

УДК 550.34:55+550.34.3+550.347+551.243/244+551.484

## ОБНАРУЖЕНИЕ СЕЙСМОГЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В ПОСЛЕЛЕДНИКОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ НА ЮЖНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

© 2003 г. А. А. Никонов, А. М. Мийдел

Представлено академиком Ю.Г. Леоновым 18.02.2003 г.

Поступило 18.02.2003 г.

До настоящего времени на южных берегах Финского залива ни за исторический, ни за инструментальный период сильные землетрясения (с интенсивностью  $I_0 \geq 8$  баллов) не отмечались, так же как палеоземлетрясения. Между тем в соседней Фенноскандии, в том числе и в пределах России, древние землетрясения выявлены во множестве, и их изучение по палеосейсмодеформациям активно развивается. Разного рода деформации в молодых отложениях на южной и юго-восточной периферии Фенноскандии относят за счет динамического воздействия края активного ледникового покрова (гляциодислокации) [1] или влияния процессов промерзания и оттаивания грунтов (криотурбации) [2]. Здесь рассмотрен первый (из множества наблюдаемых) пример, когда в обозначенном районе сейсмическое происхождение деформаций удастся серьезно обосновать. Речь идет о голоценовых отложениях бывшего оз. Кунда на южном побережье Финского залива в пределах одноименной долины в Эстонии. Возникнув после отделения залива Балтийского ледникового озера в процессе понижения его уровня, по-видимому еще в аллерёде, оно существовало вплоть до границы между бореальной и атлантической хронозонами [3–12].

Уже к середине прошлого века были установлены основные стратиграфические компоненты разреза поздне- и послеледниковых отложений на месте древнего оз. Кунда [5]. На морене последнего оледенения залегают неравномернозернистые пески с гравием и алевриты от 1.8 до 6 м мощности. Эти отложения флювиогляциальной дельты перекрыты голубоватыми известковистыми глинами, частью ленточными, мощностью 3–6 м с отдельными остатками субарктических

растений, отнесенными к отложениям Балтийского ледникового озера. На последних залегают озерная известь (гажа) мощностью до 1–1.5 м с раковинами пресноводных моллюсков, которая, в свою очередь, перекрыта несколькими различающимися по цвету и составу слоями торфа толщиной от 0.1 до 1 м. Дальнейшие исследования с применением различных современных методов существенно уточнили распространение отложений, их мощности, время образования, особенно у северного побережья озера и вокруг холма Ламмасяги [6–13].

Наши работы были сосредоточены на обнажениях в центральной части озерной котловины по берегам р. Кунда восточнее холма Ламмасяги, поскольку прежние разрезы давно уже недоступны. Разрезы изучены в четырех расчистках на протяжении около 0.7 км вдоль правого берега реки с удалением одна от другой 50–500 м (рис. 1). Абсолютная высота дневной поверхности, от которой начинались все расчистки, снижается с юга на север по течению реки от 47.5–47 до 46–45 м (рис. 2). На изученном участке разрез состоит из следующих компонентов сверху вниз.

1. Дерново-почвенный, частью почвенно-торфяной слой толщиной 0.1–0.25 м.

2. Светлая озерная известь (гажа), на юге участка встречается лишь в виде мелких линз и заполнений микровпадин, а на севере – сплошным слоем толщиной 0.1–0.2 м и включает мелкие створки пресноводных моллюсков *Pisidium amnicum* (много), *Valvata cristata* (много), *V. pulchella* (мало), *Sphaerium nitidum* (мало), *Lymnaea stagnalis* (мало) (определения Э.Х. Таваст). Нижняя граница местами ровная горизонтальная, местами мелко- и резко-неровная, волнами, “карманами”.

