

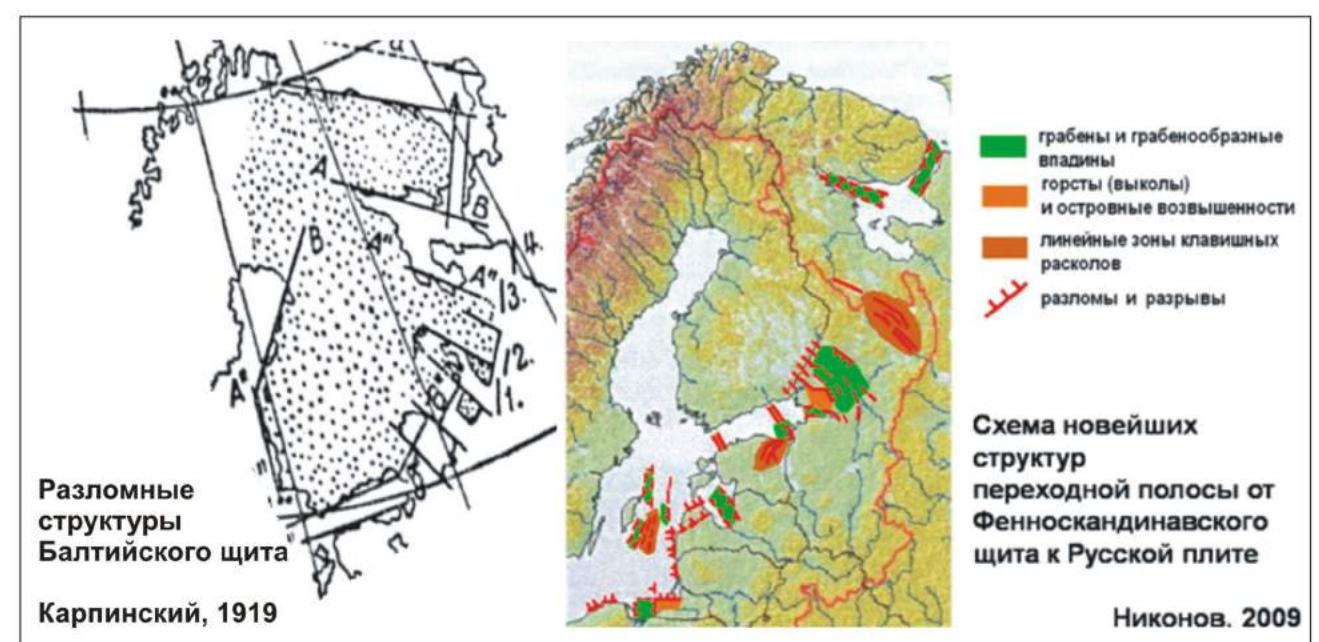
Ладожский грабен: наследованное развитие в четвертичное время молодая тектоника и сейсмичность

Никонов А.А. Институт физики Земли РАН, Москва, Россия nikonor@ifz.ru

«Иначе как сбросовыми опусканиями трудно объяснить возникновение замкнутых озерных впадин, достигающих более 100 м на Онежском и более 200 м на Ладожском озерах». [Архангельский, 1941, стр. 77].

