (the color shows the scale and intensity of deformations: red – maximum; orange – large; yellow – medium; green – small)

Исрезка	Наименование	Постседиментационные деформации																											
		Разрывы со смещением (по амплитуде, м)			Трещины без смещения		Складки (по амплитуде, м)			Наклон толщи (по крутизне, град)			Разжижение																
		>1	1–0.1	<0.1			>1	1–0.1	<0.1	90-50	50-20	<20	Единичные текстуры гравитационного погружения (load cast)				Кластические даймы		Фрагментация		Деформационные горизонты (по мощности, м)								
					Крупные	Мелкие						Твердые (disruptions), в поперечнике, м		Пластичные (tears), по ширине, м		Нептунические (по высоте, м)		Иллюзионные (по высоте, м)		Разрывы слоев (по мощности, м)		Расклевывание фрагментов (по крутизне, м)		0.5-1	0.2-0.5	0.1-0.2	<0.1	>1 (масовое разжижение)	
														>0.1	<0.1	>0.1	<0.1	>1	<1	>1	<1	>0.1	<0.1	0.05-0.1	0.01-0.05	<0.01			
1	Умба	-	0.3	+	-	-	+	+	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.25	-	-	-	-
2	Каменка	-	0.1	+	-	-	-	-	0.2	-	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Стрельна	-	0.6	-	-	-	+	+	+	+	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.8
4	Варзуга	1.3	+	-	-	-	-	-	0.1	+	-	-	-	-	-	-	-	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Умба	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Умба	-	-	-	-	-	+	-	-	+	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05	1.2	-
7	Умба	-	0.1	+	-	-	-	-	0.2	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	Умба	-	0.45	+	-	-	-	-	-	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Умба	-	0.18	+	-	-	-	-	0.3	+	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Умба	-	0.3	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-
11	Умба	(1.0)	0.3-1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	Умба	-	-	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	Умба	(1.0)	1.0	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	Умба	-	0.6	+	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	0.45	+	+	-
15	Умба	-	(0.05)	-	-	-	-	-	(0.5)	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	Умба	-	(0.2)	-	-	-	-	-	0.2	(0.5)	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	Умба	-	0.1	+	-	-	-	-	-	-	30	-	-	-	-	-	0.4	-	-	(0.15)	-	-	-	-	-	0.25	-	-	-
18	Умба	-	0.2	+	-	-	-	-	10	-	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	Умба	-	0.02	+	-	-	-	-	(0.2)	+	-	15	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	-	-	-	0.21	-	-	-
20	Умба	(0.4)	0.01	-	-	-	-	-	(1.5)	-	90	-	-	-	-	-	1.1	+	-	0.1	-	-	-	-	-	0.25	-	-	-
21	Умба	-	0.3	+	-	-	-	-	0.3	+	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15	-	-
22	Умба	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	Умба	-	0.04	+	-	-	+	-	0.2	-	20	-	-	-	-	-	0.2	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	Умба	-	0.15	+	+	-	-	-	0.1	+	35	+	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	0.005	-	0.3	-	-	-	+
25	Умба	-	0.2	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-
26	Умба	-	0.12	+	-	-	+	-	-	-	55	-	-	-	-	0.18	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
27	Умба	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	Умба	(0.1)	-	-	-	-	-	-	-	-	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05	-	-	-	-	-	-	-
29	Умба	-	0.07	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	-	(0.05)	+	-	-	-	-	-