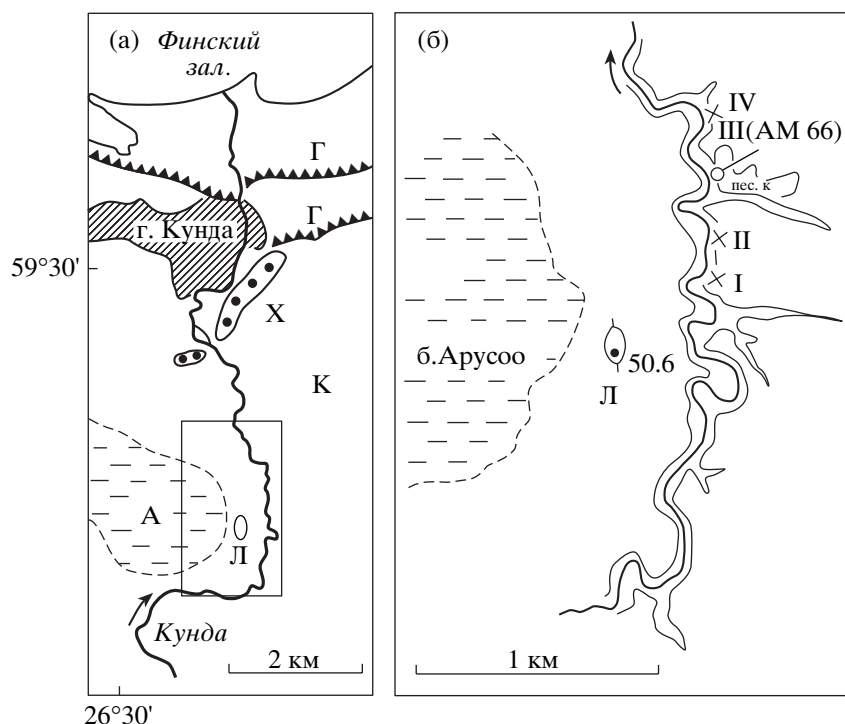
3. Разнозернистые пески с разным содержанием гравия; этот прослой встречен лишь в части расчисток, где имеет толщину от нескольких сантиметров до 0.15 м (в самой южной ближайшей к холму Ламмасяги расчистке).

4. Супеси тонко- и мелкозернистые, пески, хорошо отсортированные, слоистые, мощность 0.3–

*Институт физики Земли им. Г.А. Гамбурцева  
Российской Академии наук, Москва*

*Институт геологии*

*Таллинского политехнического университета,  
Таллин, Эстония*



**Рис. 1.** Местоположение древнего оз. Кунда и изученных разрезов. Г – глинт, Х – гряда Хийемяги, К – бывшая деревня Кунда, Л – холм Ламмасмяги, А – болото Арусоо. Заштрихована территория современного города Кунда. I, II, IV – места расчисток 2002 г., III АМ66 – место расчистки А.М. Мийдела в 1966 г., пес. к. – старый песчаный карьер.

0.5 м, переход вниз сравнительно постепенный, литологически не везде отчетливый.

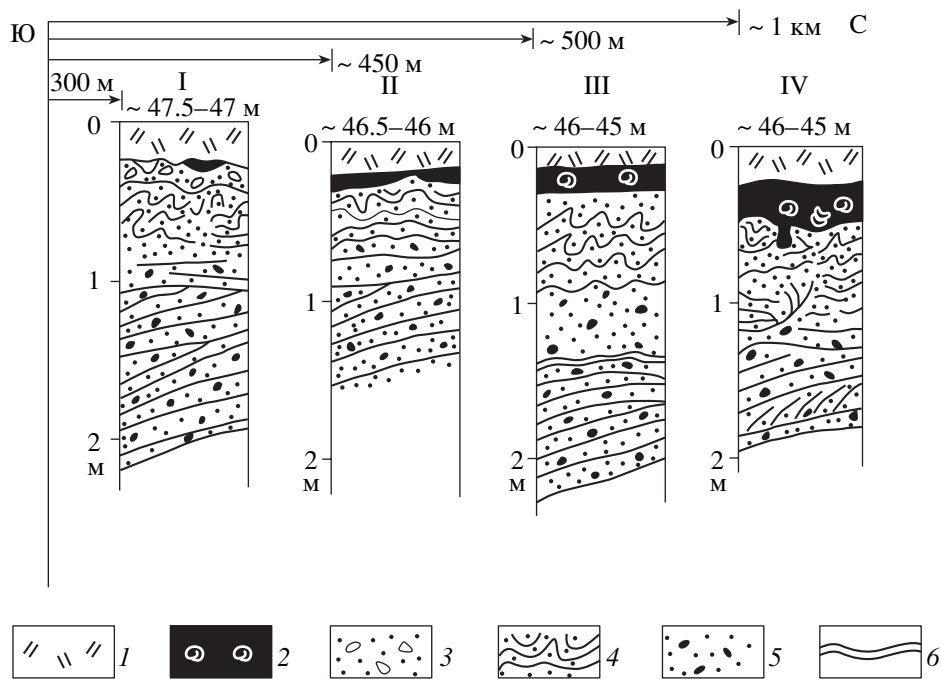
5. Пески чистые, разнозернистые, с линзами гравия, вскрытая мощность до 1–1.5 м, фактически в речных обрывах не менее 4–5 м.