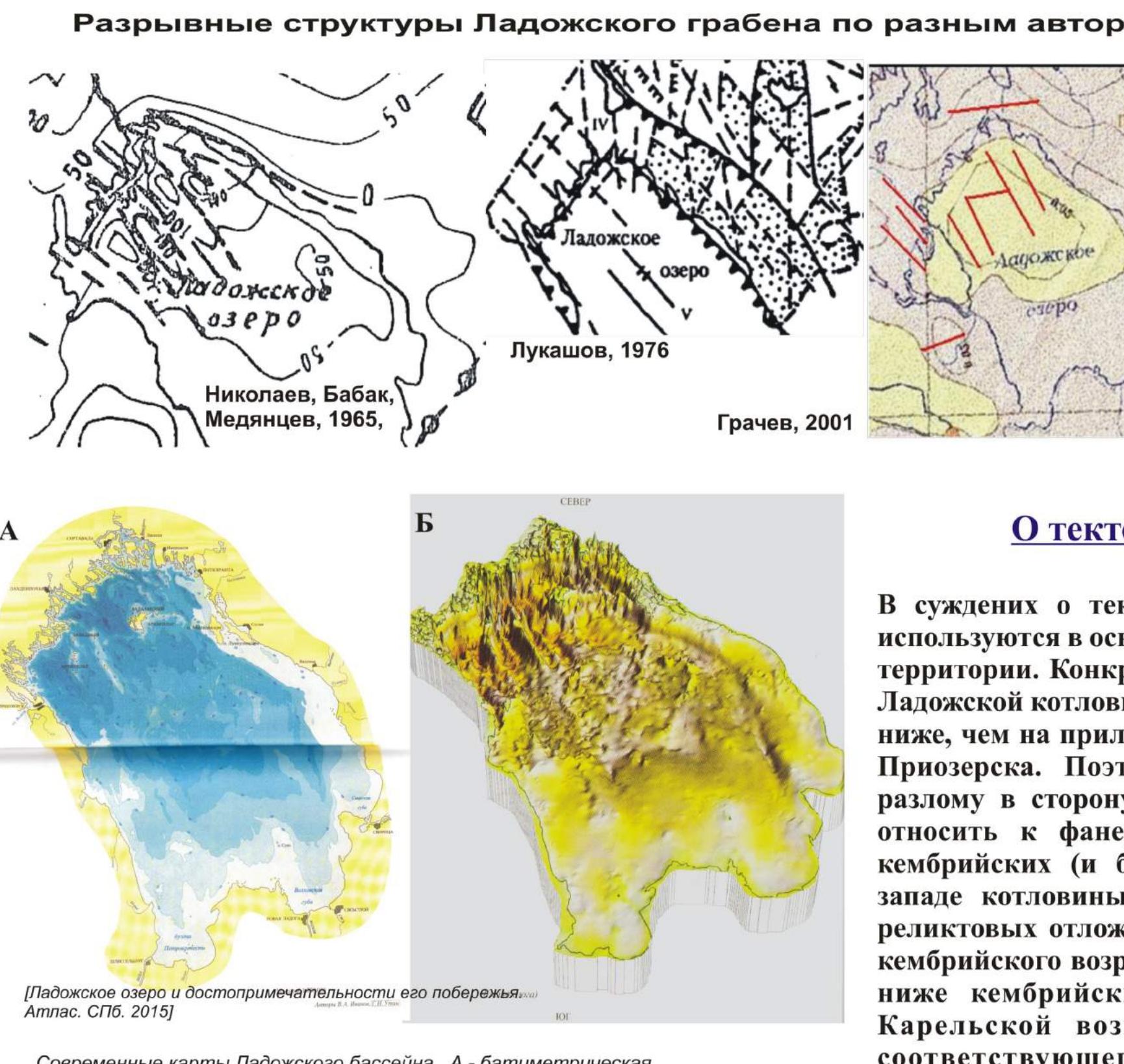
Грабеновая структура впадины Ладожского озера определена еще столетие назад А.П. Карпинским и позднее подтверждалась как таковая многими геологами и геоморфологами. Гораздо позднее возникли вопрос и необходимость исследований новейшей истории этого крупного структурного образования на раздробленном архейско-протерозойско-вендинском фундаменте. До недавнего времени удавалось установить только отдельные новейшие разрывы по берегам и наметить таковые в акватории на скучном материале, при этом оставались без внимания выразительные геологические факты (см. карты неотектоники и др.). К настоящему времени морфоструктурные, геологические и геофизические сведения о новейших движениях в грабене и его окружении существенно пополнены.

