

УДК 550.34+551.248.2+550.348.436(470.21)

С. Б. Николаева

## Сейсмически индуцированные структуры в четвертичных отложениях СВ Фенноскандинавского щита: особенности проявления и возрастные привязки

S. B. Nikolaeva

### Seismically-induced structures in the Quaternary sediments of the NE Fennoscandian Shield: Features and age

**Аннотация.** Представлены результаты изучения вторичных сейсмогенных деформаций вибрационного типа (сейсмита) в рыхлых отложениях северо-восточной части (СВ) Фенноскандинавского щита (Кольский регион). Рассмотрены особенности проявления, типы, механизмы формирования и возраст сеймитов. На основе полученных результатов выделены основные периоды активизации региона в голоцене. Предложены критерии выделения подобных структур на фоне широкого развития гляциодислокаций. Приведены результаты изучения разрезов, содержащих сейсмита в отдельных районах региона.

**Abstract.** Results of studying secondary seismogenic deformations of the vibrational type (termed "seismites") in loose sediments of the north-eastern Baltic Shield (the Kola region) have been provided. The features, types, formation patterns and age of seismites have been considered. On the basis of previous results the major periods of the region activation in the Holocene have been defined. Criteria of identifying similar structures with widely spread glacioidislocations have been suggested. Results of studying the sections with seismites in certain areas of the region have been provided.

**Ключевые слова:** сейсмита, рыхлые отложения, землетрясения, Кольский регион, Балтийский щит, голоцен.

**Key words:** seismites, loose sediments, earthquakes, the Kola region, the Baltic Shield, Holocene.

#### Введение

Представления о сейсмичности Фенноскандинавского (Балтийского) щита соответствуют периоду инструментальных наблюдений, охватывающему не более 100 лет. Сейсмичность этого отрезка времени оценивается как слабая до умеренной [1]. Наиболее активна западная часть Фенноскандии, у побережья Норвегии, в то время как к востоку частота и энергия современных землетрясений уменьшается (рис. 1). Исследования последних десятилетий на территории Фенноскандии значительно изменили представления об истории сейсмичности региона. Появившиеся данные о следах сильных древних землетрясений – палеосейсмодеформациях свидетельствуют о разрушительных, высокомагнитудных ( $I \geq VIII-IX$ ,  $M = 7,0 \pm 0,5$ ) событиях, происходивших в пределах щита на протяжении последних 10–13 тысячи лет [2–4].

Анализ пространственного распределения и оценки возраста палеосейсмодеформаций позволяет определять параметры землетрясений, устанавливать их периодичность, выявлять зоны активных разломов, служит для пополнения карт сейсморайонирования, направленных на оценку сейсмической опасности территорий. Довольно часто объектами исследований являются сейсмогенные деформации в рыхлых водонасыщенных отложениях – сейсмически индуцированные структуры и текстуры. Их относят к вторичным сейсмогенным деформациям вибрационного типа и объединяют термином "сейсмита" [5].

Изучению сеймитов, прежде всего в сейсмоактивных областях, посвящена обширная литература [6–11]. В Фенноскандии сейсмита встречаются реже и наиболее детально изучены в Швеции. Среди них выделены явления разжижения в песках, конволютные текстуры, оползни, турбидиты и цунамигенные слои в осадках озер, зарегистрированные приблизительно в 50 участках территории и относящиеся к 25 различным палеосейсмическим событиям [3; 12]. Сообщения о первых находках сеймитов в отдельных районах Кольского региона опубликованы в [13; 14]. К настоящему времени число местонахождений сейсмогенных проявлений существенно возросло, появились новые данные об их локализации и возрасте.

Целью работы является определение временных интервалов палеосейсмичности Кольского региона на основе обобщения и анализа результатов изучения сейсмически индуцированных структур в рыхлых отложениях. В статье рассматриваются основные типы сеймитов, механизмы их формирования, особенности проявления и возраст. Предложены критерии выделения подобных структур на фоне широкого развития гляциодислокаций. Приведены результаты изучения разрезов, содержащих сейсмита в отдельных районах

региона: долины реки Печенга, Кольского залива, Имандровской неотектонической впадины, Хибинского горного массива.

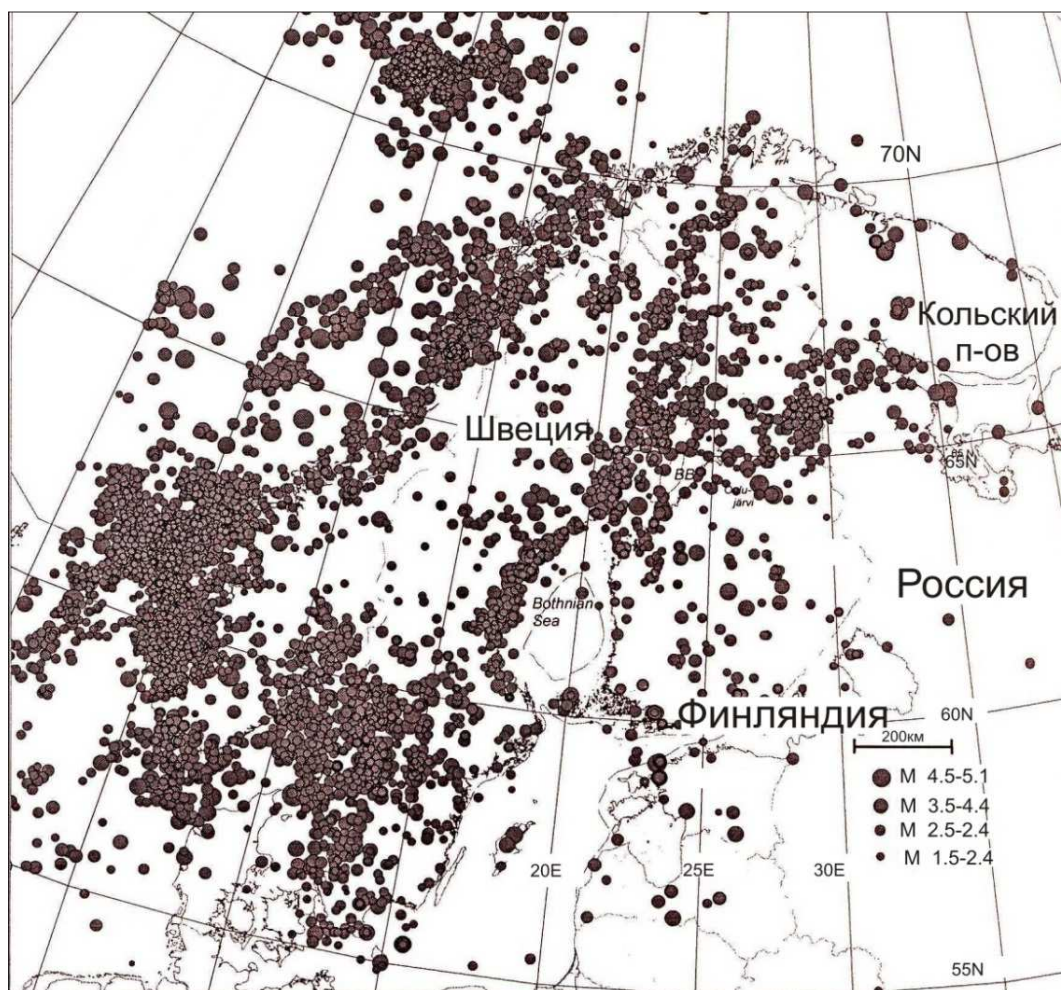


Рис. 1. Пространственное распределение эпицентров землетрясений в Северной Европе с 1375 по 2008 г. (по данным Института сейсмологии, университет Хельсинки) и [1]

#### Методика исследования и используемые подходы

В Кольском регионе разрезы четвертичных отложений были вскрыты шурфами и расчистками в естественных обнажениях вдоль долин рек, карьерами, придорожными выемками, а также получены при бурении донных осадков озер и изучены в пределах 9 основных участков: в районах р. Печенги, Ура-губы, Кольского фиорда, озера Имандра и в Хибинах (рис. 2).