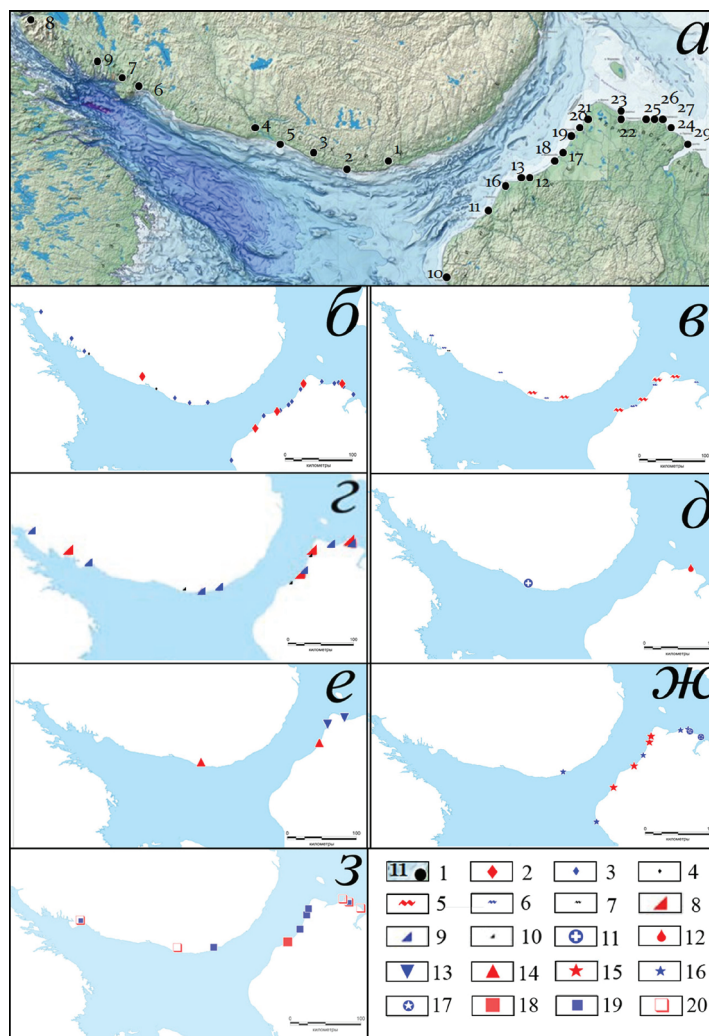


Рис. 1. Основные типы сейсмогенных деформаций:

а – расположение разрезов: 1 – номера разрезов; типы и выраженность деформаций: б – разрывные нарушения с амплитудой: 2 – более 1 м; 3 – от 1 м до 0.1 м; 4 – менее 0.1 м; в – складчатые нарушения с амплитудой: 5 – более 1 м; 6 – от 1 м до 0.1 м; 7 – менее 0.1 м; г – тектонический наклон (видимые элементы крупных складок): 8 – 90–50°; 9 – 50–20°; 10 – 20–5°; формы разжижения: д – единичные крупные формы гравитационного «проваливания» (load cast): 11 – кластического материала (валунов); 12 – пластичного материала (глин); е – единичные крупные (более 1 м) кластические дайки: 13 – непунические; 14 – инъекционные; ж – фрагментация (разрывы) глинистых прослоев: 15 – мощностью более 0.1 м; 16 – мощностью менее 0.1 м; 17 – дробная массовая фрагментация с раскатыванием глинистых прослоев в гальку и гравий; з – горизонты разжижения мощностью: 18 – более 0.5 м; 19 – менее 0.5 м; 20 – массовое разжижение (гомогенизация) толщи с нечеткими границами.

Fig. 1. Main types of seismogenic deformations:

а – location of sections: 1 – section numbers; types and severity of deformations: б – ruptures with amplitude: 2 – more than 1 m; 3 – from 1 m to 0.1 m; 4 – less than 0.1 m; в – folds with amplitude: 5 – more than 1 m; 6 – from 1 m to 0.1 m; 7 – less than 0.1 m; г – tilting (visible elements of large folds): 8 – 90–50°; 9 – 50–20°; 10 – 20–5°; forms of liquefaction: д – single large forms of gravitational «sinking» (load cast): 11 – clastic material (boulders); 12 – plastic material (clays); е – single large (more than 1 m) clastic dykes: 13 – neptunic; 14 – injection; ж – fragmentation (breaks) of clay interlayers: 15 – with a thickness of more than 0.1 m; 16 – with a thickness of less than 0.1 m; 17 – fractional mass fragmentation with rolling of clay interlayers into pebbles and gravel; з – liquefaction horizons with thickness: 18 – more than 0.5 m; 19 – less than 0.5 m; 20 – mass liquefaction (homogenization) of the strata with fuzzy boundaries.