Нижний компонент разреза, несомненно, представляет собой дельтовые отложения с наклонной, частью крупной косой слоистостью. Судя по одинаковому направлению наклона слоев, общему уменьшению размерности слагающего материала и руководящим типам обломков пород (диктионемовые сланцы, выходящие только на севере), материал приносился со стороны гряды Хийемяги, когда талые ледниковые воды еще текли сквозь нее с севера на юг. В верхних 0.1–0.25 м пески залегают горизонтально, что, по-видимому, маркирует в разрезе переход от потоково-дельтового типа осадконакопления к озерному в спокойных условиях.

В опорном разрезе по скважине в 2.5–3 км севернее, в наиболее глубокой части озерной котловины, толщу рассмотренных песков можно соотнести с мелкозернистыми песками (над ленточными глинами) на глубине 4.7–6.2 м, которые, согласно спорово-пыльцевой характеристике, накапливались, вероятно, в аллерде и позднем дриасе [6, 7]. Вышележащие супеси и тонкозернистые пески в наших расчистках естественно коррелируются с серыми алевритами, содержащими

разложившиеся и частью сохранившиеся остатки полярной флоры – поздний дриас, согласно Р. Пиррус. По этим остаткам была получена радиоуглеродная датировка  $11\,690 \pm 150$  лет (ТА-194) [7, 13]. Вышележащая озерная известь с раковинами моллюсков уже относится к пребореалу в нижней части и к бореалу в верхней, тогда как перекрывающий ее торф в близлежащем болоте Арусоо начал накапливаться в позднем бореале [11]. В разрезе по скв. 1 в болоте Арусоо в 1 км западнее долины р. Кунды детритусовая гиттия на абс. высоте 45 м, относимая к началу бореала, получила  $^{14}\text{C}$ -датировку  $9180 \pm 300$  (Тпн-500), а основание перекрывающей ее двухметровой толщи торфа  $8530 \pm 65$  (Тпн-501). Начало накопления торфа свидетельствует о прекращении к этому времени, т.е. примерно к 8600 лет назад по  $^{14}\text{C}$ , существования озера в долине р. Кунда.

Кратко рассмотрим характер наблюдаемых деформаций с юга на север по расчисткам (см. рис. 2). В южной расчистке супеси и мелкозернистые пески над разнозернистыми дельтовыми песками захвачены на толщину 0.3–0.35 м слабыми деформациями. Внизу это вздутия высотой 5–10 см, шириной 4–10 см песка, с облеканием их супесчаными слоями и очень редко с протыканием последних. Выше развиты сплошные резкие деформации в горизонте толщиной 0.5–0.55 м в виде смятия слоев в складки высотой максималь-



**Рис. 2.** Разрезы поздне- и послеледниковых отложений на правом берегу р. Кунда к северо-востоку от холма Ламмасмяги (расстояния даны от базы Ламмасмяги). 1 – континентальные накопления: почва и оторфованный горизонт; 2–4 – озерные отложения: 2 – известь (гажа) с раковинами, 3 – разнозернистый песок с гравием (прослой), 4 – супеси и пески, деформированные; 5 – дельтовые отложения: пески, чистые разнозернистые с отдельными линзами гравия и редкой мелкой галькой, в основном с наклонной слоистостью; 6 – следы размыва.