В исследовании использован методологический подход, основанный на литостратиграфическом анализе разрезов рыхлых отложений. Детальному рассмотрению подлежали следующие седиментационные характеристики: состав отложений, текстура, включая размер и окатанность зерен; мощность в напластовании, цикличность; типы слоистости; микроструктуры. Измерялись параметры деформаций: размер и геометрические характеристики, включающие толщину и длину, симметрию, форму, степень проникновения, контакты на подошве и кровле пласта, состав вмещающего слоя. В каждом конкретном участке учитывалась латеральная протяженность слоев с деформациями. Основное внимание уделялось рассмотрению и перебору различных механизмов образования деформаций, выделению сейсмогенных признаков. Рассматривались только те нарушения, в которых наблюдались следы разжижения осадков (непременное условие образования сейсмиков) и отсутствие гравитационного соскальзывания материала [9]. Возраст сейсмодетформаций определялся путем широкого применения метода радиоуглеродного датирования слоев по органическому материалу в сочетании с другими методами (региональной стратиграфией, палеогеографией и пр.).

#### Классификации и механизмы образования сейсмиков

Термин "сейсмикты" объединяет различные деформации, возникающие в результате разжижения грунтов и сопровождающих его явлений подъема различных флюидов (воды, газов, песчаных и грязевых масс и т. п.)

под влиянием сейсмических волн и вибрации [5; 16]. Такие деформации возникают в местах проявления сильных современных землетрясений и представлены на местности площадными излияниями водно-песчаной смеси, грязевыми вулканами и грифонами. В рыхлых отложениях они проявляются в виде каналов, обеспечивающих подъем грязевых масс к поверхности, структурами выдавливания и перемешивания слоев, перешедших во время землетрясения в жидкое состояние, а также в результате воздействия последних на более плотные, неразжиженные отложения (если они есть). Наиболее подвержены сейсмогенному разжижению водонасыщенные песчаные отложения, причем самыми благоприятными для развития этого процесса являются тонкозернистые пески.

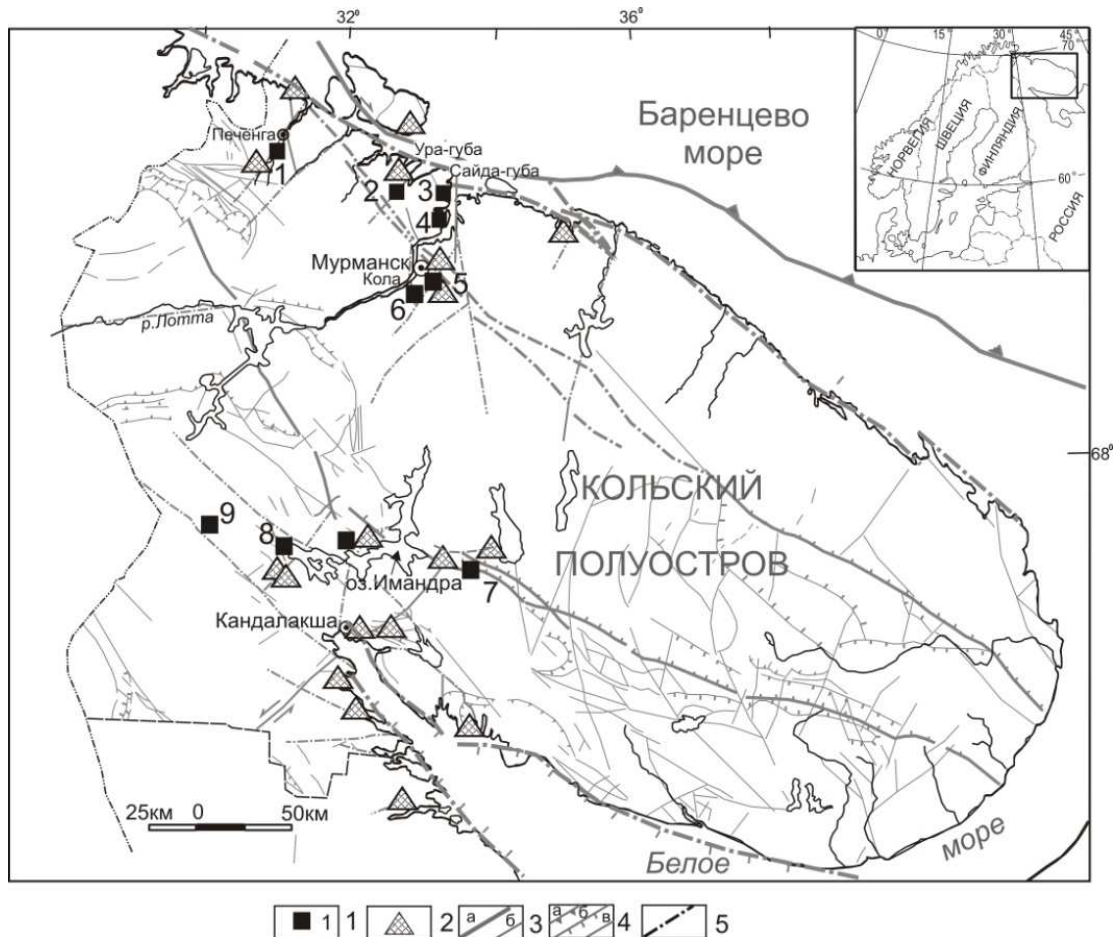


Рис. 2. Схема расположения палеосейсмодеформаций и тектонических нарушений Кольского региона:  
 1 – местоположение изученных разрезов с сейсмически индуцированными структурами в рыхлых отложениях; 2 – участки развития палеосейсмодеформаций в скальном субстрате; 3–5 – разломы по [15]:  
 3 – главные (а), второстепенные (б), 4 – надвиги (а), взбросы и сбросы (б), прочие (в),  
 5 – активизированные

В настоящее время какой-либо единой универсальной общепризнанной классификации сейсмидов нет. При описании деформаций часто используются различные неформальные термины с геометрической или иной образностью, типа "шаровые", "подушечные", "пламенеобразные", "циклоидные", "облаковидные", "грибовидные" и пр. В обобщающей работе К. Монтеня с соавторами [7] приведена классификация эффектов от землетрясений в осадках, где группа сейсмидов разделена на хрупкие и пластические деформации. А. С. Гладков и О. В. Лунина, изучавшие сейсмиды в районе Байкальской рифтовой зоны и на юге Сибирской платформы, разделяют их на пластические и хрупкопластические деформации, не рассматривая не заполненные веществом разрывы [10].

Механизмы, определяющие сейсмогенное разжижение грунтов, приводятся в ряде работ [16; 17]. Последствия разжижения и возникновения сейсмидов вызваны, главным образом, циклическими сотрясениями на ровной или почти ровной поверхности. Основными характеристиками сейсмических воздействий являются амплитуда циклических касательных напряжений и то, сколько раз касательные напряжения воздействуют на грунт (рис. 3 А). В результате этих процессов возникают колебания частиц грунта, и контакты между ними разрываются. При этом высвобождается вода, заполнявшая пространство между зернами, и грунты

приобретают свойство жидкости с взвешенными частицами. Этапы сейсмогенного разжижения грунтов показаны на рис. 3 Б.

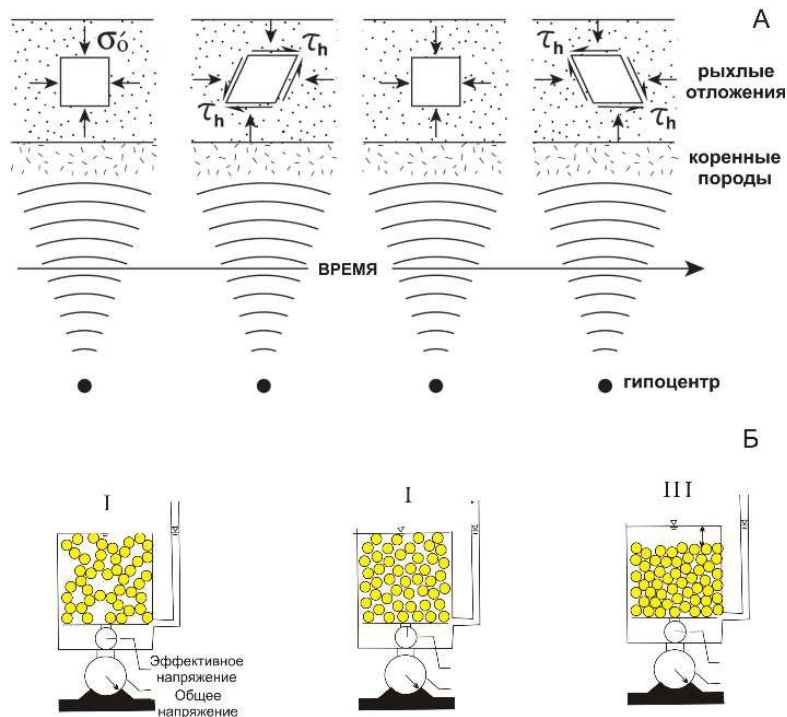


Рис. 3. Механизмы, определяющие сейсмогенное разжижение грунтов.