За последние 20 лет, благодаря целенаправленным экспедиционным работам и появлению цифровых карт и дистанционных материалов, знания о неотектонике, «живой» тектонике и сейсмичности (за тысячелетия), общие и в основном умозрительные, не просто расширились, но вышли на другой уровень выделения конкретных разрывных структур, в трех измерениях, их количественных показателей, временных фаз развития. Это, в свою очередь, стало основой выделения закономерностей пространственно-временного развития грабена как структуры унаследованной, динамически и сейсмически активной и в разных его частях, и в целом, на фоне геодинамики восточной части Фенноскандинавского кристаллического щита.



Геотоника предчетвертичного и четвертичного периода

Новейшая тектоническая история Ладожского грабена реконструируется на основании двух групп фактов. В первых, это рельеф дна (и берегов) северной части впадины, каким он показан на гипсометрических батиметрических картах последнего поколения – в виде глубоких замкнутых котловин и крутосклонных ложбин. Такой рельеф не позволяет допускать их эрозионное, да и экзарационное, происхождение, это формы провалов нескольких грабенов внутри главной впадины-грабена. Во-вторых, обнаружение плиоценовых и эоплейстоценовых осадков на дне переуглубленных долин исключительно вдали от южного края щита, в частности в долине р. Свирь, тогда как на периферии самого щита древние долины не моложе среднего плейстоцена, заставляет заключать, что течение плиоцена (и эоцена на южном фланге, судя по дельте эоценовой р. Эридан) и раннего плейстоцена осуществлялся (продолжался) постоянный размыв воздымающегося щита. Если бы замкнутые впадины в северной половине Ладожского грабена тогда существовали, то в них обязательно должны были бы сохраниться слоистые отложения того времени. Поскольку их нет, как нет и следов их перемыча южнее, следует заключить – они возникли (оформились, углубились) не раньше среднего плейстоцена.



О тектонике района в фанерозо

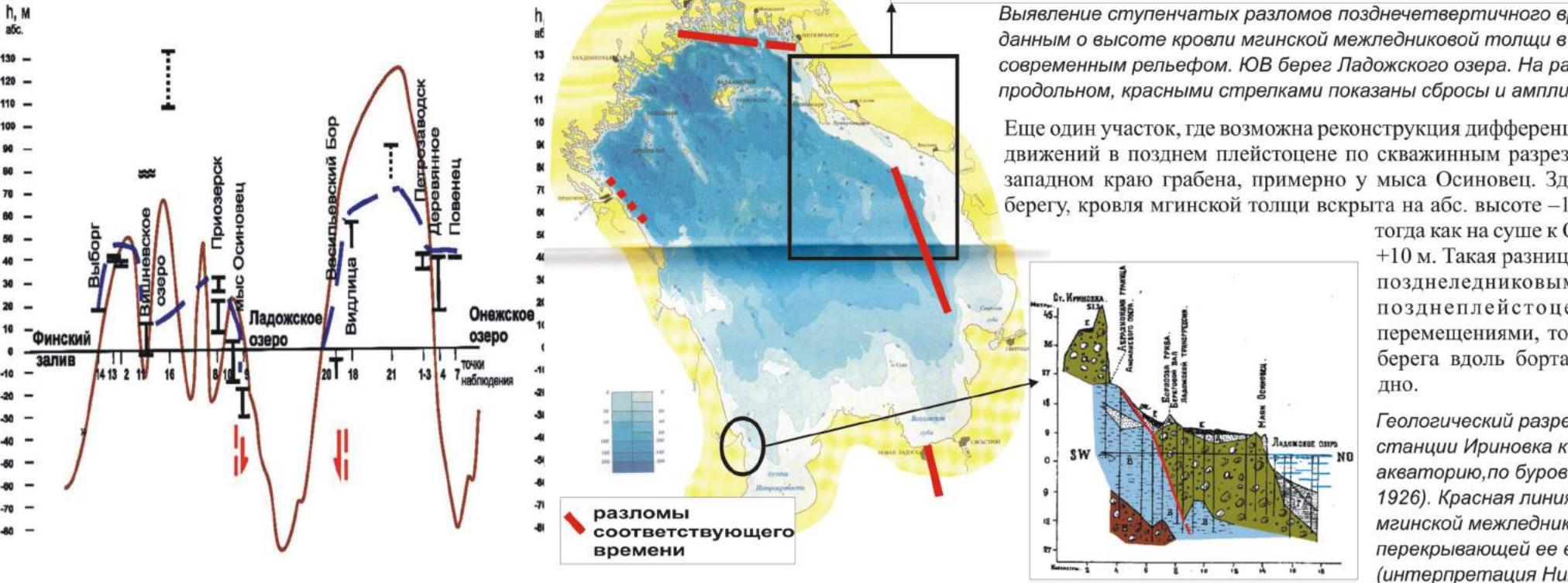
В суждениях о тектоническом развитии впадины в фанерозое используются в основном косвенные признаки по более обширной территории. Конкретика во впадине ограничена. На дне Северо-Ладожской котловины вендские отложения залегают на 100–250 м ниже, чем на прилежащем западном берегу Ладожского озера у г. Приозерска. Поэтому их опускание по Западно-Ладожскому разлому в сторону днища Ладожского озера (грабена) резонно относить к фанерозою, скорее, ко времени после размыва кембрийских (и более поздних?) отложений. Обнаружение на западе котловины Ладожского озера вблизи острова Коневец реликтовых отложений поверх рифейских песчаников, если они кембрийского возраста (эокембрий?), то залегание их на 70-100 м ниже кембрийских отложений на суще севернее Средне-Карельской возвышенности может служить признаком соответствующего опускания позднее Северо-Ладожской субширотной депрессии.

