

ПАЛЕОСЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ СУБАРКТИКЕ (КОЛЬСКИЙ РЕГИОН): ПОЛЕВЫЕ ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ РАБОТЫ 2018-2020г.г.

Николаева С.Б., Толстобров Д.С., Вашков А.А.

Геологический институт Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия

Представлены результаты полевых экспедиционных работ по изучению геологических свидетельств сильных древних землетрясений на северо-востоке Фенноскандинавского щита (Кольский регион). На конкретных примерах приводятся новые данные о сейсмически индуцированных структурах в разрезах четвертичных отложений, в том числе и в донных осадках озер, сейсмодислокациях в скальных породах, а также их возрасте и геолого-структурном положении.

Ключевые слова: палеосейсмодеформации, палеоземлетрясения, сейсмиды, донные осадки озер, голоцен, Кольский регион.

Палеосейсмогеологические исследования в Кольском регионе стали проводиться в лаборатории геологии и минерагении новейших отложений Геологического института КНЦ РАН с начала 90-х годов [Николаева, 1993, 2001]. Долгое время это направление исследований не получало должного развития, поскольку считалось, что такие древние кратоны, как Фенноскандинавский кристаллический щит, с низким уровнем современной сейсмичности малоактивны в тектоническом отношении. Положение кардинально изменилось с обнаружением практически в пределах всей Фенноскандии следов сильных позднеплейстоцен-голоценовых землетрясений [Mörner, 2003; Olesen et al., 2013]. К настоящему времени эти исследования значительно расширились, наряду с изучением сейсмодеформаций в скальных породах, появились новые данные о сейсмически индуцированных структурах (сейсмитах) и в осадочном чехле восточной Фенноскандии [Лукашов, 2004; Николаева, 2006]. Сейсмиды выявлены в разных генетических типах четвертичных отложений: аллювиальных, морских, ледниково-морских, озерно-ледниковых, флювиогляциальных. Особое место среди них занимают донные осадки (ДО) озер. Первые материалы о катастрофических событиях, запечатленных в озерных кернах, были получены в результате целенаправленных экспедиционных полевых работ 2013-2016г.г., проводившихся в центральной части Кольского региона [Nikolaeva et al., 2014; Николаева и др., 2017]. С этого времени поиски следов катастрофических событий в ДО стали обнаруживаться и в других районах, в основном по побережьям Баренцева и Белого морей [Толстобров и др., 2018; Nikolaeva et al., 2019; Колька и др., 2019].

В настоящем сообщении представлены результаты полевых работ 2018-2020 г.г., имеющих палеосейсмогеологическую направленность в трех участках Кольского региона: 1) западной Имандры, 2) долине реки Воронья, 3) Лувенгских тундрах (рис.1А). В пределах каждого из участков выполнялось: (1) изучение разрывных нарушений и молодых дислокаций в породах фундамента; (2) поиски и выявление сейсмогенных нарушений в разрезах рыхлых отложений; (3) изучение донных осадков озер, приуроченных к зонам разломов. Основу исследований составляет подход, базирующийся на допущении, что сильные землетрясения прошлого оставляют в рельефе и отложениях свои следы – палеосейсмодеформации (ПСД) [McCalpin, 2009]. Основное внимание уделялось выделению по отработанным критериям нарушений геологической среды и рельефа деформаций именно сейсмогенных, использование современных методов полевой геологии и включение в рассмотрение материалов по палеогеографии и хроностратиграфии. Такой комплексный подход позволяет выявлять пространственно-временные аспекты зон возникновения сильных землетрясений прошлого и давать новые геодинамические решения.

Участок 1 – Западная Имандра. Этот участок расположен в центральной части Кольского региона, на западном побережье южной, Бабинской части Имандры, в 35 км к западу от города Полярные Зори. Впадина озера была заложена в кристаллических породах докембрия и совпадает с зоной длительно живущего активизированного разлома.