А: Схематический вертикальный разрез, показывающий идеализированное изменение во времени условий нагружения в толще рыхлых отложений под действием энергии, распространяющейся вверх из гипоцентра по [16]. Напряжения показывают предваряющее разжижение, циклическое изменение условий нагружения.  $\sigma_0'$  – первичное вертикальное эффективное напряжение, обусловленное весом вышележащих пород;  $\tau_h$  – индуцированные землетрясением циклические изменения касательных напряжений. Б: Изменения в плотности частиц песка или других зерен осадков, обусловленных разжижением. I – рыхлый водонасыщенный песок с крупными порами до землетрясения; II – сейсмический толчок – связи между частицами грунта разорваны, и они оказываются взвешенными в воде; III – уплотненный песок после отжатия воды и оседания частиц

### Основные типы сейсмиков и особенности их проявления

Нарушения и деформации в четвертичных отложениях Кольского региона, следуя классификациям [7; 10], разделены на две группы: пластические и хрупко-пластические. В отдельную группу выделены сеймонарушения в донных осадках озер.

Среди *пластических деформаций* наиболее часто встречаются конволютные текстуры, "текстуры удаления воды", пластические "интрузии" и явления разжижения песков. Наиболее показателен разрез, вскрывший 25-метровую террасу в среднем течении реки Печенга (участок 1 на рис. 2) [13]. Деформации развиты в 4 отдельных стратиграфических горизонтах одного разреза, перекрываются и подстилаются недеформированными отложениями и образованы в различных по строению слоях песка: однородных, с косоволнистой и градационной (прямой и обратной) слоистостью (рис. 4). Это свидетельствует о том, что образование деформаций не связано с условиями седиментации самих осадков. Исключение возможности образования нарушений вследствие гравитационного течения, а также цикличность проявления свидетельствуют в пользу их сейсмогенного генезиса. Различные конволютные текстуры, дизъюнктивные нарушения и оползневые смятия отмечены еще в нескольких разрезах, расположенных вдоль долины реки Печенга и прослеженных на расстояние более 10 км.

Деформации с признаками спонтанного разжижения осадка выявлены в карьерах, вскрывших Урагубскую и Сайдагубскую флювиогляциальные дельты. Они развиты в мелко-тонкозернистых песках и алевролитах и приурочены к дистальным частям дельт, где образуют несколько горизонтов с сейсмитами (рис. 5). Среди них – "текстуры удаления воды", представленные вертикальными (субвертикальными) круглыми столбиками (в других разрезах – более широкими каналами), которые круто секут слоистый песок (рис. 6 А). Толщина их составляет от нескольких мм до 0,5–1,5 см [14].

Текстуры "пламя" в ледниково-морских отложениях нижнего течения реки Ура образованы пламенивидными перьями тонкозернистого песка, неравномерно выжатыми вверх (рис. 6 Б). Высота их

варьируется от 3–5 до 15 см. В изученных горизонтах эти текстуры занимают центральную часть слоя и их "язычки" распространяются только вверх, не проникая в подстилающие осадки. Иногда вершины язычков наклонены в виде флагов или запрокинуты.

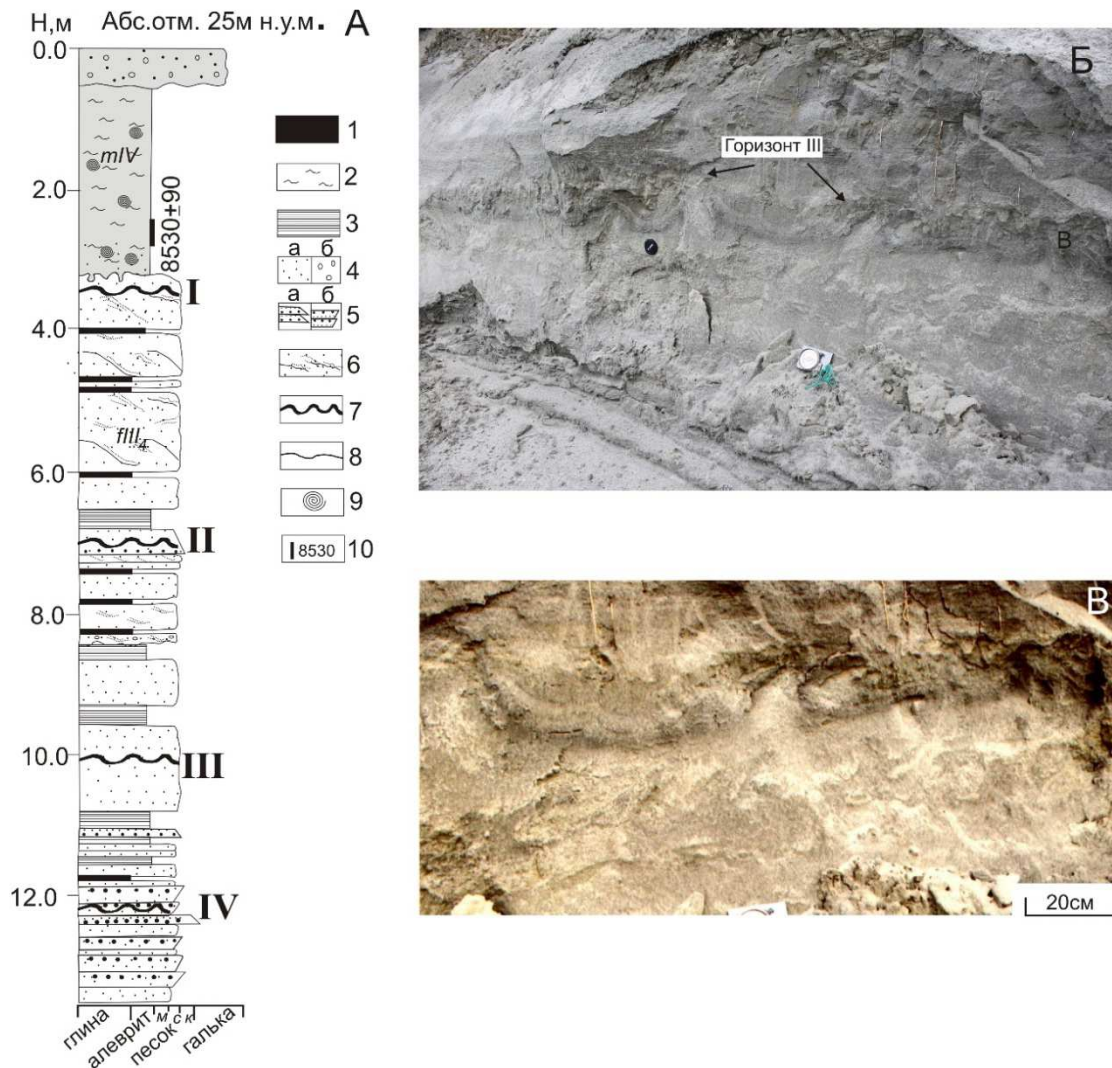


Рис. 4. Циклическое проявление сейсмиков в разрезе морских и флювиогляциальных отложений (долина реки Печенга). А: 1 – глина; 2 – суглинки; 3 – тонкое переслаивание глины, алевроита и песка; 4 – песок (а), галька (б); 5 – слоистость градационная: прямая (а), обратная (б); 6 – косоволнистая слоистость; 7 – деформации; 8 – граница размыва; 9 – раковины морских моллюсков; 10 – место отбора проб на  $^{14}\text{C}$ . Цифрами I–IV обозначены горизонты сейсмиков. Б и В: Конволютные текстуры горизонта III

Пластические "интрузии" в виде внедрений песков снизу вверх в перекрывающие ненарушенные горизонты имеют разную форму и выраженность в зависимости от гранулометрического состава осадков (рис. 6 В). Они развиты в песчано-глинистых отложениях участков Ура и Сайда-губы, района озера Имандра. Высота форм достигает 35–40 см, а ширина составляет 20–25 см.

