

## ГРАВИТАЦИОННЫЕ ПОТОКИ В ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЫХ МОРСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕКИ УРА (БАРЕНЦЕВОМОРСКОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ, КОЛЬСКИЙ РЕГИОН) И ИХ СВЯЗЬ С СЕЙСМИЧНОСТЬЮ

<sup>1</sup>Николаева С.Б., <sup>1</sup>Толстобров Д.С., <sup>2</sup>Королева А.О., <sup>3</sup>Костромина Н.А., <sup>4</sup>Пронина А.В.

<sup>1</sup>Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия

<sup>2</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

<sup>3</sup>ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup>РГПУ имени А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

Рассматриваются различные типы деформационных текстур в позднеледниковых морских отложениях долины реки Ура Баренцевоморского побережья (СЗ Кольского региона) и условия их седиментации. В осадочных последовательностях разреза U4/2021 обнаружено шесть горизонтов деформаций, образованных в результате различных типов гравитационных потоков (мутьевых, обломочных, разжиженных), часть из которых была вызвана поздне- и послеледниковой сейсмотектонической активностью. Основные типы представлены текстурами нагрузки и генетически связанными с ними структурами пламя и выхода воды, горизонтами с осадочными брекчиями, складками и явлениями разжижения осадков. Предположительно триггером для образования горизонтов с деформациями были землетрясения и афтершоки, возникающие вслед за быстрой дегляциацией территории и активизация крупного разлома Карпинского, разграничивающего Баренцевоморскую плиту и Кольский полуостров.

Ключевые слова: *деформационные текстуры, мутьевые и обломочные потоки, землетрясения, морские отложения, поздний плейстоцен, Баренцево море, Кольский регион*

**Введение.** В 2021 г. были проведены полевые экспедиционные работы по изучению четвертичных отложений в западной части Мурманского побережья Баренцева моря, в районе реки Ура (Рис. 1). Интенсивная расчлененность поверхности суши линейными депрессиями, наклоненными и открытыми в сторону Баренцева моря, в сочетании с тектонической активностью разломов благоприятствовали накоплению здесь представительных толщ рыхлых осадков. Они аккумулировались в морских заливах, занятых в настоящее время долинами рек, благодаря привносу потоками талых вод больших масс обломочного материала. Мощность их в кутовых частях заливов и фиордов достигала 40 м. Результаты геологических съемок четвертичных отложений относят образование морских отложений в прибрежной полосе Баренцева моря к верхнему звену неоплейстоцена – начала голоцена [*Государственная ...*, 2012].

Интерес к изучению морских и флювиогляциальных осадков побережья в предыдущие годы в основном был связан с приуроченностью к ним крупных месторождений песчано-гравийных смесей, песка и месторождений кирпичных глин [*Евзеров, 2000*]. При этом долгое время за пределами внимания исследователей оставалось изучение часто встречаемых в этих осадках деформаций слоев, в том числе и сейсмически индуцированных (сейсмитов). В связи с развитием палеосейсмогеологических исследований в Фенноскандии и ряде стран Балтии, интерес к изучению сейсмитов сильно возрос [*Stewart et al., 2000; Morner, 2003; Gruszka, Van Loon, 2007; Pisarska-Jamrozy et al., 2019*].

Первые сведения о следах палеоземлетрясений в разрезах рыхлых осадков Баренцевоморского побережья появились в середине 2000-х годов [*Николаева, 2006*]. К настоящему времени информация о них пополнилась. Полученные новые данные позволяют расширенно изучать локализацию сейсмитов и их связь с разломами, а также возраст и механизмы образования, что особенно актуально для районов размещения особо ответственных объектов в связи с оценками сейсмоопасности территорий.