Следы палеоземлетрясений в разрезах террас. В озерно-ледниковых осадках, представленных преимущественно песчаными разностями и слагающими высокие террасы западного побережья Бабинской Имандры, был изучен комплекс различных деформаций и нарушений. В 6-ти разрезах, расположенных на расстоянии от первых десятков до первых сотен метров друг от друга, обнаружены пликативные и дизъюнктивные деформации, обладающие характерными признаками импульсного образования (Рис. 1Б). Пликативные деформации представлены следами разжижения песков (*liquefaction*), текстурами перемешивания различных по гранулометрическому составу осадков, брекчирования и будинажа слоев. Эти деформации нарушены субвертикальными трещинами и инъекционными дайками, мощностью 4-20 см. Амплитуды смещений слоев составляют от 0.2-0.5 до 1.8-2 м. Дайки заполнены тонким песчаным материалом, нередко сопутствуют сбросам и развиваются по их плоскостям.

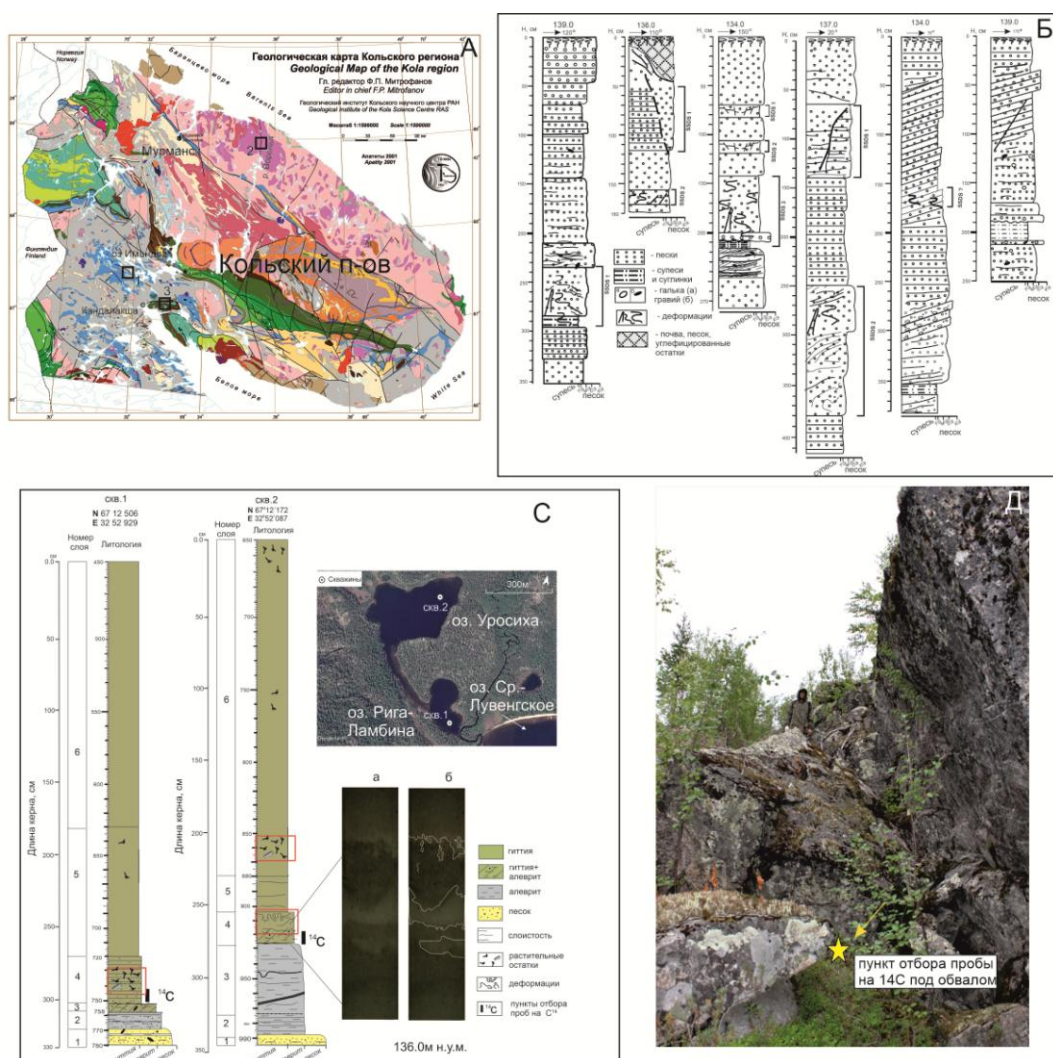


Рис.1. Результаты палеосейсмогеологических исследований в Кольском регионе в 2018-2020 г.г. А – детали участки работ, Б – стратиграфическая приуроченность горизонтов с SSDS в разрезах террасовых комплексов озера Бабинская Имандра, С – литология донных осадков озер в районе Лувенгских тундр, Д – сейсмообвал в борту уступа с отрицательной стенкой на восточном борту котловины оз. Среднее Лувенгское.