Еще один вид деформаций – достаточно часто встречающиеся в разрезах серии различных складок. Иногда это миниатюрные складочки с амплитудой волны, не превышающей 10 см, похожие на конволютную слоистость (рис. 6 Г). Горизонты мощностью в 10–20 см, прослеженные на расстояние около 0,5 км, наблюдались в разрезе позднеледниковых ленточных суглинков, вскрытых Коашвинским карьером в Хибинах [18]. В других случаях это наклонные или лежащие складки, связываемые, как правило, с оползновыми процессами.

Закручивание слоев разнозернистых песков, часто уплощенной формы, можно отнести к "псевдонодулям" – изолированной массе осадка различной морфологии (рис. 6 Д). Слои, в которых они появляются, обычно 10–55 см мощностью. В работе [7] аналогичные текстуры представлены как характерная особенность песчаных вулканов (рис. 6 Е). Еще один возможный механизм образования "псевдонодулей" связывается с различной плотностью и вязкостью материала самих нодулей и вмещающих отложений, в результате чего перемещение материала происходит в субвертикальном направлении, т. е. он проваливается

в разжиженный осадок [17]. Уплотненность и вытянутость форм может указывать на последующее перемещение материала в горизонтальном направлении в условиях действия сдвиговых напряжений. Разжижение в осадках представлено "размытостью" и стиранием первичной слоистости в песках.

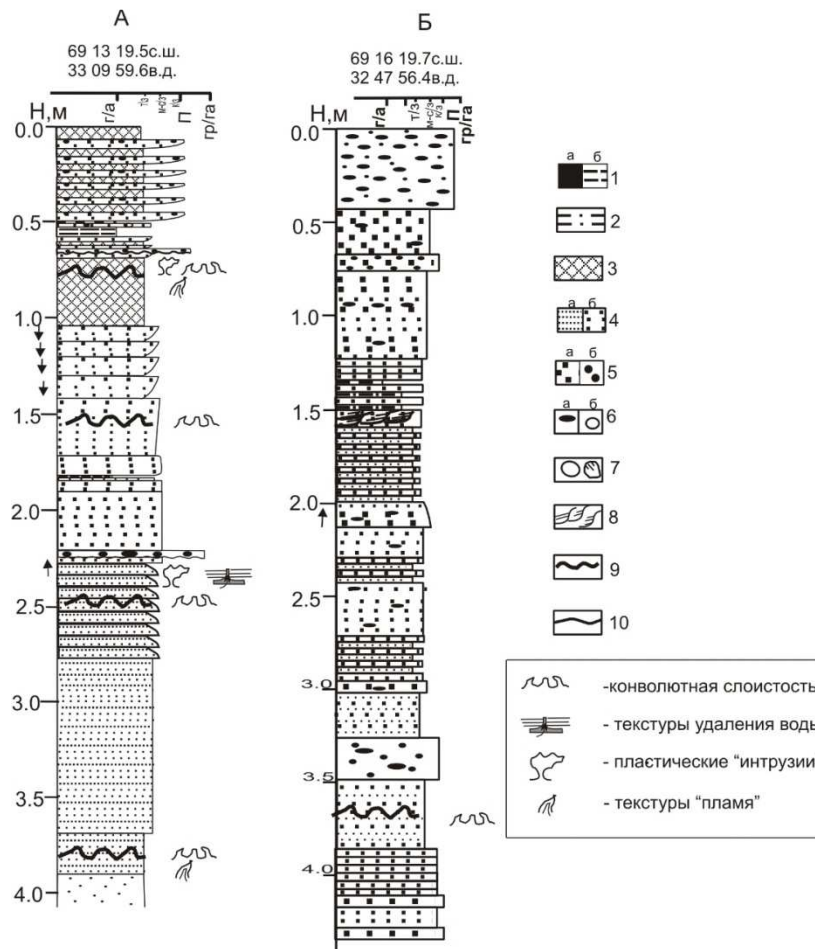


Рис. 5. Разрезы Сайдагубской (А) и Урагубской (Б) флювиогляциальных дельт и типы сейсмиков.

- 1 – глина (а), алеврит (б); 2 – супесь; 3 – тонкое переслаивание алеврита и песка;  
 4 – песок тонкозернистый (а), мелкозернистый (б); 5 – песок среднезернистый (а), крупнозернистый (б);  
 6 – гравий (а), галька (б); 7 – валуны; 8 – косоволнистая слоистость; 9 – горизонты сейсмиков;  
 10 – граница размыва

*Хрупко-пластические деформации* представлены структурами "разломно-градационной слоистости", инъекционными и нептуническими дайками, системами микросбросов, взбросов и надвигов. Эта группа деформаций образуется в перекрывающих слоях в результате прохождения сейсмических волн (сколовые и отрывные трещины), а также при воздействии на них разжиженных осадков при аномальном увеличении порового давления (гидроразрывы) [16].

Структуры разломно-градационной слоистости представляют собой нарушения с внутри- и межслоевыми трещинами со ступенчатыми смещениями, часто наследуемые кластическими дайками и отражающими почти всегда сейсмическое происхождение [7]. Они развиты в тонкослоистых песках и супесях и вскрыты несколькими расчистками вдоль долины реки Колы [14]. Инъекционные микродайки (мощностью 0,5–4 см) развиты по трещинам и заполнены гомогенизированным светлым песком, поступившим из нижних горизонтов (рис. 7). В плане они прямолинейны, реже имеют извилистую форму. Нептуническая дайка отмечена близ впадения р. Пильгуйоки в р. Печенгу [19]. Она развита в толще аллювия, состоящего из косослоистых кварц-полевошпатовых песков с линзами глин и сложена крупнозернистым песком. Дайка в разрезе воронковидная, мощностью от 5 см (вверху) до 0,5 см (внизу).

*Сеймонарушения в донных осадках озер.* Еще одна группа сейсмодеструкций обнаружена в осадках малых и средних озер Кольского региона. Нарушения представлены несогласным и дислоцированным залеганием слоев, оползнями, конволютными складками в илах и сапропелях и прослоями песка, инверсией возрастов, резкими нарушениями в диатомовых комплексах, связываемыми с тектоническими перемещениями (участки 4 и 5 на рис. 2). Один из ярких примеров – сеймонарушения, обнаруженные в озерных осадках западного побережья Имандры [20]. В поднятых кернах наблюдаются горизонты, резко отличающиеся от перекрывающих

и подстилающих их отложений (рис. 8). Обычно озерные осадки характеризуются субгоризонтальным залеганием, свидетельствующим о спокойной гидродинамической обстановке во время осадконакопления. Присутствие нетипичных для нормального строения разрезов деформаций, как правило, свидетельствует о каких-либо катастрофических событиях. Аномальные горизонты представлены обломками гиттии, алеврита, древесины, песка и торфа, заключенными в монотонную сапропелевую матрицу и имеющими вид брекчии. Вероятный механизм их образования – катастрофический сброс отложений с бортов котловины в результате сейсмотектонической подвижки. При этом произошло "взламывание" осадков, повлекшее суспензирование их и последующее переотложение в виде "брекчиевого" горизонта на уже ранее сформированные и недеформированные слои.