Проводимые исследования направлены на выявление и изучение следов палеоземлетрясений в разрезах рыхлых отложений в зонах активных разломов,

определение характерных особенностей седиментации осадков в условиях новейших тектонических перемещений земной коры, которые в дальнейшем можно использовать для распознавания спусковых механизмов при сейсмическом шоке. Еще одна задача исследования – получение новой информации о возрасте отложений путем датирования методом оптически стимулированной люминесценции (OSL).

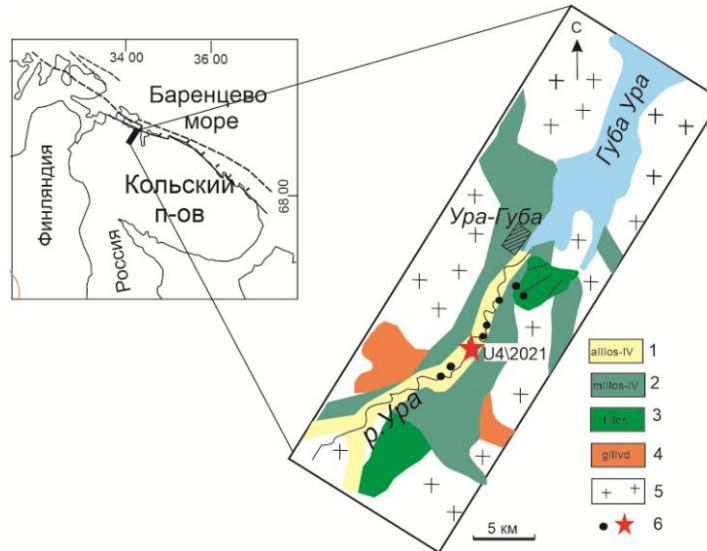


Рис. 1. Расположение изученных разрезов в морских отложениях долины реки Уры. 1–4: Неоплейстоцен-голоцен, верхнее звено по ([Государственная..., 2012]: 1 – аллювиальные, 2 – морские, 3 – флювиогляциальные, 4 – ледниковые основной морены. 5 – дочетвертичные породы, 6 – изученные разрезы (звездочкой показан разрез U4\2021, обсуждаемый в тексте).

**Результаты работ.** Участок работ расположен на СЗ Кольского региона, в районе реки Ура, впадающей в крупный залив *Губа Ура* Баренцева моря (Рис. 1). В течение нескольких полевых сезонов было изучено 8 разрезов, высотой от 2.5 до 27 м, расположенных на расстоянии 5 км вдоль реки. Депрессию реки выполняют аллювиальные, флювиогляциальные и морские отложения. Они подстилаются мореной, реже залегают на кристаллических породах фундамента. Практически во всех изученных разрезах, сложенных глинисто-песчаными осадками обнаруживаются различные постседиментационные деформации и нарушения слоистости. В представленном сообщении мы приводим результаты изучения разреза U4\2021 на правом берегу реки Уры, расположенного в 6.5 км к ЮЗ от поселка Ура-Губа (Рис. 1). Обнажение является уникальным, поскольку в одной толще сочетаются горизонты осадков с деформациями, сформированными в результате различных процессов и механизмов.

**Характеристика деформаций.** В борту 25-ти метровой террасы, в излучине реки Ура обнажается толща позднеледниковых морских осадков. Вскрытое расчистками обнажение U4\2021, представлено 3-мя толщами: серо-синими глинами с неотчетливой слоистостью ( $m=3m$ ) (У1), слоистой толщей мелко-тонкозернистых песков и алевритов, содержащих тонкие прослой супесей и глин,  $m=2.5$  м (У2) и однородными серо-зелеными глинами, видимой мощностью 8 м, прослеживающимися до уреза реки (У3). В нижней части обнажения развиты оползни и оползневые срывы блоков. Общая мощность разреза составляет 13.5 м. Толща песков У2, заключенная в глины, сильно дислоцирована (Рис. 2). По характеру деформаций, степени дислоцированности и механизму перемещения осадочного материала выделяются 6 горизонтов (SSDS 1–SSDS 6), мощностью от 5 до 38–40 см, разделенных ненарушенными отложениями.