Поскольку самым древним из обнаруженных в районе компонентом четвертичных отложений является морена московского оледенения, с этого времени возможно документировано реконструировать четвертичные движения. Можно считать, что в среднечетвертичное время, несколько сотен тысяч лет назад, Ладожская впадина активизировалась тектонически и (до)оформилась как грабен. Огромная площадь распространения мощной толщи морских мгинских отложений позднего плейстоцена и конфигурация их контура вокруг восточного края возвышенности Карельского перешейка у западного побережья Ладожского озера не могут объясняться ни предшествующей речной эрозией, ни площадной денудацией, ибо следов таковой нет, ни здесь, ни южнее. Объяснение можно найти только при признании тектонических опусканий на западном фланге Ладожской депрессии в среднечетвертичную эпоху, до московского оледенения не моложе 200 тыс. лет.

Позднечетвертичные дифференцированные смещения

Тектоническая история этого периода реконструируется по разрезам межморенных морских отложений (микулинское межледниково^е) мощностью в десятки метров, вскрытыми скважинами на востоке Карельского перешейка, на СЗ побережье Ладоги и ЮВ^{ой} части впадины. Ширина поля распространения этой толщи составляет не менее 15-20 км от современной береговой линии озера на том и другом побережьях, что позволяет определять тектонические нарушения именно по бортам впадины. Нижняя и местами верхняя границы этих отложений резко, на пространстве нескольких километров между соседними скважинами в указанных полосах, в отличие от скважин к западу и востоку, погружаются в сторону озерной котловины так, что трудно обойтись без признания их нарушеными сбросовыми разрывами на 10-15 м до 30-50 м. Разрывы, ограничивающие боковые ступенчатые грабен в сторону осевой части главного грабена, а некоторые идут поперечно. Эти нарушения возникли позднее, чем 150 тыс. лет назад.

На региональном профиле от Финского залива до Онежского озера (см. рис. ниже) показан рельеф (коричневая линия) и участки фиксированной высоты залегания кровли морских межледниковых отложений (синяя линия). Отчетливо виден «провал» последней по обоим бортам Ладожского грабена на 30-40 м на западе и до 60-70 м на востоке. На основании конкретных буровых данных на каждом борту, у мыса Осиновец на юго-западе и близи Олонца на юго-востоке, признание сбросов по бортам (красные стрелки) после микулинского межледниково^я становится императивом. В более северных частях грабена, с их гораздо более высоким и контрастным рельефом, естественно принимать размах вертикальных тектонических перемещений в указанное время значительно большим.

