

## ДЕТАЛЬНАЯ ТЕКТОНИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЛАДОЖСКОГО ГРАБЕНА

Ассиновская Б.А., Овсов М.К.

ГАО РАН, г.Санкт-Петербург, bassin@wplus.net

Принято считать, что Ладожский грабен является морфологической и геологической депрессией, заложеной в протерозое по системе краевых субпараллельных разломов северо-западного простирания. Ладожский грабен изучен геологическими методами в процессе картирования масштаба 1:200000. Глубинное строение исследовано только в прибрежных районах. Детальная тектоническая структура особенно в контексте сейсмотектоники никогда не изучалась. Роль субширотных нарушений также в должной мере не оценивалась.

Для получения представлений о строении земной коры севера Ладожской зоны были использованы методы структурного анализа [Овсов, 2004] и вейвлет-преобразований [Штокаленко, Алексеев, 2007] доступных данных о гравитационных, магнитных полях и батиметрических данных. Работа была разделена на этапы. На первом этапе применялась методика структурного анализа всей совокупности данных.

Методика структурного анализа, базирующаяся на использовании корреляционного, кластерного, факторного и дисперсионного анализа, позволяет построить иерархическую (древовидную) структуру многомерных данных, которые характеризуются в точках наблюдения множеством количественных признаков. Основным приемом выявления структуры является исследование зависимости межкластерного расстояния от числа кластеров. При этом для деления выбирается исключительно старший по рангу скачок, который обеспечивает устойчивое выделение наименьшего числа самых общих, обширных кластеров. Структурный анализ признаков преобразовывает описания объектов из наблюдаемых признаков в пространство новых обобщенных признаков – классов. В новом признаковом пространстве осуществляется деление объектов на подмножества, которые относятся к делимому множеству как виды рода. Полученные видовые классы составляют структуру объекта на первом иерархическом уровне. Последующее деление видов как родов младшего уровня позволяет построить развитую многоуровневую структуру. Критерии качества структурного решения имеют двойственную оценку – статистическую и картографическую. В статистическом аспекте качеством полученной структуры является межгрупповая изменчивость исходных признаков в концевых классах относительно общегрупповой изменчивости в корневом классе. Картографически создается образная структура изучаемого района – карта классов, (подмножеств однородных данных). Карта классов позволяет выявить особенности строения земной коры, характерные для сложных погребенных геологических объектов.

Структурный анализ Ладожского региона выполнен с использованием комплекса исходных признаков: отметки подводного рельефа (высота и глубина акватории), гравитационное поле и магнитное поле. Плотность сети признаков составила  $0.2 \times 0.2$  км. В итоге структурного анализа получена детальная структура до 5 уровня включительно с числом концевых классов – 65. Раскраска классов дается в соответствии со структурой формирования классов. По результатам структурного анализа построена карта классов для конечного уровня и 6 частных карт. На втором этапе применена методика, названная авторами «вейвлет-преобразованиями с физическим смыслом» [Штокаленко, Алексеев, 2007]. Она базируется на интегральных преобразованиях физических полей и использует в качестве ядра функции, описывающие аномалию от элементарного источника преобразуемого поля. В результате было рассчитано распределение потенциальных полей с глубиной. На третьем этапе повторное применение методики структурного анализа к полученному разрезу позволило воспроизвести детальную картину строения верхней части земной коры (до глубины 15-20 км) в районе Ладожско-Ботнической зоны.

Полученные изображения отражают строение кристаллического фундамента Ладожского грабена, который, как известно из литературных источников, залегает под рифейскими осадочными отложениями на глубинах до 300 м. Детальный анализ элементов строения фундамента, который, вообще говоря, изучен слабо, дает возможность выявить структурные и вещественные неоднородности, ответственные за возможное возникновение землетрясений. Карты признаков (четвертый иерархический уровень) позволяют выделить в фундаменте северной части Ладожского грабена озера три изометричных блока, разделенных линейными зонами. Сопоставление характеристик гравитационного и магнитного полей обнаруживает в самой северной части глубинный массив глубинного заложения кратонного типа. По вещественному составу – это основные и ультраосновные породы и их аналоги, сильно магнитные и высокоплотные (базиты). Структура, очевидно, протягивается и далее к северу в Северное Приладожье. Образование непроницаемо и недеформируемо, следовательно, несейсмогенно, но может служить естественным барьером на пути распространения деформационных волн. Другая четко устанавливаемая структура – свекокарельские гранитоиды северо-западного Приладожья четко идентифицируется по отрицательному магнитному полю и слабopоложительному гравитационному, протягивается с суши и имеет неожиданно большие геометрические размеры. Третий блок, характеризуется относительно небольшой плотностью и слабой намагниченностью (свекокарельские метаосадки?), рас-