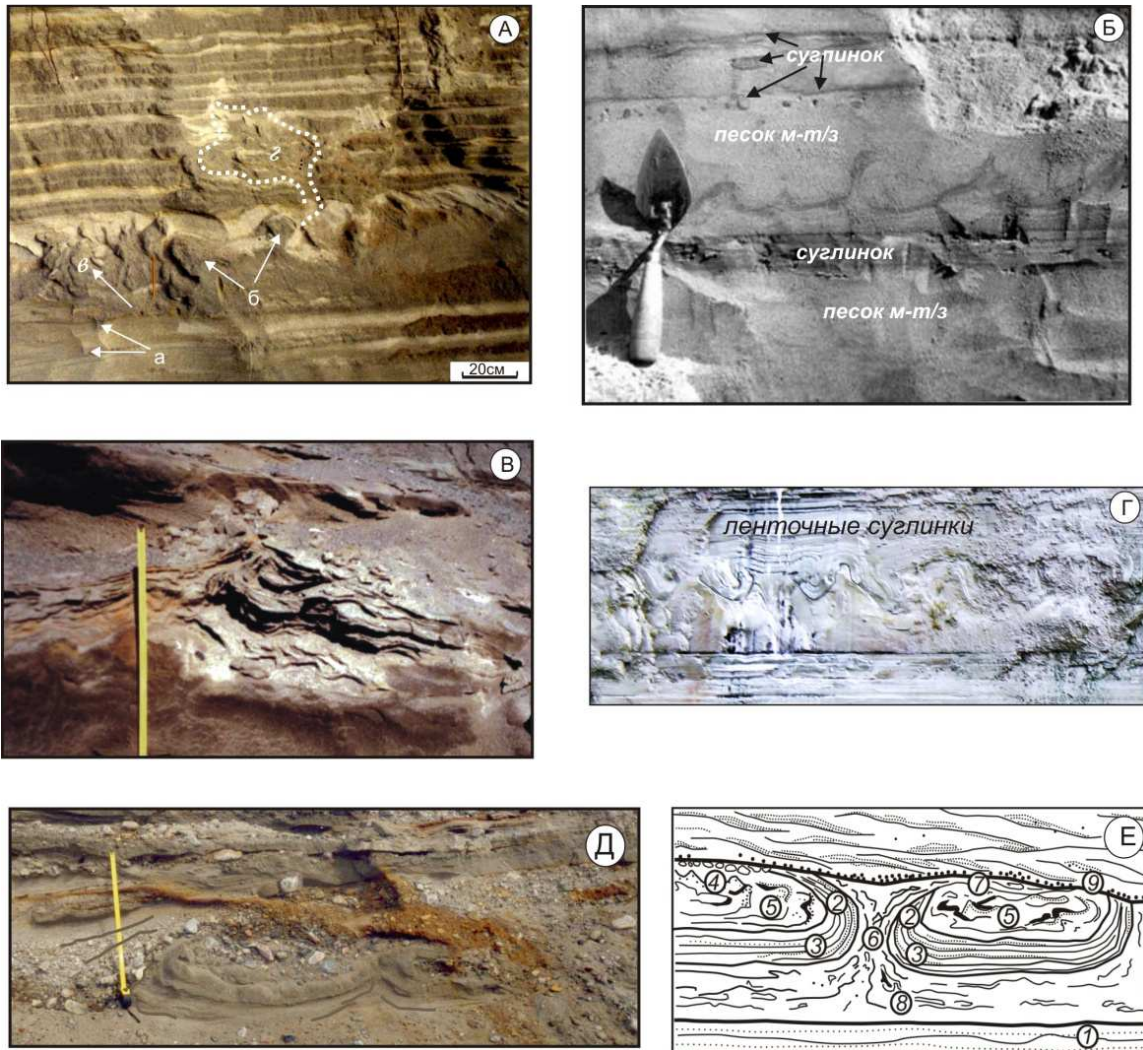


Рис. 6. Примеры пластических сейсмодформаций в разных генетических типах четвертичных отложений Кольского региона.

- А: Сочетание различных типов деформаций в тонкослоистых песчано-алевритистых осадках Сайдагубской дельты: а – столбчатые; б, в – конволютные текстуры; г – явления разжижения, нарушающее горизонтальную слоистость песков. Б: Литологическая "сейсмограмма" в ледниково-морских песках, обнажающихся вдоль реки Ура. Длина мастерка 30 см. В: Диапироподобные внедрения или следы спонтанного разжижения песков, вскрытых в Урагубской флювиогляциальной дельте. Длина линейки 1,3 м. Г: Конволютные складки в ленточных озерно-ледниковых суглинках карьера Коашва. Д: Псевдонодулы в осадках флювиогляциальной дельты в Сайда-губе. Длина линейки 65 см. Е: Иллюстрация характерных особенностей песчаных вулканов в поперечном сечении по [7, рис. 15].
1. Недеформированный основной слой; 2. Центральный, часто асимметричный заворот песчаного слоя;
  3. Сохранение осадочных структур завернутого слоя. Этот слой отражает растяжение рыхлого материала в момент поднятия осадка. Материал опрокинутого слоя может быть раздроблен (4) или частично превращен в жидкость и конволюции (5). 6. Выход превращенного в жидкость тонкозернистого осадка.
  7. Поверхностный поток вышедшего осадка. 8. Фрагменты разрушенных слоев песка, уничтоженных потоком и превращенного в жидкость осадка. 9. Недеформированный слой, перекрывающий деформации

Особенностями проявления обсуждаемых деформаций является развитие одинаковых текстур в разных генетических типах осадков: аллювиальных, озерных, морских, ледниково-морских, озерно-ледниковых, флювиогляциальных. Все они находятся и в разных по гранулометрическому составу отложениях, подвергавшихся явлениям разжижения и флюидизации – от ленточных глин, тонких алевритов и илов до разнозернистых песков, реже гравийников, т. е. возникновение этих текстур нельзя связать с какими-либо определенными осадочными последовательностями или приуроченностью к одному литологическому горизонту. Во многих разрезах наблюдается сочетание разных типов текстур, свидетельствующих о формировании их в обстановке как горизонтального, так и вертикального движения материала, что характерно для сейсмических импульсов. Следует отметить то обстоятельство, что в пределах Кольского региона предыдущими исследователями не были отмечены такие проявления, как кластические дайки и трещины, заполненные песком, которые выклиниваются по направлению вверх (рис. 7).

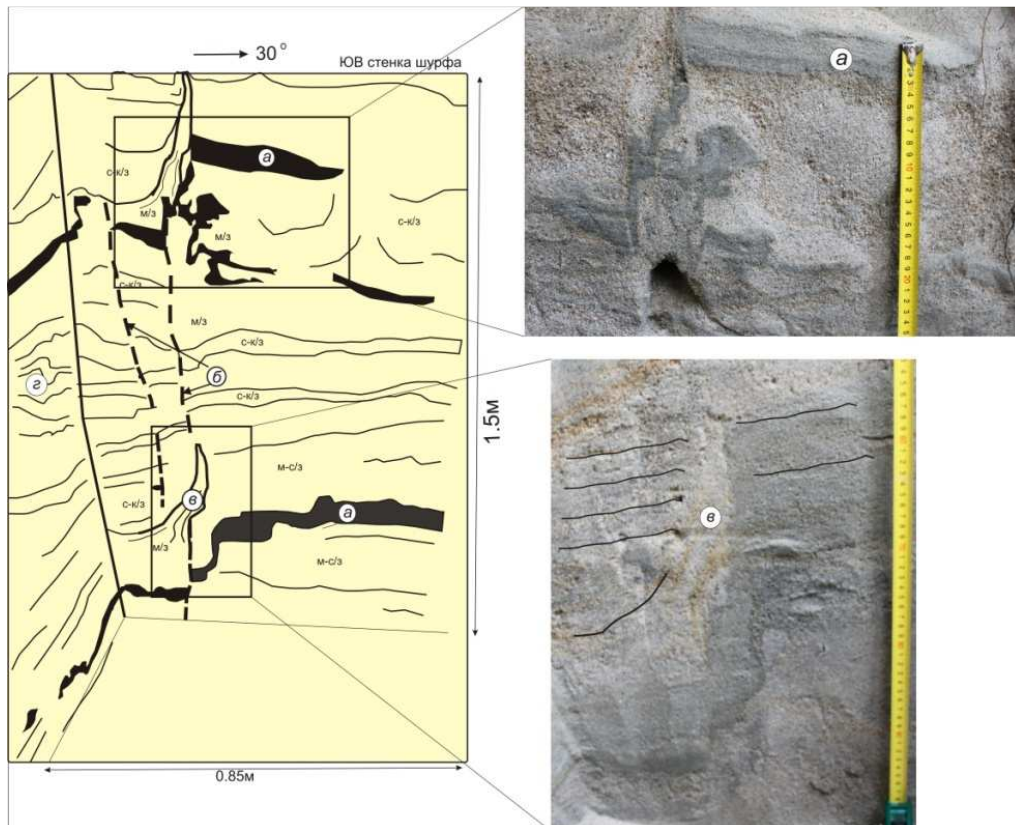


Рис. 7. Зарисовка северо-восточной стенки шурфа, вскрывшей хрупко-пластические и пластические деформации в разнозернистых песках и супесях позднеголоценовой террасы озера Бабинская Имандра: а – деформированные прослои тонкослоистого темно-серого песка с супесью, разорванные и "растщенные" на фрагменты различной формы, часто невыдержанные по мощности и перемещенные вверх по плоскостям микроразломов; б – сбросы и взбросы, амплитудой 5 и 10 см, нарушающие слоистость песков; в – внедрение песчаного материала вверх по плоскостям разломов в виде инъекционных микродаек, шириной от 2 до 5 см; г – изгиб слойков и нарушение первоначальной слоистости

*Критерии выделения сейсмиков.* Деформации в рыхлых отложениях могли быть образованы как сейсмическими, так и иными процессами. Поскольку Кольский регион является классическим полигоном развития ледниковых процессов, возникла необходимость выработки критериев отличия сейсмиков от гляциодислокаций. Прежде всего была исключена группа деформаций, возраст которых относится к голоцену (образованных позднее 9–9,5 тыс. лет назад (тыс. л. н.)). Эти нарушения не могут являться гляциодислокациями в связи с отсутствием самого ледника.