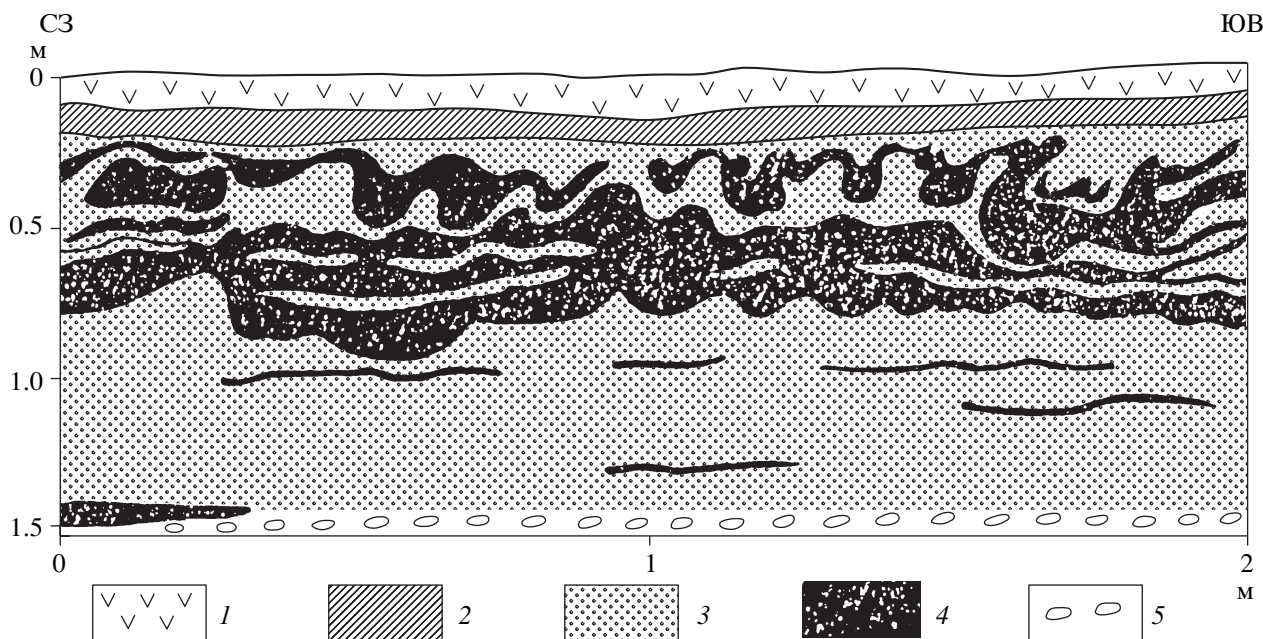
но по 15–30 см, при ширине не более 10 см. Часть этих складок идут согласно с таковыми в нижних слоях, оси их вертикальны или наклонны, кроме того, некоторые складки вверху загибаются флагообразно вбок. Внутри слоев местами обнаруживаются раздувы сизоватых супесей, а также имеются отдельные оторванные от “корневых” складок катышки супесей. В северной части расчистки наблюдаются прорывы песчаной массы вверх сквозь перекрывающие слои и между ними “котлы” со смятыми внутри суглинками. Сверху здесь на горизонте мелко деформированного песка залегает неровный, местами в виде карманов длиной не более 15 см, шириной 8–10 см и высотой в пределах 4–10 см слой разнозернистого рыхлого песка с гравием, представляющий собой последующее за фазой деформации накопление (заполнение возникших при ней неровностей на верхней границе). И только выше, поверх этого заполнения, здесь имеются мелкие пятна (линзы) озерной извести.

В следующей к северу расчистке (II на рис. 2) деформации в мелкозернистом горизонте не столь разнообразны, захватывают не более 0.5 м толщи по вертикали и непосредственно перекрыты почти сплошным недеформированным слоем озерной извести. Иными словами, озерные супеси (алевриты) после накопления всей толщи подверглись импульсной деформации (особенно в верх-

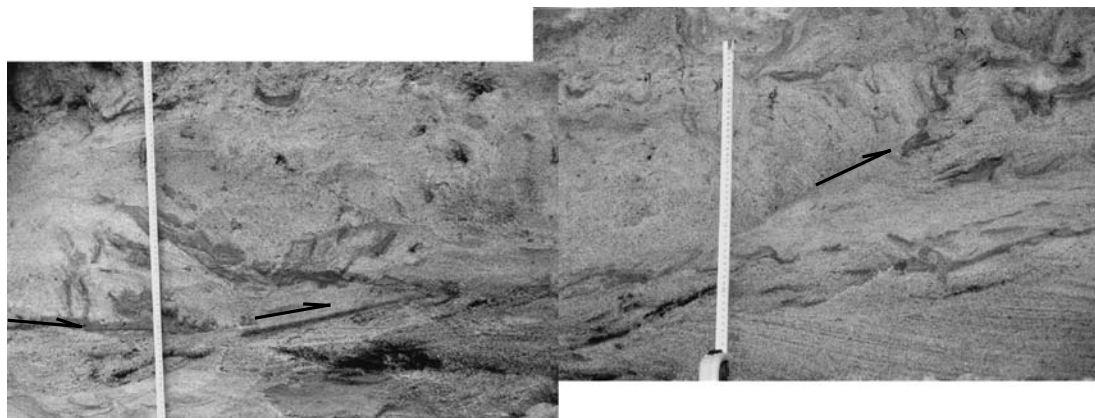
ней части), после чего были перекрыты частично разнозернистым песком, частично озерной известью (гажей).