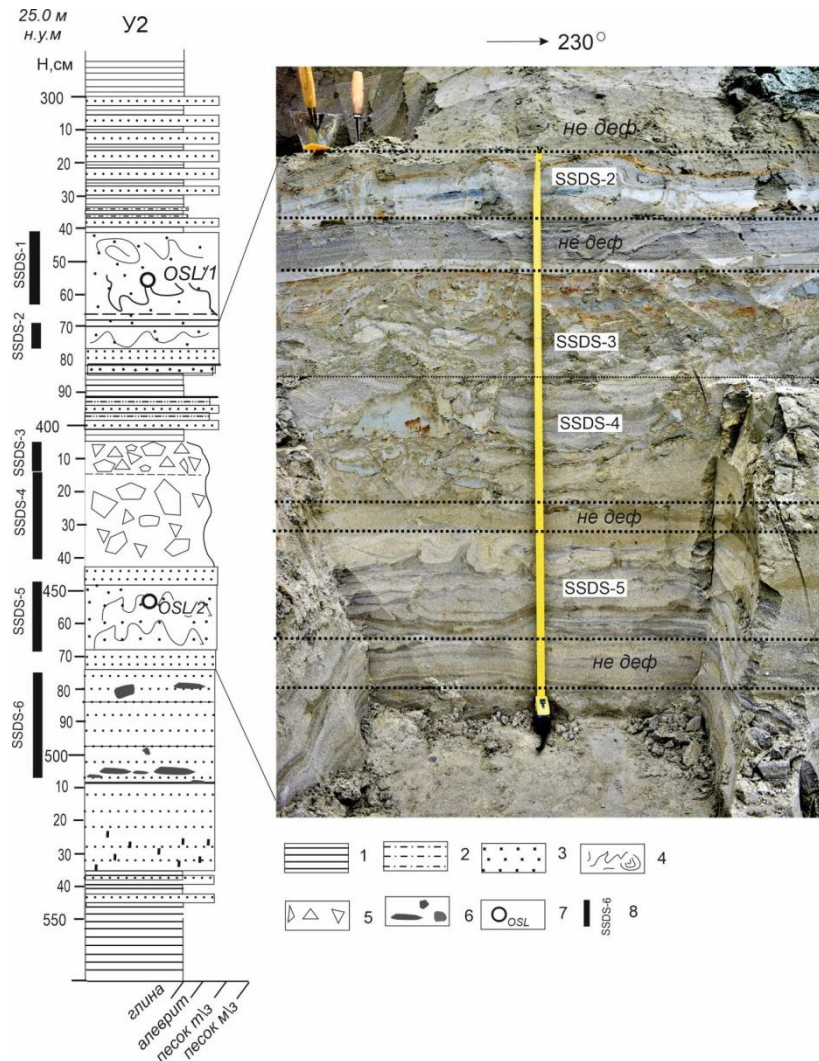


Рис. 2. Циклическое повторение сейсмически индуцированных текстур и отложений обломочных потоков в песчано-глинистых отложениях долины реки Ура. 1 – глина, 2 – алеврит, суглинок, 3 – песок, 4 – деформации, 5 – осадочная брекчия, 6 – обломки глин, 7 – пункты отбора проб на ОСЛ, 8 – деформированные горизонты.

Деформации горизонтов *SSDS-1* и *SSDS-2* представлены закручиванием в рулоны слоев тонкозернистого песка и алеврита, различными складками, изогнутой слоистостью и другими признаками разжижения осадков.