Опыт изучения гляциодислокаций Кольского региона показал, что, как правило, они являются моренными или подморенными образованиями, расположенными нередко близ положения края ледника, развиты в валунно-гравийных, гравийно-песчано-галечных, песчаных и глинистых отложениях. В основном гляциодислокации выражены крутыми складками с надвинутыми пластинами, чешуйчато-надвиговыми системами, опрокинутыми складками с размахом крыльев от нескольких метров до первых сотен метров, диапирами, шарьяжами, оползнями, сбросами, взбросами и надвигами. Для них характерны устойчивые



азимуты падения осевых плоскостей складок и надвинутых пластин в сторону источника движущегося льда. Деформации с таким набором признаков исключались из рассмотрения.

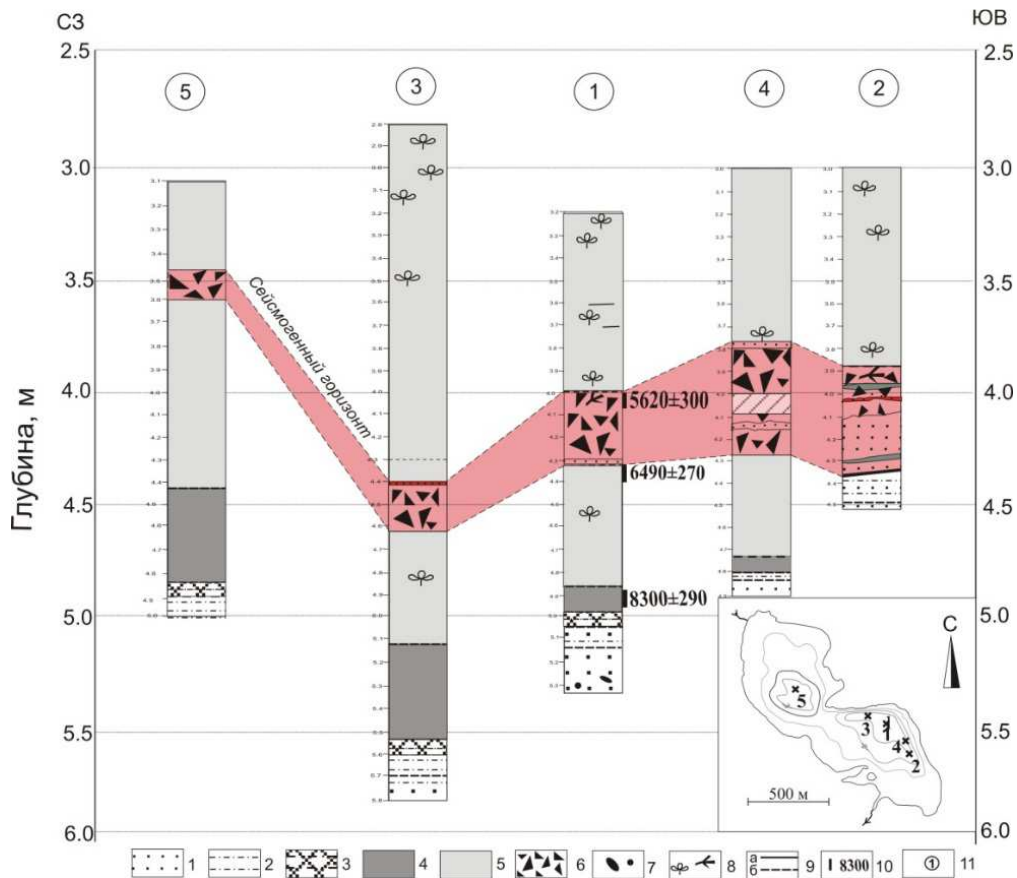


Рис. 8. Брекчиевый горизонт в кернах донных осадков безымянного озера, образованный в результате сейсмических сотрясений. На врезке показана схема расположения скважин.

Район западного побережья озера Бабинская Имандра:

- 1 – песок; 2 – алевроит; 3 – гиттия с алевроитом; 4 – гиттия черного цвета; 5 – гиттия коричневого цвета; 6 – брекчиевый горизонт; 7 – зерна гравия; 8 – остатки растений и древесины; 9 – контакты резкие (а), постепенные (б); 10 – места отбора проб на радиоуглеродный возраст, 11 – номера скважин

При отнесении нарушений к группе сейсмитов учитывались следующие критерии [9; 21]: (1) исключение возможности образования деформаций вследствие гляцигенных, гравитационных, кротурбационных процессов; (2) залегание горизонта с деформациями между ненарушенных отложений; (3) цикличность проявления деформаций в одном разрезе, что указывает на повторяемость событий и возможность рассматривать ее как периоды сейсмической активности, чередующиеся с периодами сейсмического спокойствия (затишья); (4) сходство структур, образованных экспериментально со структурами, образованными сейсмическими сотрясениями, или со структурами, образованными в результате известных землетрясений; (5) независимость возникновения деформаций от строения осадка и типа слоистости и спонтанный характер возникновения; (6) проявление вертикально направленных к земной поверхности гидравлических сил. В качестве дополнительного фактора рассматривались деформации других типов в этих же разрезах, связанных с тектоническими движениями в зонах активных разломов: ориентировка длинных осей конволютных текстур по отношению к сместителю разломной зоны и системы тектонических сколовых трещин. Косвенным свидетельством в пользу сейсмогенного происхождения деформаций являлось расположение их в зонах влияния разломов с признаками голоценовой активизации и в участках развития палеосеймодеформаций в скальных породах (рис. 2). Изученные текстуры по морфологии отличаются от криогенных образований, да и вечная мерзлота на исследуемой территории имеет ограниченное распространение и развита в основном на крайнем востоке и северо-востоке Кольского региона [22].

Судя по пространственному распределению сейсмитов, наиболее частые их проявления приурочены к зоне Мурманского побережья – тектонической границе первого порядка между Баренцевой плитой и Балтийским кристаллическим щитом (шовная зона "линия Карпинского") (рис. 2). Еще одна область локализации сейсмитов – район Имандровской неотектонической депрессии и поднимающейся неоструктуры Хибинского горного массива, то есть блоков с интенсивными неотектоническими перемещениями.

**Время проявления палеосейсмических событий**

Возраст образования сейсмиков определен в 9 местоположениях (рис. 2). Он указывает на то, что сеймотектоническая активность территории проявлялась на протяжении почти всего голоцена (таблица).