Характер деформаций в следующей расчистке отражен на рис. 3.

В самой северной расчистке (IV на рис. 2) над косослоистыми дельтовыми песками залегают пески, в основном мелкозернистые с прослоями разнозернистых, а также супеси и прослой суглинков, которые служат прекрасными маркирующими слоями для прослеживания деформаций. Наиболее важной с точки зрения определения генезиса надо признать надвиговую структуру на глубине 1.1–0.7 м от поверхности на границе нижних разнозернистых и верхних мелкозернистых песков с прослоями супесей и суглинков (рис. 2, IV; рис. 4). Толщина надвинутой пластины 0.25–0.4 м, направление движения висячего крыла юго-восточное – 140°–150°, видимая протяженность сместителя >0.7 м, выведенная ≥1 м, в северо-западной части он горизонтален, а у юго-восточного края воздымается на 0.5 м, образуя выпуклую лобовую часть. Непосредственно над горизонтальным участком сместителя отчетливо видна сильно сжатая по вертикали лежащая складка, вытянутая в том же направлении, что и вся надвиговая пластина. Внутри лобовой части надвига слои песка загнуты круто вверх на протяжении 0.3 м и даже имеют обратный наклон (за-



**Рис. 3.** Характер залегания слоев и деформаций в озерной толще, расчистка III (AM 66) на рис. 2. 1 – почвенный слой; 2 – озерная известь; 3 – песок; 4 – суглинок и супесь; 5 – обогащенный гравием слой.



**Рис. 4.** Деформации в древнеозерных отложениях в расчистке IV (см. рис. 2). Слева вверх направо видна плоскость надвига (стрелки) и по бокам сопровождавшие его деформации.

прокинутость). Перед фронтом надвига, у самого верха его лобовой части и над ней, образованы сильные мелкоскладчатые деформации слоев и песка, и суглинки, в том числе фрагменты того слоя, который вне надвига прослежен над верхней границей разнозернистых дельтовых песков.

К юго-востоку от фронта надвига и выше надвиговой пластины пески деформированы слабее и разнообразнее. Вверху это в основном слабые вогнутости с прогибом около 5 см, стоячие складки, “котлы” (прогибы) с плоско-вышуклым дном. Последние группы при ширине 10–20 до 25 см имеют высоту 15–25 см, т.е. сильно сжаты с боков. Все эти деформации отчетливо видны по по-

вторяющимся изгибам тонких слоев (слоистости) в тонкозернистых песках и по прослоям супеси, а также на границе с вышележащей гажей. До деформаций гажя, как это видно в менее деформированных участках, имела толщину 10 см, но в сжатых участках стала толще. Деформации нижней части гажя выражены в затекании в “котлы”, внедрении в виде пальцеобразных и колбасовидных отростков вниз. Самое крупное из встреченных внедрений углублено в подстилающий горизонт супесей и песков на 15–17 см при поперечнике всего 3–4 см и состоит из чистой гажы с редкими мелкими обломками тонкостенных раковин. На расчищенной стенке встречено также несколько небольших пальцеобразных субверти-

кальных внедрений нижних супесей вверх в гажу на высоту 2–3 см. В целом гажу поверх супесей имеет здесь толщину 0.2–0.25 м, слоистости в ней не видно, а раковины, в том числе и целые, появляются только в 0.1 м выше подошвы. Нижняя граница гажи оказывается, таким образом, резко неровной, между тем как верхняя никаких следов нарушений не несет.