положен к югу от Валаамского сила. Сочленения блоков представляют собой зоны дробления разной степени, что особенно очевидно на четвертом и пятом уровнях анализа иерархии. В плане они совпадают с известными их других источников разломными зонами разных рангов, возрастов заложения и активизации. Во-первых, это продолжение к юго-востоку Ладожско-Ботнической зоны разломов свекокарельского возраста северо-западного простирания (Рускеальский разлом) – проходит между Валаамом и Сортавалой, имеет ширину до 6 км, представлен создающими отчетливо асимметричный рельеф разрывами, по которым наблюдаются дислокации осадков позднеплейстоценового (голоценового?) возраста (Амантов, Спиридонов, 1989). Гранитоидный массив на западе рассматриваемой области граничит с соседним блоком по активному Воссинайансаарскому разлому субмеридионального простирания, на севере нарушение упирается в описанную выше базитовую структуру. Ранее нами описаны очаги исторических землетрясений, приуроченных, вероятно, к этому нарушению. И, наконец, структурный анализ позволил выявить в центральной части севера Ладожского грабена уникальную зону дробления интрузивных метагаббродиабазов длиной 40 и шириной 8 км – субширотное нарушение, которое протягивается к Приозерскому берегу. К ней приурочены очаги исторических и, возможно, зарегистрированных в 2006 году микротолчков.

В результате исследований, кроме того, получен формализованный разрез верхних 20 км земной коры северо-восточной части Ладожского грабена, состоящий из трех структурных этажей: I этаж расположен в интервале 10–20 км имеет диоритовый состав, образован плотным и немагнитным ядром в центральной части. Для этой части коры свойственна равномерная слоистость с падением слоев на восток под углом 60°. II этаж имеет отчетливое блоковое строение, образован магнитными и плотными телами изометрической формы на флангах, для него характерно большое количество тектонических нарушений. Верхний структурный этаж – это рифейские осадочные породы мощностью до 4-х км. Следует предположить, что к выявленным нарушениям приурочены зарегистрированные сейсмические события.

## ЛАДОЖСКИЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ ПО ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

Ассиновская Б.А.<sup>1</sup>, Карпинский В.В.<sup>2</sup>, Маньшина Т.В.<sup>1</sup>, Гольдфайн Н.М.<sup>1</sup>, Попов А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, bassin@wplus.net

<sup>2</sup> Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, Калужской обл., сейсмическая станция Пулково, karp@geo.phys.spbu.ru

Валаамские исторические землетрясения начала 20 века изучены и описаны нами ранее. Макросейсмически они проявлялись в виде звуков – низкочастотных гудений и легких сотрясений.

В данном исследовании представлены результаты изучения материалов двухлетней инструментальной регистрации сейсмической станции Валаам, а также краткосрочных экспедиционных наблюдений в трех точках осенью 2007 года.

В июне 2006 года на о. Валаам в районе метеостанции в бывшем финском бункере была установлена станция регионального типа, способная регистрировать сейсмические события в диапазоне частот 1–17 гц с магнитудами  $M_L = -1 + 1$  на расстояниях до 20 км.

Анализ полученных данных позволяет констатировать наличие на сейсмограммах помимо промышленных взрывов нескольких видов сейсмических явлений, которые по форме записи мало похожи на землетрясения локального типа. Предварительно всю совокупность событий можно разделить на три группы.

**Первая группа** – это явления импульсного типа, протяженностью до 5 сек, с упрощенным спектральным составом 4–17 гц и преобладанием узкого резонансного диапазона частот. Распространенность и частота возникновения подобных событий в определенные промежутки времени очень велика – до 100 и более в сутки. Их появление не связано с человеческой активностью, поскольку в равной мере возникают как днем, так и ночью. Поляризационный анализ записей указывает на практическое отсутствие в их составе объемных волн. Как правило, импульсы представляют собой поверхностные волны Релея или Лява. Направление прихода волн, предположительно, с юго-запада. Можно показать, что усиление интенсивности и частоты возникновения указанных событий связаны с метеоусловиями, а именно с прохождением циклонов и, следовательно, с усилением волнения на озере. Можно предположить две модели возникновения этой группы событий, причем обе связаны с геометрией и геологией юго-западного берега о. Валаам. Согласно первой, зарегистрированные явления представляют собой инфразвуковые колебания, описанные, например, в работе (Milton A. Garcés and Claus H. Hetzer, 2002). Вторая гипотеза предполагает генерацию описываемых сейсмических импульсов как резонансного отклика массива горных пород, на котором стоит станция, на внешнее воздействие в виде озерных волн.

**Вторая группа событий** имеет явно «ледовое» происхождение, поскольку события этой группы зарегистрированы только в феврале – марте 2007 года, когда озеро было покрыто трещиноватым льдом. События