Экстремальные проявления, к которым можно отнести разрывы со смещениями и складки с амплитудой более 1 м, а также мощные горизонты разжижения (более 0.5 м), характеризуют около половины всех изученных разрезов. Более выразительными оказываются пликативные деформации (рис. 2 г, д) – складки и флексуры достигающие амплитуд от 1.5–3 м (разрезы 1, 3, 16, 20, 21, 23)

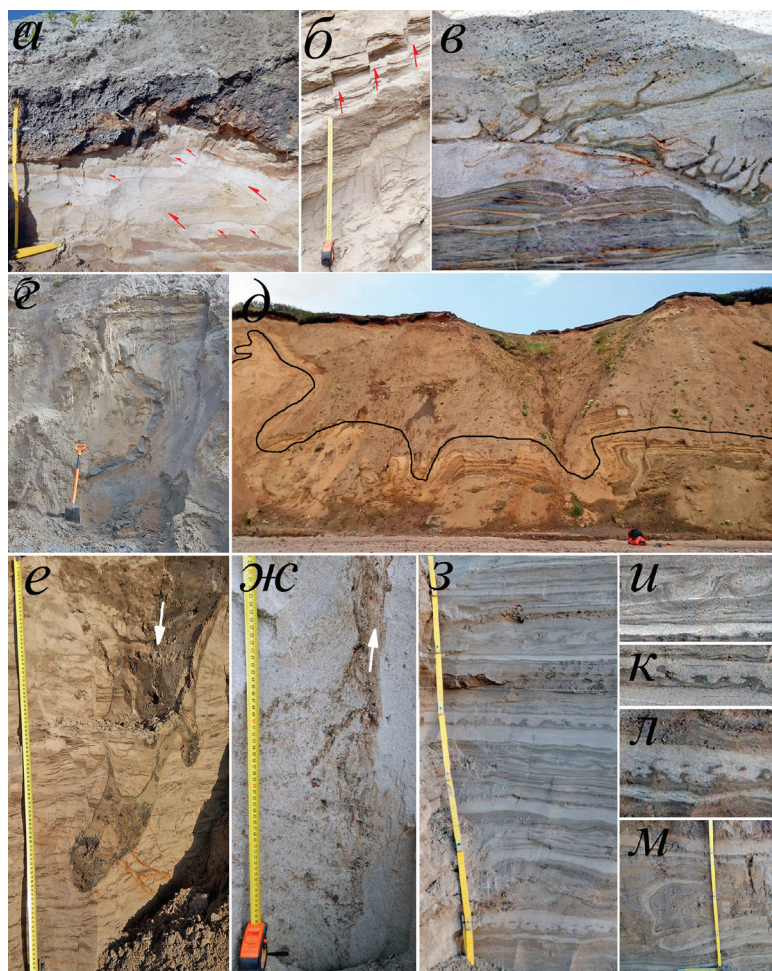


Рис. 2. Фрагменты разрезов Зимнего и Абрамовского берегов с типичными деформациями: разрывы со смещениями: а – взбросо-надвиги в подморенной толще с деформацией подошвы валдайской морены; б – псевдовзбросы (сбросы с последующим наклоном толщи; в – «размазывание» глин по плоскости разрыва; складки: г – фрагмент складки; д – комплекс складок в абразионном уступе; формы разжижения: е – «мешкообразная синклиналь» – каплевидный провал глинистого горизонта в песчаную толщу; ж – инъекционная дайка гравия в песчаной толще; з – часть разреза с серией горизонтов разжижения; и–л – увеличенные фрагменты; м – горизонт разжижения мощностью 0.5–0.6 м.

Fig. 2. Fragments of sections of the Winter and Abramovsky coasts with typical deformations: ruptures with displacements: a reverse and thrust faults with deformation of the basis of the Valdai moraine; b – pseudo-thrust-faults (normal faults with subsequent tilting of the strata; c – «smearing» of clays along the plane of rupture; folds: d – fragment of a fold; d – a complex of folds in an coastal cliff; forms of liquefaction: e – «bag-shaped syncline» – a drop-shaped dip of a clay horizon into a sandy strata; g – an injection gravel dike in a sandy strata; 3 – part of a section with a series of liquefaction horizons; i–l – enlarged fragments; m – liquefaction horizon with a thickness of 0.5–0.6 m.

до 10 и более м (18). Наибольшее смещение по разрывам достигает 4 м в одном случае (20) и 1–1.5 м в 4-х случаях (4, 11, 13, 28). Для текстур разжижения экстремальными проявлениями оказываются: деформационный горизонт мощностью 0.6 м – в одном случае (14) (рис. 2 м), массовое разжижение в 2-х случаях (3, 6), единичные текстуры восходящего внедрения (инъекционные дайки) с вертикальным развитием 1–4 м (3, 17) (рис. 3 ж) и гравитационного проваливания каплевидного типа, достигающие диаметра 10–20 см (26) (рис. 2 е).