Нахождение тонкостенных раковин моллюсков (в обломках!) в глубоком затеке вниз, ниже нижней границы гажи указывает на то, что деформация возникла или в процессе, или даже после отложения ее верхней, содержащей раковины части.

Наличие в верхних частях толщи узких впадин (затек, провалов материала сверху), а в нижних крутых складок выжимания можно интерпретировать как показатель хода деформирования в виде первоначального слабого растяжения и последующего гораздо более сильного бокового сжатия толщи. Вместе с тем внутри деформированной толщи нет ни одного протяженного ровного и горизонтального слоя, который мог бы маркировать разные по времени фазы деформаций, как нет и следов постепенного заполнения впадин (“котлов”, синклиналей), последовательного выжимания материала вверх в выпуклости (внедрения, антиклинали). Это заставляет признать единовременный, моментальный импульс в качестве способа возникновения нарушений в уже накопившейся толще осадков (двух озерных горизонтов) в верхних примерно 0.7 м ее мощности. Смену сжатия растяжением в этом случае можно представить себе как непосредственно следовавшие друг за другом импульсы, как это обычно бывает при прохождении продольных волн землетрясений.

Охарактеризованные деформации возникли на ровном, горизонтальном дне неглубокого (всего несколько метров глубины) озера в тонкозернистых неконсолидированных, частью пластичных и, несомненно, сильно водонасыщенных осадках. То же относится и к более южным сечениям в пределах центральной части бывшего озерного бассейна. Поскольку деформации возникли во всей центральной части озерного бассейна, на пространстве не менее 1 км в поперечнике, захватили только верхнюю часть толщи мощностью всего 0.5–0.7 м на совершенно ровной, практически горизонтальной поверхности озерного дна, приходится исключить возможность подводно-оползневых явлений. С другой стороны, приведенные выше признаки значительных боковых воздействий, в том числе и вероятного очень быстрого чередования растяжения и сжатия, выжимания отложений, преимущественно песчаных, вверх и вниз, подобные хорошо известным явлениям ликвификации при

землетрясениях, и в особенности явление надвигания по горизонтальной плоскости скольжения в рыхлых осадках, не оставляет, по нашему мнению, другого варианта объяснения кроме признака сильного сейсмического импульса.

Дополнительно, согласно разработанному первым из авторов методическому приему, были осуществлены измерения осей складок и других линейных деформаций типа затек и внедрений. Обнаруженные деформации не просто линейны, но и ориентированы определенным образом. Хотя число замеров невелико, можно отметить, во-первых, в нескольких пунктах наличие двух перекрещивающихся (под углом 40°–60°) направлений, во-вторых, крутой (70°–80°) наклон осей складок. Оба эти признака отражают испытанное осадками боковое динамическое воздействие и не дают оснований относить деформации за счет воздействия вертикальных усилий (при просадках, выпучиваниях и т.п.). Обнаруженное перекрещивание направлений осей сжатия может объясняться действием продольных и поперечных волн при землетрясении. Максимальное боковое воздействие толща испытала в направлении юго-восток–северо-запад (юг-юго-восток–север-северо-запад), как это следует из согласования направления перемещения надвига юго-восток 145° ( $\pm 10^\circ$ ) с осью сжатия основных складок в той же северной расчистке и наличием того же направления сжатия (155°  $\pm 15^\circ$ ) в самой южной из изученных расчисток.

В попытке более точного определения времени (интервала) интересующего нас события обратимся к данным по северному берегу озера и берегам его бывшего острова – холма Ламмасяги. На северном берегу озера вблизи бывшей д. Кунда в осушенной части болотистой равнины в искусственной выемке получено несколько радиоуглеродных датировок из верхней части береговых озерных отложений [12]. На абсолютной высоте 49 м слой толщиной всего 1 см в основании перекрывающей торфяной залежи мощностью около 0.7 м, маркирующей континентальный период после (начала) спуска озера, здесь дал  $^{14}\text{C}$ -возраст  $9295 \pm 40$  лет (Tln-937). В 1 км западнее долины р. Кунда под болотом Аресоо детритусовая гиттия на абс. высоте 45 м (с бореальным спорово-пыльцевым спектром) получила  $^{14}\text{C}$ -датировку  $9180 \pm 300$  лет (Tln-500), а основание торфа  $8530 \pm 65$  лет (Tln-501) [8]. Наконец, у западного подножья холма Ламмасяги из песчаных суглинков и суглинистых песков с раковинами моллюсков и фрагментами древесины, т.е. из отложений (прибрежно-) озерных, образец древесины получил  $^{14}\text{C}$ -датировку  $7950 \pm 60$  лет (Tln-552). Важно, что даже в верхней части песчаных суглинков здесь были встречены пропластки озерной извести [10].