Деформации горизонтов *SSDS-3* и *SSDS-4* резко отличаются от *SSDS-1* и *SSDS-2* и представляют собой наложенные друг на друга (сдвоенные) слои осадочной брекчии, состоящие из фрагментов песков, алевритов и глин разной формы и размеров (Рис. 2). Слой *SSDS-3* ( $m=12$  см) более мелкомасштабный (фрагменты размерами 2–4 см), по сравнению с горизонтом *SSDS-4*, где фрагменты пород имеют размеры 9x25 см. Отдельные обломки *SSDS-3* отличаются от матрицы и по их внутренней волнистой слоистости, а также по цветовой рыжей окантовке, образованной осаждением гидроокислов железа. В *SSDS-4* можно видеть перевернутые крупные фрагменты песков с частично сохранившейся, еще не окончательно «размытой» первоначальной слоистостью. Граница между *SSDS-3* и *SSDS-4* внутри комплекса неровная, нечетко выражена, с карманами. Поскольку характеристики слоев *SSDS-3* и *SSDS-4* идентичны (за исключением меньшего размера обломков в верхнем слое) и наложены один на другой, можно предположить, что оба слоя имеют один и тот же источник.

Деформации горизонта *SSDS-5* представлены отпечатками нагрузки и генетически связанными с ними структурами пламя и выхода воды. Большинство отпечатков нагрузки

имеют ширину 5–10 см в поперечном сечении, располагаются вертикально по всему слою. Текстуры пламени до 7–10 см высотой и 0.5–2.5 см шириной имеют как вертикальное положение, так и иногда загнутые наклонные вершинки.

Деформации слоя SSDS-6, состоящего в основном из неслоистых мелкозернистых песков, являются включения угловатых, иногда со слегка закругленными краями обломков глин, размеры которых варьируются от 0.8 см до 6–8 см в диаметре. Эти обломки встречаются как в виде отдельных редких крупных включений, «плавающих» в песчаной матрице, так и образуют отдельные уплощенные обломки, линейно распределенные в толще песков.

Формирование позднеледниковых глин и песков в приледниковых палеоводоемах происходит путем непосредственного осаждения из мутьевого потока, путем гравитационного осаждения из взвеси и осаждением обломочных потоков [Евзеров, 2007]. При этом образование более крупных разностей – песков, связывается с обломочными потоками. Общее понятие термина включает смесь, состоящую из жидкости и осадка, в которых сила тяжести действует непосредственно на зерна, чтобы вызвать перемещение вниз по склону [Поляков, 2001]. Наиболее часто спусковым механизмом для образования обломочных потоков являются сотрясения от землетрясений [Градзинский и др., 1980; McCalpin, 2009].

Изученные деформации и их характеристики указывают на явное постседиментационное разжижение и флюидизацию осадков и отсутствие признаков гляциотектоники и криотурбационных процессов. Нет и явных признаков оползания осадков – все слои залегают горизонтально, отсутствует уклон подошвы слоев, прослеживающихся по латерали на первые десятки-сотни метров. Деформации развиты в слоях с разной градацией: однородных, с прямой и с обратной. Следует отметить, что аналогичные деформированные слои задокументированы еще нескольких обнажениях, вскрытых рекой Ура и прослеживаются на расстояние около 5-6 км по латерали.

Текстуры нагрузки и структуры пламя, более отчетливо выраженные в SSDS-5, очень часто наблюдались в эпицентральных зонах исторических и современных землетрясений [например, Tuttle et al., 1990]. Экспериментальные исследования Owen и Moretti (2011) показали, что сейсмические волны, ответственные за развитие SSDS в водонасыщенных рыхлых отложениях в самых верхах осадочной толщи, представляют собой S-волны. Эти S-волны приводят к чередованию напряжений сжатия и растяжения в отложениях, таким образом, позволяя материалу погружаться в нижележащий слой, даже если практически не существует разницы в плотности. Достаточно сильное землетрясение могло привести и к брекчированию слоев SSDS-3 и SSDS-4, после того, как они были уже отложены. Фрагменты сохранившейся первоначальной горизонтальной слоистости наглядно иллюстрируют это (Рис. 2). Аналогичные брекчиевые горизонты были описаны в озерно-ледниковых отложениях на западе Польши [Pisarska-Jamroży et al., 2019], а также в осадочных отложениях активного Kleszczow грабена в центральной Польше [Gruszka, Van Loon, 2007]. Их образование авторы связывают с сейсмическими процессами.