Судя по результатам палеогеографических исследований, образование сходных по строению флювиогляциальных дельт и парагенетически связанных с ними ледниково-морских и ледниково-озерных осадков в Ура-губе, Сайда-губе и у Колы происходило в одно и то же время – в позднем дриасе [23]. Эта территория освободилась полностью ото льда позже  $10\,200 \pm 310$  радиоуглеродных лет [23]. Следовательно, образование сейсмиков произошло при формировании дельт во время последних стадий дегляциации, в период между 11,0 – 9,5 тыс. л. н., точнее возраст пока не определяется. Радиоуглеродный возраст раковин морских моллюсков в суглинках Печенгского разреза составляет  $8\,530 \pm 90$  (Beta-58 712)<sup>14</sup>C [13]. Деформации горизонта I возникли приблизительно в это время или несколько ранее его (рис. 4). Возраст сейсмиков горизонтов II–IV – позднеледниковый, его можно определить лишь приближенно:  $\geq 10,3$  тыс. л. н. В озерных осадках Кольского залива (участок 4 на рис. 2) возраст деформаций, установленный по образцам гиттии:  $7\,790 \pm 100$  (T-12395 A)<sup>14</sup>C лет [14]. Нарушение нормального осадконакопления в озерной котловине у Мурманска датируется  $8950 \pm 150$  (TA-2293)<sup>14</sup>C лет. В это же время сошел оползень морены, перегородивший долину небольшого ручья. Сейсмиды в районе Хибинского массива были образованы в период от 11,8 до 13 тыс. л. н. [18]. Использование варвохронологического метода определения времени осадконакопления в ленточных отложениях показал, что в Хибинах в это время имели место несколько сближенных сейсмических событий, интервал между которыми составлял от 150 до 300 лет. Возраст образования "брекчиевых" слоев в осадках озер района западного побережья Имандры (участок 8 на рис. 2) определен по образцам сапропеля и обломкам древесины. Полученные даты свидетельствуют о двух сближенных событиях в среднем голоцене – около  $5\,640 \pm 120$ <sup>14</sup>C (JY-7910) и  $5\,410 \pm 370$ <sup>14</sup>C (JY-7363) [20]. Следы еще одного предполагаемого среднеголоценового события, относимого к дате  $6,5 \pm 0,2$  тыс. л. н., обнаружены в отложениях озера Ковдор [24].

Обобщение полученных данных позволило сделать предварительные выводы о временных интервалах палеосейсмической активности региона, относимые к следующим рубежам: I – 13–11,8; II – 11,0–9,5; III – 9,0; IV – 7,8; V – 6,5; VI – 5,6; VII – 5,4 (?) тыс. л. н.

Таблица

Время проявления палеосейсмических событий

№ п/п	Название участка	Возраст по <sup>14</sup> C	Количество событий
1	Печенга	8,5	1
		$\geq 10,3$	3
2	Ура	10,3–11–9,5	не менее 3
3	Сайда-губа	10,3–11–9,5	не менее 3
4	Пала-губа	7,8	1
5	Мурманск	~9	1
6	Кола	10,3–11–9,5	не менее 3
7	Хибины	13–11,8	не менее 3
8	Западная Имандра	5,6	возможно 2 сближенных события
		5,4	
9	Ковдор	$6,5 \pm 0,2$	1

Наибольшее количество событий относится к периоду последних стадий позднеледниковья – начала голоцена и свидетельствует о повышенной сейсмоактивности территории в это время. Влияние гляциоизостатического фактора способствовало разрядке напряжений и как следствие – повышенной сейсмичности. В среднем и позднем голоцене сейсмические события стали более редкими, влияние гляциоизостазии свелось к минимуму, а более значимой, вероятно, стала роль тектонического фактора. Полученные данные хорошо согласуются с возрастными оценками палеоземлетрясений Швеции, Норвегии и Финляндии за последние 13 000 лет [3]. Убывание частоты сейсмических событий от плейстоцен-голоценового рубежа связывают с гляциоизостатической моделью сейсмичности [25].

**Заключение**

В результате проведенных исследований получены следующие основные выводы.

1. Путем детального исследования строения разрезов четвертичных отложений на территории Кольского региона выявлены деформации сейсмогенного генезиса (сейсмиды). Произведена оценка значимости этих деформаций как индикаторов палеосейсмичности.

2. Выделены различные морфологические типы сейсмически индуцированных структур, встречающихся в четвертичных отложениях Кольского региона.

3. Методом радиоуглеродного датирования в сочетании с другими методами (региональной стратиграфией, палеогеографией) в 9 местоположениях определены временные интервалы палеосейсмической активности региона: 13–11,8; 11,0–9,5; 9,0; 7,8; 6,5; 5,6; 5,4 (?) тыс. л. н.

Представленные данные о позднеплейстоцен-голоценовых землетрясениях, запечатленные в разрезах четвертичных отложений, отражают итоги начальной формы изучения подобных структур в восточной части Балтийского щита. Однако тот факт, что эпоха дегляциации и следующие несколько тысяч лет за ней были периодом расширенной сейсмотектонической деятельности, можно считать несомненным, что в условиях широкого развития бассейновых отложений позднепоследнего возраста в регионе открывает перспективы выявления здесь сейсмиков, образованных сильными палеоземлетрясениями. Оптимальными площадями для поиска сейсмически индуцированных структур в рыхлых отложениях (в том числе и в осадках озерных котловин) являются прибрежные зоны Баренцева и Белого морей, а также районы развития палеосейсмодеформаций в кристаллических породах. Возможность датирования рыхлых отложений позволит более точно определить возраст палеосейсмических проявлений и их периодизацию. Учитывая, что Кольский регион является территорией размещения объектов повышенной опасности (атомной энергетики, металлургии, горной промышленности и оборонного комплекса), палеосейсмогеологические исследования здесь приобретают особую значимость и актуальность.

Исследования поддержаны Правительством Мурманской области в рамках государственной программы "Развитие экономического потенциала и формирование благоприятного предпринимательского климата" и грантами РФФИ № 14-05-98806 р\_север\_а и № 15-05-06831.

#### Библиографический список

1. Ahjos T., Uski M. Earthquakes in Northern Europe in 1375-1989 // *Tectonophysics*. 1992. V. 207. P. 1–23.
2. Lukashov A. D. Paleoseismotectonics in the northern part of Lake Onega (Zaonezhskij Peninsula, Russian Karelia) // *Geol. Survey of Finland. Nuclear Waste Disposal Research. Report YST-90*. Espoo. 1995. 36 p.
3. Mörner N.-A. Active faults and paleoseismicity in Fennoscandia, especially Sweden. Primary structures and secondary effects // *Tectonophysics*. 2004. V. 380. P. 139–157.
4. Николаева С. Б. Следы разрушительных землетрясений в окрестностях города Мурманска (по историческим и палеосейсмогеологическим данным) // *Вулканология и сейсмология*. 2008. № 3. С. 52–61.
5. Seilacher A. Fault-graded beds interpreted as seismites // *Sedimentology*. 1969. V. 13. P. 155–159.
6. Tuttle M. P., Schweig E. S. Archeological and pedological evidence for large prehistoric earthquakes in the New Madrid seismic zone, central United States // *Geology*. 1995. V. 23, N 3. P. 253–256.
7. Seismites: An attempt at critical analysis and classification / C. Montenat, P. Barrier, P. O. d'Estevou, C. Hibschi // *Sedimentary Geology*. 2007. V. 196. P. 5–30.
8. Synsedimentary deformation of Pleistocene glaciolacustrine deposits in the Albese con Cassano Area (Southern Alps, Northern Italy), and possible implications for paleoseismicity / K. Chunga, F. Livio, A. M. Michetti, L. Serva // *Sedimentary Geology*. 2007. V. 196. P. 59–80.
9. Корженков А. М. Сейсмогеология Тянь-Шаня (в пределах территории Кыргызстана и прилегающих районов). Бишкек, 2006. 290 с.
10. Гладков А. С., Лунина О. В. Сейсмичность юга Восточной Сибири: проблемы и перспективы изучения // *Геодинамика и тектонофизика*. 2010. Т. 1, № 3. С. 249–272.
11. Деев Е. В., Зольников И. Д., Гуськов С. А. Сейсмичность в четвертичных отложениях Юго-Восточного Алтая / *Геология и геофизика*. 2009. Т. 50, № 6. С. 703–722.
12. Mörner N.-A. An interpretation and catalogue of paleoseismicity in Sweden // *Tectonophysics*. 2005. V. 408. P. 265–307.
13. 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.
14. Николаева С. Б. Свидетельства сейсмических событий на побережье Мурманска в позднеледниковье и голоцене (северо-восток Балтийского щита) // *Известия РГО*. 2013. Т. 145. Вып. 4. С. 53–65.
15. Геологическая карта Кольского региона. Масштаб 1:1000000 / под ред. Ф. П. Митрофанова. Апатиты : Изд. КНЦ РАН, 2001.
16. 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. V. 76. P. 209–234.
17. Kuenen P. H. Experiments in geology // *Trans. Geol. Soc. Glasgow*. 1958. V. 23. P. 1–28.
18. Николаева С. Б. Складчатые деформации в позднеплейстоценовых отложениях Хибин (центральная часть Кольского полуострова): морфология и генезис // *Вестник МГТУ*. 2014. Т. 17, № 2. С. 329–339.
19. Спиридонов А. В. О палеосейсмодислокациях в районе Печенгской структуры // *Геофизические исследования*. 2005. Вып. 4. С. 73–78.