Максимальная концентрация экстремальных проявлений деформаций отмечена на северном участке Зимнего берега Белого моря (между устьем р. Ручьи и мысом Воронов), где сопряжены и разрывные и складчатые деформации наибольших амплитуд, распространяющихся на весь субаэральный разрез (до 30 м над у. м.), и, судя по видимым фрагментам складок, погружающихся на первые десятки метров ниже у.м.

Количество и возраст деформационных эпизодов

Систематический характер нарушений позволяет установить их связь с морфоструктурным планом, их размеры и распространение – с интенсивностью породивших их событий, взаимоотношения в разрезе – с относительной последовательностью формирования (в том числе в ходе нескольких деформационных эпизодов или в ходе однократного события, сформировавшего единый парагенез типов деформаций в результате прохождения сейсмической волны), а соотношения с возрастом подстилающих, нарушенных и перекрывающих отложений – с временем тектонической активизации.

Для четырех ключевых разрезов Терского берега – Чапома, Каменка, Чаваньга и Варзуга проведена кинематическая реконструкция последовательных эпизодов деформаций. Весьма характерными являются установленные стадии: смятие в складки в ходе сжатия, сопровождаемое взбросами и горизонтальными срывами, сменяющееся растяжением со сбросами. По соотношению деформаций суммарно для трех разрезов определены 3 эпизода, возраст которых в сопоставлении с данными инструментального датирования (Korsakova et al., 2004; Зарецкая и др., 2019) определен в интервалах: 45–33, 26–20 и позднее 18 тыс. л. н. Последний этап включает в себя позднеледниковые и голоцен и, по всей видимости, не ограничивается одним эпизодом.

В целом для региона, следы 2–4 последовательных событий встречаются повсеместно, но в отдельных разрезах на Зимнем берегу (14) в абразионных обрывах высотой до 20 м наблюдается 16 хорошо выраженных горизонтов разжижения мощностью 0.2–0.3 м (рис. 3 з–л). Древнейший из горизонтов, залегающий вблизи уреза обладает аномальной мощностью 0.6 м, а вся толща рассечена сбросовыми разрывами с амплитудой до 0.5–0.6 м. Поскольку прямых данных определения возраста этой толщи пока нет, то определить периодичность землетрясений можно только предположительно. По косвенным данным (Зарецкая, 2022) толща сформировалась в период от 52 до 39 тыс. л. н., что дает основание для оценки периодичности землетрясений в 500–1000 лет (~750). Поскольку для разжижения в благоприятных условиях достаточны сотрясения небольшой интенсивности (от 6 баллов), то, характер горизонтов, их мощность, свидетельствуют об относительно слабой сейсмичности с такой повторяемостью. В то же время интервал между сильными землетрясениями, проявившимися в начале и конце формирования толщи, составляет 10–15 тыс. лет. Эта периодичность выявляется и для упомянутых выше разрезов Терского берега, а один из установленных периодов (45–33 тыс. л.) совпадает с сильным событием на Зимнем берегу, предположительно произошедшим около или несколько позднее 39 тыс. л.

Обсуждение

Весьма важным является вопрос о генетической принадлежности изученных деформаций. Ранее, вопрос об их сейсмическом характере казался бы абсурдным, поскольку исследуемая территория априори считалась асейсмичной и в настоящее время, и в целом в фанерозое. Однако, многочисленные данные опровергают этот постулат. Сейсмогенные текстуры в пределах Русской плиты и восточной части Фенноскандии обнаруживаются в дочетвертичных отложениях чехла, свидетельствуя о нескольких этапах сильной активизации, связанной с развитием крупных структур на периферии щита (Колодяжный и др., 2019; 2020).