Большинство изученных текстур удовлетворяет основным критериям отличия сейсмогенных проявлений от несейсмогенных по нескольким признакам [McCalpin, 2009; Owen, Moretti, 2011; Moretti and van Loon, 2014]. Все исследуемые горизонты образованы в осадках, наиболее подверженных ликвификации (тонко- и мелкозернистые пески, алевролиты, глины), залегают между ненарушенных отложений и имеют вертикальное расположение в разрезе, обладают явным сходством с деформациями, образованными в результате исторических и современных землетрясений. Цикличность проявления деформированных горизонтов в одном разрезе указывает на повторяемость предполагаемых сейсмических событий, а их близкое друг к другу положение возможно связано с афтершоками, часто сопровождающими каждое сильное землетрясение.

Нельзя игнорировать и тот факт, что разрез U4\2021 расположен вблизи зоны побережья, которая соответствуют крупному разлому Карпинского, разграничивающему Баренцевоморскую (Свальбардскую) плиту и Балтийский щит. Это одна из главных сейсмогенных зон Кольского региона, вдоль которой фиксируется повышенная сейсмическая активность [Годзиковская и др., 2010; Никонов, Шварев, 2015].

Однако полностью исключать образование некоторых текстур в результате других альтернатив, без участия сейсмотектоники, мы не можем. Обсуждаемые деформации могли быть образованы в результате нескольких процессов, действовавших одновременно, что существенно затрудняет установление их генезиса. Кроме того, деформированные горизонты удалось проследить лишь на несколько сот метров по латерали в пределах обнажения, поскольку наши наблюдения были ограничены обнаженностью в пределах естественных выходов и карьеров. При этом ряд факторов невозможно объяснить без участия сейсмической составляющей при формировании осадков.

Исследования в этом направлении будут продолжены, а проводимые лабораторные исследования отобранных проб на ОСЛ позволят получить новые данные как о возрасте образования осадков.

*Работа выполнена в рамках госзадания по теме НИР ГИ КНЦ РАН г. Апатиты, (проект АААА-А19-119100290145-3).*

#### ЛИТЕРАТУРА

Годзиковская А.А., Асминг В.Э., Виноградов Ю.А. Ретроспективный анализ первичных материалов о сейсмических событиях, зарегистрированных на Кольском полуострове и прилегающей территории в XXI веке. М.: Ваш полиграфический партнер. 2010. 130 с.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Балтийская. Лист Q–(35), 36 (Апатиты). Объяснительная записка / Гл. ред. Ю.Б. Богданов. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 456 с.

Градзинский Р., Костецкая А., Радомский А., Унруг Р. Седиментология / Пер. с польского. М.: Недра, 1980. 646 с.

Евзеров В.Я. Размещение месторождений песка, песчано-гравийных смесей и легкоплавких глин Кольского региона в связи с дегляциацией // Вестник Воронежского университета. Сер. геологическая. 2000. № 9. С. 152–159.

Евзеров В.Я. Породные парагенезисы флювиогляциальных дельт (на примере крайнего северо-запада России) // Литология и полезные ископаемые. 2007. № 6. С. 563–574.

Николаева С.Б. Сейсмогенные деформации в отложениях раннеголоценовой террасы реки Печенга (Кольский полуостров) // Доклады РАН. 2006. Т.406. № 1. С. 69–72.

Никонов А.А., Шварев С.В. Сейсмолинеаменты и разрушительные землетрясения в российской части Балтийского щита: Новые решения для последних 13 тысяч лет // Материалы Междунар. конф. «Геолого-геофизическая среда и разнообразные проявления сейсмичности». Нерюнгри: Изд-во Техн. ин-та (филиала) СВФУ. 2015. С. 243–25.