Из всего этого следует, что поздний этап существования озера, в том числе и время накопления извести в понижениях дна, падает на интервал времени приблизительно между 9.5 и 7.9 тыс. лет назад по <sup>14</sup>C. Соответственно к концу интервала – в калиброванной шкале примерно 10.5–8.5 тыс. лет назад, т.е. в начале голоцена, – надо помещать рассматриваемый импульс деформаций. Иными словами, речь идет о бореальной хронозоне, ближе к ее концу, когда прочно господствовали леса из березы и сосны и уже нет никаких оснований допускать не только прямое воздействие ледника, но и развитие здесь криотурбаций (да еще на дне озера).

Выявление следов сильного землетрясения в Балтийском регионе ныне, после основательных работ Р. Лагербека, Н. Мёрнера, А. Куйвамяки в северной и центральной Фенноскандии, разработок А.Д. Лукашова и Д.С. Зыкова в ее восточной части, уже не должно вызывать удивления. Свидетельства землетрясений позднеледникового времени именно в виде деформаций бассейновых отложений недавно обнаружены и на южной периферии Фенноскандии [14, 15], где известны и исторические землетрясения силой в 6 и 7 баллов.

Авторы благодарны акад. АН Эстонии А.В. Раукасу за поддержку и финансирование полевых работ (тема № 0331759s01 Института геологии Таллинского политехнического университета), а также за комментарии к рукописи, Э.Х. Таваст за определение видов моллюсков, Т. Тубли за помощь в проведении экспедиционных исследований.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 00–05–64274).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Orviku K.* // *Loodusuurijate Seltsi Aruanded.* 1930. Bd. 36. H. 3/4. S. 174–179.
2. *Miidel A.* // *Eesti Loodus.* 1966. № 4. S. 228–230.
3. *Thomson P.W.* // *Beitr. Kunde Est-, Liv- und Kurlands.* 1928. Bd. 14. H. 1. S. 1–11.
4. *Orviku K.* // *Vitterhets Historie och Antikvitets Akademiens Handlingar.* 1948. Bd. 66. S. 3–39.
5. *Indreko R.* *Die Mittlere Steinzeit in Estland.* *Kungl. Vitterhets Historie och Antikvitets Akademiens Handlingar.* 1948. Bd. 66. S. 3–39.
6. *Лисицына Г.Н.* // *Сов. археология.* 1958. № 3. С. 90–96.
7. *Пиррус Р.О.* В кн.: *Палинология в континентальных и морских геологических исследованиях.* Рига: Зинатне, 1976. С. 60–71.
8. *Karukapp R., Moora T., Pirrus R.* // *РАСТ.* 1996. Bd. 51. S. 219–229.
9. *Moora T., Moora H.* // *РАСТ.* 1996. Bd. 51. S. 231–240.
10. *Moora T., Reintam L., Jaanits K.* // *РАСТ.* 1996. Bd. 51. S. 241–251.
11. *Poska A., Konigsson L.K.* // *РАСТ.* 1996. Bd. 51. S. 299–309.
12. *Moora T.* In: *Muinasaja Teadus 5. Loodus, inimene ja tehnologia. Interdistsiplinaarseid unrimusi arheoloogias.* Tallinn: AS Pakett trukikoda, 1998. S. 15–151.
13. *Ильвес Е., Лийва А., Пуннинг Я.-М.* Радиоуглеродный метод и его применение в четвертичной геологии и археологии. Таллин: Изд-во АН СССР, 231 с.
14. *Верзилин Н.Н., Севастьянов Д.В.* // *ДАН.* 2001. Т. 381. № 2. С. 255–258.
15. *Никонов А.А., Белоусов Т.П., Денисова Е.А. и др.* Тектоника неогена: общие и региональные аспекты: Материалы XXXIV Тектонического совещания 30 января–3 февраля 2001 г. М.: ГЕОС, 2001. Т. 2. С. 83–86.