Безусловно, имеет место морфологическая схожесть сейсмогенных деформационных структур с подобными образованиями мерзлотного, гляциотектонического, гравитационного генезиса. Однако, при рассмотрении конкретных деформационных комплексов, структурных парагенезов, выявляется их непосредственная пространственная связь с морфоструктурой (ориентировка структур, кинематика), определяются признаки, противоречащие иному происхождению. К примеру, масштабные складчатые деформации, которые традиционно в районе исследований относятся к гляциотектоническим и приурочиваются к краевым зонам ледника, обнаруживают кинематические параметры прямо противоположные динамике ледника, но соответствующие тектонической структуре. Наблюдаются случаи отсутствия ледниковых отложений над складчатыми структурами и случаи перекрытия деформированных структур недеформированными осадками. Существенный

вопрос о соответствии масштабов поверхностных деформаций и тектонической структуры – крупные складки казалось бы должны быть порождены как минимум, соответствующими глубинными структурами, которые не всегда наблюдаются. По-видимому, эффект усиления связан, не в последнюю очередь со специфическими условиями осадконакопления. Складки могут образовываться на дне моря в слабоконсолидированных тонкодисперсных осадках, стекающих к осям синклиналей и выжимающихся в антиклиналях при небольших уклонах дна при нарушении равновесного состояния даже из-за слабых тектонических толчков (Попов, 1986). Детальные исследования сейсмогенных деформационных структур выявляют их определенные отличия от несейсмогенных: взбросовые нарушения, внедряющиеся в подошву морены противоречат и гляциотектоническим механизмам и возрасту, клиновидные образования обнаруживают признаки инъекционных механизмов и пр.

Выводы

На Кольском и Архангельском побережьях Белого моря развит комплекс сейсмогенных деформаций, относящихся как к поздне-последнегляциальной, так и к межледниковым осадкам. Комплекс деформаций включает разрывные, складчатые деформации и формы разжижения. Деформации образуют парагенетические ряды и объединяются разновременными событиями. Периодичность деформационных эпизодов, обусловленных слабыми землетрясениями в позднем неоплейстоцене составляет 500–1000 лет, а сильными событиями – первые десятки тысяч лет. Деформации обладают различными масштабами и выраженностью. К экстремальным проявлениям, можно отнести разрывы со смещениями и складки с амплитудой более 1 м, а также мощные горизонты разжижения (более 0.5 м). Максимальная концентрация экстремальных проявлений деформаций отмечена на северном участке Зимнего берега Белого моря (между устьем р. Ручьи и мысом Воронов), где сопряжены и разрывные и складчатые деформации наибольших амплитуд, распространяющихся на весь субаэральный разрез (до 30 м над у. м.), и, судя по видимым фрагментам складок, погружающихся на первые десятки метров ниже у.м. Здесь же обнаруживается и наибольшее количество деформационных эпизодов.

Литература

1. Зарецкая Н.Е., Корсакова О.П., Молодьков А.Н., Григорьев В.А. Поздненеоплейстоценовые разрезы Терского берега Белого моря: строение и новые геохронометрические данные // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2019. Вып. 6. С. 40–46.
2. Зарецкая Н.Е., Баранов Д.В., Ручкин М.В., Луговой Н.Н. Побережье Белого моря в пределах Русской плиты в позднем неоплейстоцене // Известия РАН. Серия географическая. 2022. Т. 86. № 6. С. 898–913.
3. Колодяжный С.Ю., Балуев А.С., Зыков Д.С. Структура и эволюция северо-запада Беломорско-Северодвинской зоны сдвига в позднем протерозое и фанерозое (Восточно-Европейская платформа) // Геотектоника, 2019. № 1. С. 62–86.
4. Колодяжный С.Ю., Терехов Е.Н., Балуев А.С., Полещук А.В., Зыков Д.С. Тектоника и этапы эволюции Балтийско-Мезенской сдвиговой зоны в Фанерозое, Северо-Запад России // Геотектоника, 2020. № 1. С. 3–22.
5. Николаева С.Б., Никонов А.А., Шварев С.В. Поздне- и последнегляциальные разломы и палеосейсмонарушения в восточной части Фенноскандинавского щита: обзор и результаты исследований // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. № 16. Изд-во: КНЦ РАН, 2019. С. 428–432. DOI: 10.31241/FNS.2019.16.087.
6. Никонов А.А., Шварев С.В. Сейсмолинементы и разрушительные землетрясения в российской части Балтийского щита: новые решения для последних 13 тысяч лет // Геолого-геофизическая среда и разнообразные проявления сейсмичности. Материалы Междун. конф. Изд-во: Технического института (ф) СВФУ Нерюнгри, 2015. С. 243–251.
7. Попов А.И. Дислокации и криолитогенез в плейстоценовых отложениях севера СССР // Палеогеография и полезные ископаемые плейстоцена севера Евразии. Л., ГО СССР, 1986. С. 146–152.
8. Рыбалко А.Е., Токарев М.Ю., Федорова Н.К., Никитин М.А. Новые данные о геологии и геоморфологии Кандалакшского залива по материалам высокочастотного сейсмоакустического профилирования и геологического пробобортбора // Геология морей и океанов: материалы XIX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. V. М.: ИО РАН, 2011. С. 174–177.