Образование наблюдаемых деформаций трудно объяснить процессами криотурбации, поскольку морфология структур и сочетание пликативных и разрывных нарушений в одной толще почти не встречаются при крио процессах, а вечная мерзлота в Кольском регионе имеет островное распространение и развита в основном на востоке и северо-востоке региона [*Вечная мерзлота...*, 1953]. Субгоризонтальная поверхность террас и отсутствие уклона исключает и возможность оползания песков. Слаболитифицированные отложения подвергались деструкции и дезинтергации, схожими с таковыми, возникающими при сильных сейсмических сотрясениях в высокосейсмичных областях [*Obermeier et al, 2005*]. Цикличность проявления деформированных горизонтов в одном разрезе указывает на повторяемость сейсмических событий.

На основании данных радиоуглеродных анализов, а также палеогеографических реконструкций установлено, что сейсмические события происходили в период конца позднего дриаса - начала пребореала, между 12900-11500 л. н. (кал), и в пребореале – самом начале бореального периода, в интервале 11500-9900 л. н. (кал). Анализ направлений тектонических элементов в разрезах показал, что их простирание сопряжено с зоной субширотного разлома, активизация которого проявляется в образовании (подновлении) серии молодых ущельев-трещин, развитых вдоль зоны разлома на северном склоне возвышенности с выс. отм. 254.4 м, ограничивающей озеро Бабинская Имандра с юга. Субпараллельные им субширотные сбросы амплитудой 0.6-1.3 м, смещающие морену, были изучены ранее и с южной стороны этой же возвышенности [*Николаева, 2001*].

Следы катастрофических событий в разрезах донных осадков озер. С целью уточнения генезиса прежде обнаруженных в ДО озер «брекчиевых» горизонтов в гиттии, образование которых связано с катастрофическим (сейсмическим?) событием [*Николаева и др., 2016*], а также его возраста, в августе 2020 года были изучены ДО еще трех озерных котловин. В двух из них выявлены аналогичные аномальные брекчиевые горизонты. Предварительные результаты полевых исследований показывают, что присутствие деформированных горизонтов в нескольких озерных котловинах, расположенных на расстоянии нескольких сотен метров друг от друга, свидетельствуют уже о другом, более масштабном событии, чем предполагалось ранее.

Участок 2 - долина реки Воронья. Участок расположен на севере Кольского региона, в 2 км севернее Серебрянской ГЭС-2, в долине реки Воронья, протягивающейся в субмеридиональном направлении к северу до побережья Баренцева моря (рис. 1А). В пределах участка обнаружен комплекс молодых дислокаций в архейских плагиогранитах и гнейсах (в основном сейсмогравитационные обвалы с глыбовыми смещениями на склонах скальных гряд, серии отдельных валунов, расколотых в одном направлении 300-310°, свежие трещины в скалах с величиной зияния от 40 до 95 см, выколы из вертикальных стенок уступов и боковое выбивание блоков из основания). Все они обладают признаками сеймогенного происхождения.

Кроме следов палеоземлетрясений в коренном субстрате и в непосредственной близости к ним обнаружены деформации в террасовых комплексах реки Воронья. К ним относятся взбросы в аллювиальных галечниках с амплитудами смещений слоев 20-35 см и отдельные трещины, протяженностью более 6 м, а также многочисленные мелкомасштабные системы взбросов и сбросов, реже пликативные деформации, нарушающие ритмично-слоистую толщу песков и супесей. В энциклопедии инженерной сейсмологии [*Beer et al., 2015*] в главе, посвященной палеосейсмологическим аспектам, приведена таблица с критериями, по которым можно определить деформации, которые являются индикаторами землетрясений (то есть тектонической активности). Один из признаков тектонической активности это нарушенные слои галечников, перекрытые недеформированными слоями, что мы наблюдали и в изученных разрезах. Основное направление трещин в рыхлых осадках соответствует разломно-блоковой делимости территории и сопряжено в пределах участка с крупной разломной зоной реки Воронья

и/или опережающих ее разрывных нарушений. Для уточнения времени активизации разломной зоны проведено OSL-датирование рыхлых отложений.