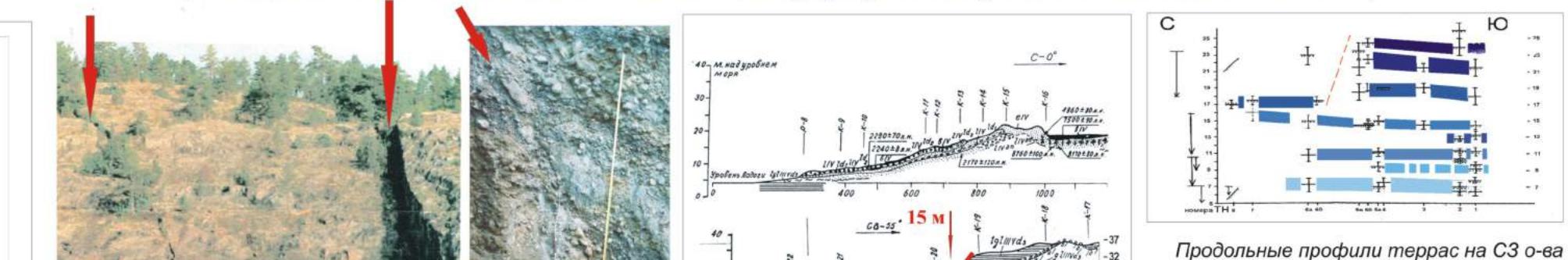


Выявление ступенчатых разломов позднечетвертичного времени по буровым данным о высоте кровли мгинской межледниковой толщи в сопоставлении с современным рельефом. ЮВ берег Ладожского озера. На разрезах, поперечных и продольном, красными стрелками показаны сбросы и амплитуды смещения по ним.

Еще один участок, где возможна реконструкция дифференцированных тектонических движений в позднем плейстоцене по скважинным разрезам, располагается на юго-западном краю грабена, примерно у мыса Осиновец. Здесь в акватории, вблизи к берегу, кровля мгинской толщи вскрыта на абс. высоте ~18 м и в 3 км южнее ~30 м, тогда как на суше к СЗ она находится на высоте +10 м. Такая разница не может быть объяснена позднеледниковым поднятием, а только позднеплейстоценовыми (блоковыми) перемещениями, точнее погружением полосы берега вдоль борта впадины на прилегающее дно.

Геологический разрез по профилю от ж/д станции Ириновка к мысу Осиновец и далее в акваторию, по буровым данным (С.А. Яковлев, 1926). Красная линия – крупный сброс части мгинской межледниковой толщи и перекрывающей ее валдайской морены (интерпретация Никонова)

Поздне- и послеледниковые дифференцированные движения



Новейший (справа) и голоценовый (слева) разрывы в кристаллических породах на северном берегу Ладожского озера
Позднеледниковый сброс в бассейновых отложениях в долине р. Янис-Ярви. Сев. Приладожье. Амплитуда ≥2-2.5 м

Позднеледниковый сброс,фиксированный в разрезе моренных и бассейновых отложений на СВ Ладожского озера (Питкярантский р-н). По материалам Б.И. Кошечкина, И.М. Экман и А.А. Лийва.

Поздне- и послеледниковые разрывы и обвалы СЗ части о-ва Валаам.
1 – разрывы
2 – направление смещения обвальных тел,
3 – обвалы дреение (до 3 тыс. л.),
4 – моложе 3 тыс. л.,
5 – неопределенного возраста.