9. Рыбалко А.Е., Федорова Н.К., Никитин М.А., Токарев М.Ю. Геодинамические процессы в Кандакшском заливе Белого моря и их роль в формировании покрова современных осадков // Матер. XX Межд. научн. конф. (школы) по морской геологии. М., 2013. Т. III. С. 237–241.
10. Старовойтов А.В., Токарев М.Ю., Терехина Я.Е., Козуница Н.А. Строение осадочного чехла Кандакшского залива Белого моря по данным сейсмоакустики // Вестник МГУ. Серия 4: Геология. 2018. № 2. С. 81–92.
11. Шварев С.В., Николаева С.Б., Королева А.О. Морфологические проявления постледниковой сейсмической активности Имандра-Колвицкого активного разлома в Лувеньгской очаговой зоне (Мурманская область) // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2021. Т. 18. С. 425–429. DOI: 10.31241/fns.2021.18.080.
12. Шварев С.В., Бондарь И.В., Романенко Ф.А., Луговой Н.Н. Голоценовые палеосейсмодетформации на островах Кузокоцкого архипелага (Кандакшский залив Белого моря, Восточная Фенноскандия) // Геофизические процессы и биосфера. 2022. Т. 21. № 2. С. 9–43. DOI: 10.21455/GPB2022.2-2.
13. Korsakova O.P. Pleistocene marine deposits in the coastal areas of Kola Peninsula (Russia) // Quaternary International. 2009. V. 206. P. 3–15.
14. Korsakova O.P., Molodkov A.N., Kolka V.V. Geological-stratigraphic position of upper Pleistocene marine sediments in the southern Kola peninsula: evidence from geochronological and geological data // Doklady Earth Sciences. 2004. V. 398 (7). P. 908–912.
15. Korsakova, O., Molodkov A., Yelovicheva Y., Kolka V. Middle Pleistocene marine deposits on the Kola Peninsula (NW Russia) // Quaternary International. 2019. V. 509, No. 10. P. 3–16. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.09.019>.
16. Lagerbäck, R. and Sundh, M. Early Holocene faulting and paleoseismicity in northern Sweden. Geological Survey of Sweden Research Paper (2008). С. 836, 80 pp.
17. McCalpin, J.P. (Ed.) Paleoseismology. 1996 a. Academic Press, New York. 588 p.
18. Munier R., Adams J., Brandes C. et al. International database of glacially induced faults // PANGAEA. Data Publisher for Earth & Environmental Science. 2020.
19. Nikolaeva S.B., Nikonov A.A., Shvarev S.V. Late glacial and postglacial faulting in the russian part of the fennoscandian shield. chapter no 14 // Glacially-Triggered Faulting Eds: Holger Steffen, Odleiv Olesen, Raimo Sutinen. United Kingdom: United Kingdom, 2021. P. 246–260.
20. Obermeier, S.F., 1996. Use of liquefaction-induced features for paleoseismic analysis—an overview of how seismic liquefaction features can be distinguished from other features and how their regional distribution and properties of source sediment can be used to infer the location and strength of Holocene paleoearthquakes. Engineering Geology. V. 44. P. 1–76.
21. Ojala A. E. K., Markovaara-Koivisto M., Middleton M. et al. (2018 a). Dating of seismically-induced paleolandslides in western Finnish Lapland. Earth Surface Processes and Landforms. V. 43(11). P. 2449–2462. doi.org/10.1002/esp.4408.
22. Zaretskaya N., Rybalko A., Repkina T., Shilova O., Krylov A. Late Pleistocene in the southeastern White Sea and adjacent areas (Arkhangelsk region, Russia): Stratigraphy and palaeoenvironments // Quaternary International. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.10.057>.