Участок 3 – Лувенгские тундры. Участок расположен на северном борту Кандалакшского залива Белого моря в районе озера Среднее Лувенгское (Кандалакшские и Лувенгские тундры) (рис.1А). В задачи работ входило (1) изучение ДО озер, расположенных в зоне активизированного разлома; (2) изучение ПСД в скальном субстрате; (3) отбор проб захороненного материала, содержащего органическое вещество под обвалами в сейсмостектонических ущельях, уступах и рвах для определения временных рамок породивших их землетрясений.

При полевых работах были изучены ДО двух озерных котловин (рис. 1В), входящих в систему Лувенгских озер и выполняющих новейшую грабенообразную депрессию, принадлежащую протяженной (более 80км) зоне разломов СЗ простирания. Отбор донных осадков производился в 2018 году в летний период с катамарана при помощи переносного отечественного поршневого бура, позволяющего отбирать монолиты донных отложений мощностью 1 м с перекрытием 5-10 см, чтобы избежать пропусков в седиментологической последовательности осадков. В озерных кернах были обнаружены слои, состоящие только из растительного детрита, иногда с включением крупных веток до 3см длиной, а также слои с деформациями в виде фестончатых рисунков, размывов и муаровых текстур в гиттии (Рис. 1С). Присутствие внизу разрезов слоев растительного детрита о может быть связано как с резким падением уровня воды в озере вследствие ксерофитизации климата, так и с другой причиной, одномоментным вбросом большого количества растительных остатков вследствие сейсмического встряхивания. Согласно результатам радиоуглеродного и спорово-пыльцевого анализов, предварительно мы выделяем два события, которые имели место в бореальный период.

Возраст еще одного предполагаемого палеоземлетрясения, позднеголоценового, установлен при изучении дислокаций, смещающих поверхность ледниковой экзарации на первые метры-десятки метров и осложняющих борта Средне-Лувенгского грабена. В основании уступа под скальным крупноглыбовым обвалом была отобрана проба палеопочвы, показавшая возраст ~2800 лет (Рис. 1Д). Для более обоснованного вывода о времени образования сейсморовов и трещин, осложняющих борта новейшего грабена, и в дополнение к предыдущим исследованиям ГИ КНЦ РАН, при полевых работах 2020 года совместно с сотрудниками ОИФЗ РАН были отобраны дополнительные пробы органического материала, погребенного под скальными обвалами еще в нескольких пунктах. Однако уже к настоящему времени можно предполагать здесь наличие нескольких генераций ощутимых палеоземлетрясений с I_0 -VIII-IX баллов.

Таким образом, в ходе полевых работ была собрана разнообразная информация о следах катастрофических событий в разных геологических средах, отобраны пробы на радиоуглеродные и другие виды анализов, получена обширная структурная информация, которая в дальнейшем, наряду с прежде полученными данными, позволит установить основные пространственно-временные закономерности проявления новейшей тектонической активности в Европейской Субарктике.

Исследования проведены при поддержке гранта РФФИ № 18-05-60125 Арктика, «Крупные озера Арктики в условиях глобальных и региональных изменений окружающей среды и климата» и в рамках темы НИР ФИЦ «Кольский научный центр РАН», ГИ КНЦ РАН № 0226-2019-0054

ЛИТЕРАТУРА

Вечная мерзлота Кольского полуострова / Под ред. И.Я. Баранова // Тр. Ин-та мерзлотоведения им. В.А. Обручева. Т. XIII. 1953.180 с.