20. Николаева С. Б., Толстобров Д. С. Донные отложения озер СВ Фенноскандинавского щита как индикаторы природных катастрофических событий // *Фундаментальные проблемы квартера. Итоги изучения и основные направления дальнейших исследований : материалы IX Всерос. совещания по изучению четвертичного периода (г. Иркутск, 15–20 сент. 2015 г.)*. Иркутск, 2015. С. 333–335.
21. Sims J. D. Determining earthquake recurrence intervals from deformational structures in young lacustrine sediments // *Tectonophysics*. 1975. V. 29. P. 141–152.
22. Вечная мерзлота Кольского полуострова / под ред. И. Я. Баранова // *Тр. ин-та мерзлотоведения им. В. А. Обручева*. М., 1953. Т. XIII. 180 с.
23. Евзеров В. Я., Николаева С. Б. Пояса краевых ледниковых образований Кольского региона // *Геоморфология*. 2000. № 1. С. 61–73.
24. Никонов А. А. Цунами в глубине Кольского полуострова // *Природа*. 2007. № 1. С. 35–38.
25. Stewart L. S., Sauber J., Rose J. Glacio-seismotectonics: ice sheets, crustal deformation and seismicity // *Quaternary Science Reviews*. 2000. V. 19. P. 1367–1389.

## References

1. Ahjos T., Uski M. Earthquakes in Northern Europe in 1375-1989 // *Tectonophysics*. 1992. V. 207. P. 1–23.
2. Lukashov A. D. Paleoseismotectonics in the northern part of Lake Onega (Zaonezhskij Peninsula, Russian Karelia) // *Geol. Survey of Finland. Nuclear Waste Disposal Research. Report YST-90*. Espoo. 1995. 36 p.
3. Mörner N.-A. Active faults and paleoseismicity in Fennoscandia, especially Sweden. Primary structures and secondary effects // *Tectonophysics*. 2004. V. 380. P. 139–157.
4. Nikolaeva S. B. Sledy razrushitelnyh zemletryaseniy v okrestnostyah goroda Murmanska (po istoricheskim i paleoseismogeologicheskim dannym) [Disastrous earthquakes in the vicinities of the town of Murmansk: Paleoseismological and geological evidence] // *Vulkanologiya i seismologiya*. 2008. N 3. P. 52–61.
5. Seilacher A. Fault-graded beds interpreted as seismites // *Sedimentology*. 1969. V. 13. P. 155–159.
6. Tuttle M. P., Schweig E. S. Archeological and pedological evidence for large prehistoric earthquakes in the New Madrid seismic zone, central United States // *Geology*. 1995. V. 23, N 3. P. 253–256.
7. Seismites: An attempt at critical analysis and classification / C. Montenat, P. Barrier, P. O. d'Estevou, C. Hibsich // *Sedimentary Geology*. 2007. V. 196. P. 5–30.
8. Synsedimentary deformation of Pleistocene glaciolacustrine deposits in the Albese con Cassano Area (Southern Alps, Northern Italy), and possible implications for paleoseismicity / K. Chunga, F. Livio, A. M. Michetti, L. Serva // *Sedimentary Geology*. 2007. V. 196. P. 59–80.
9. Korzhenkov A. M. Seismogeologiya Tyan-Shanya (v predelakh territorii Kyrgyzstana i prilegayuschih rayonov) [Seismogeology of Tyan'-Shan' (within the territory of Kyrgyzstan and adjacent regions)]. Bishkek, 2006. 290 p.
10. Gladkov A. S., Lunina O. V. Seysmity yuga Vostochnoy Sibiri: problemy i perspektivy izucheniya [Seismites of the Southern East Siberia: problems and perspectives of research] // *Geodinamika i tektonofizika*. 2010. V. 1, N 3. P. 249–272.
11. Deev E. V., Zolnikov I. D., Guskov S. A. Seysmity v chetvertichnyh otlozheniyah Yugo-Vostochnogo Altaya [Seismites in Quaternary sediments of Southeastern Altai] / *Geologiya i geofizika*. 2009. V. 50, N 6. P. 703–722.
12. Mörner N.-A. An interpretation and catalogue of paleoseismicity in Sweden // *Tectonophysics*. 2005. V. 408. P. 265–307.
13. Nikolaeva S. B. Seysmity v pozdnepleystotsen-golotsenovykh osadkakh severo-zapada Kol'skogo regiona (severnaya chast' Baltiyskogo shchita) [Seismites in Late Pleistocene and Holocene deposits of the northwestern Kola region (the northern Baltic Shield)] // *Geologiya i geofizika*. 2009. V. 50, N 7. P. 830–839.
14. Nikolaeva S. B. Svidetelstva seismicheskikh sobytii na poberezhe Murmana v pozdnelednikovye i golotsene (severo-vostok Baltiyskogo shchita) [Evidence of seismic events at the Murman coast during the Late-glacial and Holocene (NE Baltic Shield)] // *Izvestiya RGO*. 2013. V. 145. Vyp. 4. P. 53–65.
15. Geologicheskaya karta Kolskogo regiona [Geological map of the Kola region]. Masshtab 1:1000000 / pod red. F. P. Mitrofanova. Apatity : Izd. KNTs RAN, 2001.
16. 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. V. 76. P. 209–234.
17. Kuenen P. H. Experiments in geology // *Trans. Geol. Soc. Glasgow*. 1958. V. 23. P. 1–28.
18. Nikolaeva S. B. Skladchatye deformatsii v pozdnepleystotsenovykh otlozheniyah Hibin (tsentralnaya chast' Kolskogo poluostrova): morfologiya i genezis [Fold deformations in the Late Pleistocene deposits of the Khibiny (central part of the Kola Peninsula): morphology and genesis] // *Vestnik MGTU*. 2014. V. 17, N 2. P. 329–339.
19. Spiridonov A. V. O paleoseismodislotsiyah v rayone Pechengskoy struktury [On paleoseismodislotsions in the area of the Pechenga structure] // *Geofizicheskie issledovaniya*. 2005. Vyp. 4. P. 73–78.

20. Nikolaeva S. B., Tolstobrov D. S. Donnye otlozheniya ozer SV Fennoskandinavskogo schita kak indikator prirodnih katastroficheskikh sobyitii [Lake sediments as indicators of natural catastrophic events in northeast Fennoscandia Shield] // Fundamentalnye problemy kvartera. Itogi izucheniya i osnovnye napravleniya dalneyshih issledovaniy : materialy IX Vseros. soveschaniya po izucheniyu chetvertichnogo perioda (g. Irkutsk, 15-20 sent. 2015 g.). Irkutsk, 2015. P. 333–335.

21. Sims J. D. Determining earthquake recurrence intervals from deformational structures in young lacustrine sediments // Tectonophysics. 1975. V. 29. P. 141–152.

22. Vechnaya merzlota Kol'skogo poluoostrova [Permafrost of the Kola Peninsular] / pod red. I. Ya. Baranova // Tr. in-ta merzlotovedeniya im. V. A. Obrucheva. M., 1953. V. XIII. 180 p.

23. Evzerov V. Ya., Nikolaeva S. B. Poyasa kraevykh lednikovyykh obrazovaniy Kolskogo regiona [Marginal belts of the Kola region] // Geomorfologiya. 2000. N 1. P. 61–73.

24. Nikonov A. A. Tsunami v glubine Kolskogo poluoostrova [Tsunami in the depths of the Kola Peninsula] // Priroda. 2007. N 1. P. 35–38.

25. Stewart L. S., Sauber J., Rose J. Glacio-seismotectonics: ice sheets, crustal deformation and seismicity // Quaternary Science Reviews. 2000. V. 19. P. 1367–1389.

#### **Сведения об авторе**

**Николаева Светлана Борисовна** – Геологический институт КНЦ РАН, канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотрудник; e-mail: nikolaeva@geoksc.apatity.ru

**Nikolaeva S. B.** – Geological Institute KSC RAS, Cand. of Geol. & Miner. Sci., Senior Researcher; e-mail: nikolaeva@geoksc.apatity.ru