Никонов, 2009

Геологический разрез по профилю от ж/д станции Ириновка к мысу Осиновец и далее в акваторию, по буровым данным (С.А. Яковлев, 1926). Красная линия – сброс массива ленточных глин по разрыву у мыса Осиновец (интерпретация Никонова)

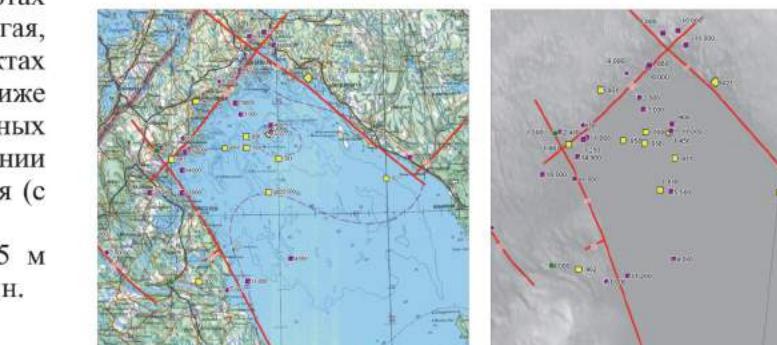
Профили эхондирования в глубоководных котловинах северной части акватории Ладожского оз. Subetto et al., 1998

Выявленные способом эхондирования по двум профилям на западе и севере Ладожского грабена ступенчатые разрывы в донных отложениях и в фундаменте определяются нами как позднеледниковые, со смещениями по вертикали от 15-18 до 35-40 м на каждом. Подобные, установленные на суше на севере о-ва Валаам сбросы в сторону глубоководной котловины имеют амплитуду 17-20 м.

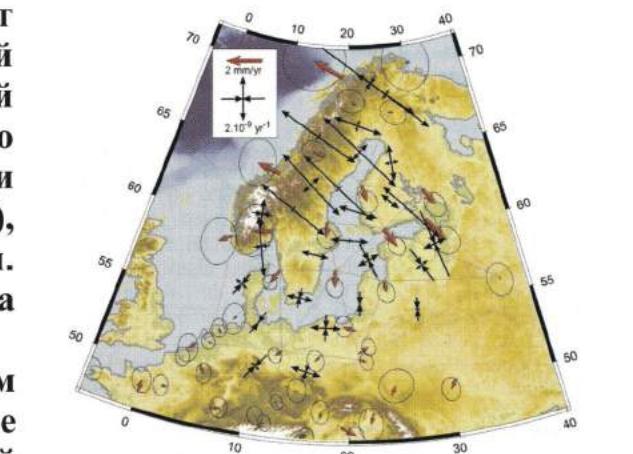
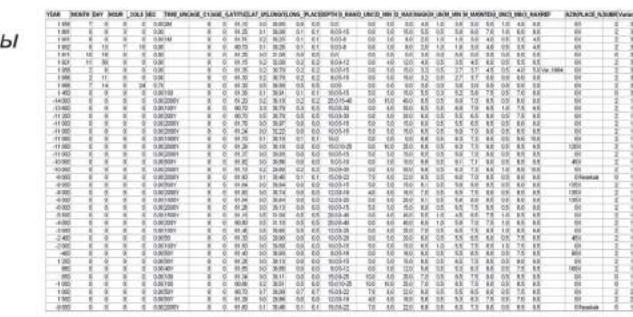
В центральной части грабена на западном борту на широте долины р. Бурная и у мыса Рогатый, а также по северному борту Валаамской гряды по геологическим признакам и геоморфологическим маркерам выявлены широтные зоны сбросов, возможно со сдвиговой составляющей, позднеледникового возраста. Величины смещений опущенных крыльев находятся в пределах 10-20 м.

Сейсмичность

В результате 20-тилетних целенаправленных, по усовершенствованной методике выполнявшихся, палеосейсмологических исследований района Ладожской впадины достигнут принципиально новый уровень знания о сильных, $M \geq 6$, событиях в голоцене [Никонов, Шваре, 2015]. Впервые созданная версия каталога сильных землетрясений в районе Ладожского грабена за 13 тыс. лет дала возможность выделить три важнейших сейсмолинеамента по обрамлению северной части грабена и несколько отдельных очагов в его акватории, что вполне согласуется со сведениями о главных активных тектонических структурах, в обрамлении грабена, во всяком случае.