Колька В.В., Корсакова О.П., Толстобров Д.С., Толстоброва А.Н., Вашков А.А. Побережье Кандалакшского залива Белого моря: комплексные литологические, микропалеонтологические, неотектонические, геохронологические исследования

лаборатории геологии и минералогии новейших отложений Геологического института КНЦ РАН в 2017-2019 годах // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2019. Выпуск 6. С. 53-60. doi:10.24411/2687-1092-2019-10609

Лукашов А.Д. Геодинамика новейшего времени // Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2004. С. 150 – 191.

Николаева С.Б. Палеосейсмодислокации южной части Кольского полуострова // Четвертичные отложения и новейшая тектоника ледниковых областей Восточной Европы. Апатиты: Изд. КНЦ РАН. 1993. С. 69-81.

Николаева С.Б. Палеосейсмические проявления в северо-восточной части Балтийского щита и их геолого-тектоническая позиция // Геоморфология. 2001. № 4. С. 66-74.

Николаева С.Б. Сейсмичность в позднеплейстоцен-голоценовых осадках северо-запада Кольского региона (северная часть Балтийского щита) // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. №7. С. 830-839.

Николаева С.Б., Лаврова Н.Б., Денисов Д.Б., Толстобров Д.С. Следы катастрофических процессов в донных осадках озер западного побережья озера Бабинская Имандра (Кольский регион) // Известия русского географического общества. 2016. Т. 148. Вып.4. С.38-52.

Толстобров Д. С., Толстоброва А. Н., Колька В. В., Корсакова О. П., Субетто Д. А. Возможные следы голоценовых цунами в озерных отложениях в районе пос. Териберка (Кольский полуостров) // Труды Карельского научного центра РАН. 2018. № 9. С. 92–102. doi: 10.17076/lim865

Beer M. et al. (eds.), Encyclopedia of Earthquake Engineering. Part 6 Björn Lund: Paleoseismology of Glaciated Terrain. 2015.

McCalpin J.P. (Ed.), Paleoseismology, 2nd ed. Academic Press, (International Series, 95) Amsterdam-London. 2009. 615 p.

Morner N.-A. Paleoseismicity of Sweden: a novel paradigm. Stockholm: P&G-unit, tockholm Univ., 2003. 320 p.

Nikolaeva S., Lavrova N., Denisov D. New data on effects of strong catastrophic events in lake sediments in European subarctic (Kola Peninsula) // Paleolimnology of Northern Eurasia. Proceedings of the International Conference. Petrozavodsk, 21-25 September, 2014 / Eds. Dmitry Subetto, Tatyana Regerand, Anastasiya Sidorova. Petrozavodsk: Karelian Research Centre RAS, 2014. P. 119-120.

Nikolaeva S., Tolstobrov D., Tolstobrova A. Disturbances in the primary stratigraphy of lake sediments on the Murmansk coast (Russia): their identification and relationship with catastrophic events // Baltica. 2019. Vol. 32. Is. 2. P.156-169. doi: 10.5200/baltica.2019.2.3

Obermeier S.F., Olson S.M., Green R.A. Field occurrences of liquefaction-induced features: a primer for engineering geologic analysis of paleoseismic shaking // Engineering Geology. 2005. Vol. 76. P. 209–234. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.07.009>

Olesen O., Bungum H., Dehls J., Lindholm C., Pascal C., Roberts D. Neotectonics, seismicity and contemporary stressfield in Norway—mechanisms and implications. In: Olsen L, Fredin O, Olesen O (Eds.), Quaternary Geology of Norway. Geological Survey of Norway, Special Publication 13, 2013. P.145–174.

PALEOSEISMOLOGICAL RESEARCH IN EUROPEAN SUBARCTIC (KOLA PENINSULA): FIELD WORKS 2018-2020

Nikolaeva S.B., Tolstobrov D.S., Vashkov A.A.

Geological Institute of Kola Science Center RAS, Apatity, Russia,

The results of field expeditions to study geological evidence of strong ancient earthquakes in the northeast of the Fennoscandian shield (Kola region) are presented. Based on specific examples, new data on seismically induced structures in the sections of Quaternary sediments, including in bottom sediments of lakes, seismic dislocations in rocks, and their connection with structures and movements are discussed.

Keywords: *earthquake-induced deformation, palaeo-earthquakes, seismites, bottom sediment, Holocene, Kola region.*