Поляков А.С. Гранулированные среды и седиментогенез // Общая и региональная геология, геология морей и океанов, геологическое картирование. М.: Геоинформмарк, 2001. 59 с.

Gruszka B. & Van Loon A.J. Pleistocene glaciolacustrine breccias of seismic origin in an active graben (Central Poland) // Sedimentary Geology. 2007. Vol. 193. P. 93–104. doi:10.1016/J.SEDGEO.2006.01.009

McCalpin J. P. Paleoseismology. International Geophysics 95. Elsevier. 2009. 802 p.

Moretti M. & Van Loon A.J. Restrictions to the application of ‘diagnostic’ criteria for recognizing ancient seismites // Journal of Palaeogeography. 2014. Vol. 3. Is. 2. P. 162–173. doi:10.3724/SP.J.1261.2014.00050

Mörner N.-A. Paleoseismicity of Sweden – a novel paradigm. P&G-unit, Stockholm University, 2003. 320p.

Owen G. & Moretti M. Identifying triggers for liquefaction-induced soft-sediment deformation in sands // *Sedimentary Geology*. 2011. Vol. 235. P. 141–147. doi: 10.1016/j.sedgeo.2010.10.003

Pisarska-Jamroży M., (Tom) Van Loon A.J., Mleczak M., Roman M. Enigmatic gravity-flow deposits at Ujście (western Poland), triggered by earthquakes (as evidenced by seismites) caused by Saalian glacioisostatic crustal rebound // *Geomorphology*. 2019. Vol. 326. P. 239–251. doi:10.1016/j.geomorph.2018.01.010

Stewart L. S., Sauber J., Rose J. Glacio-seismotectonics: ice sheets, crustal deformation and seismicity // *Quaternary Science Reviews*. 2000. Vol. 19. P. 1367–1389. doi:10.1016/S0277-3791(00)00094-9

Tuttle M., Law K.T., Seeber L., Jacob K. Liquefaction and ground failure induced by the 1988 Saguenay Quebec, earthquake // *Canadian Geotechnical Journal*. 1990. Vol. 27. Is. 5. P. 580–589. doi: 10.1139/t90-073

## GRAVITY-FLOWS IN LATE GLACIAL MARINE DEPOSITS OF THE URA RIVER (BARENTS SEA COAST, KOLA REGION) AND THEIR CONNECTION TO THE SEISMICITY

<sup>1</sup>Nikolaeva S.B., <sup>1</sup>Tolstobrov D.S., <sup>2</sup>Koroleva A.O., <sup>3</sup>Kostromina N.A., <sup>4</sup>Pronina A.V.

<sup>1</sup>Geological Institute of Kola Science Center RAS, Apatity, Russia

<sup>2</sup>Schmidt Institute of Physics of the Earth, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>4</sup>Herzen State Pedagogical University, St. Petersburg, Russia

The paper discusses various types of deformation structures in Late Glacial marine deposits in the Ura River valley on the Barents Sea coast (NW Kola region) and their sedimentation settings. Six horizons of deformations produced by various types of gravitational flows (turbidity currents, debris flow, liquified flows) have been discovered in sedimentary sequences of the U4/2021 section. Some of the flows were caused by the Late and Post Glacial seismotectonic activity. Major types are represented by load cast structures and genetically linked flame structures, water escape structures, horizons with sedimentary breccias, various faults and liquefaction phenomena. Formation of horizons with deformations might be triggered by earthquakes and aftershocks that followed fast deglaciation of the area and activation of the major Karpinsky fault separating the Barents Sea plate from the Kola Peninsula.

Keywords: *soft-sediment deformations, turbidity and debris currents, earthquakes, marine deposits, Late Pleistocene, Barents Sea, Kola region*