Сейсмолинеаменты (активные разрывы с очагами землетрясений с $M \geq 6$) по обрамлению Ладожского грабена [Никонов, Шваре, 2015]. Значками разного цвета нанесены эпицентры землетрясений инструментального периода, исторические и палеоземлетрясения (за 13000 лет)



Согласно измерениям GPS до 2000 г. на зарубежной территории Фенноскандии, в районе Ладожского грабена вектор смещений ориентирован по аз. 310-315° - 130-135° и скорость составляет 1-1.5 м/год. Измерения удостоверяют в том, что регион находится под действием горизонтального сжатия по указанному азимуту [Nosquer et al., 2001]

Некоторые обобщения

Ладожского грабена. Биостратиграфические и радиометрические (^{14}C , TL, ЭПР) данные позволяют достаточно определено выделить в регионе тектонические фазы. Выявленная на материалах по данной структуре активизация грабенообразования в средне-четвертичное время, не позже 200 тыс. л.н., по всей вероятности, имевшая место и в грабенах Онежском и Кандалакшском, оказывается, синхронной давно выделенной глобальной пасаденской тектонической фазе 400-200 тыс. л.н. (см. [Никонов, 1995]), что вряд ли можно считать случайным. В позднем плейстоцене выделяются послемгинская (после 130 тыс. л.н.), позднеплейстоценовая (40-25 тыс. л.н.) и позднеледниковая (~15-12 тыс. л.н.) фазы активизации. Накапливаются также сведения об оживлении отдельных грабенов-провалов и разломов в течение голоцена (~9, 7, 3-2 тыс. л.н.), в том числе в связи с сильными землетрясениями.

Общая тенденция тектонического развития Ладожской впадины-грабена на новейшем этапе, во всяком случае, в квартере, выявляется в виде двух трендов. Это, прежде всего, общее относительное вздымание Фенноскандинавского кристаллического щита относительно прилежащей части Восточно-Европейской платформы с прекосом по направлению СЗ-ЮВ. На этом фоне сама впадина испытывала, вероятно, в виде временных сейсмотектонических активизаций (пароксизмов) локальные ступенчатые грабены-провалы в северной глубоководной впадине и вдоль ЮЗ и СВ бортов с углублением дна в них на десятки метров – метры при каждом приступе. Суммарные амплитуды вертикальных блоковых перемещений за новейшее время нет оснований принимать как превышающие величину 200-400 м.

Суммируя полученные сведения, выделяем следующие позиции по новейшей истории структуры.

- Подтверждается давно выявленная закономерность – северная часть бассейна (обрамления грабена) испытывает относительное и абсолютное поднятие, тогда как южная стабильна или слабо прогибается, что обеспечивает общий перекос впадины по направлению СЗ-ЮВ.
- На этом фоне выявляется резкая неравномерность и разнонаправленность вертикальных блоковых смещений особенно в северной половине грабена. Северный и западный борта структуры особенно активны тектонически и сейсмически. Признаки дифференцированных движений в южной части ослаблены или отсутствуют, во всяком случае, в голоцене.
- В срединной (по меридиану) части бассейна, по бортам грабена господствовали сбросовые смещения вдоль берегов на десятки м. Подобные смещения, вероятно, развивались также к северу и югу от Валаамской гряды.
- Северная часть бассейна в виде отдельной глубокой субширотной впадины отличается не только особой контрастностью вертикальных движений, но и присутствием латеральной составляющей по нескольким субширотным зонам.
- В целом, кинематика смещений вполне отвечает известным по другим признакам условиям господствующего сжатия по направлению ССЗ-ЮЮВ на юго-восточной периферии Фенноскандинавского щита.
- По всем собранным к настоящему времени данным наиболее тектонически и сейсмически активными на протяжении неотектонического этапа и до настоящего времени служили северное и СЗ ограничения