

## **ИЗУЧЕНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ В СЕВЕРНОЙ ФЕННОСКАНДИИ ПО ДАННЫМ ПРОЕКТА POLENET/LAPNET**

*Е.Г. Козловская<sup>1</sup>, О.А. Усольцева<sup>2</sup>  
и рабочая группа POLENET/LAPNET*

<sup>1</sup> Соданкульская Геофизическая обсерватория университета,  
г. Оулу, Финляндия

<sup>2</sup> Институт динамики геосфер РАН, Москва

Определены новые параметры гипоцентров землетрясений, произошедших в Северной Фенноскандии. Обработывались события, зарегистрированные сейсмическими станциями проекта POLENET/LAPNET в период с 2007 по 2009 года. Расчеты проводились параллельно по программе Huroellipse и методом сеточного поиска. В результате землетрясения были разбиты на 4 группы: события с неустойчивой локацией, поверхностные землетрясения, глубинные землетрясения и возможные взрывы. Для землетрясений ошибка определения глубины менее 6,5 км, среднеквадратичная невязка менее 0,5 с. Глубокие события расположены в вытянутой с севера на юг области, которая относится к древней Ботниа-балтийской мегазоне.

### **Введение**

В настоящей работе проведены сейсмологические исследования северной части Балтийского (Фенноскандинавского) щита, который является одним из структурных элементов Восточно-Европейской платформы (ВЕП). С юга и юго-востока его ограничивает Русская плита, которая также является структурным элементом ВЕП, а на северо-западе он граничит со складчатыми сооружениями палеозойской горной цепи Скандинавии (каледонидами). В четвертичное время Балтийский щит был одним из крупнейших центров оледенения Евразии. Как известно, с течением времени ледник разрушал слагающее его ложе, горные породы и обломки осадочного чехла выносились за пределы континента, обнажая массивно-кристаллические коренные породы. Балтийский щит с конца среднего протерозоя испытывает тенденцию к поднятию, что как принято считать определяет его слабую сейсмичность [Николаев, 1988].

По географическому местоположению Балтийский щит занимает юго-восточную половину Скандинавского полуострова, Кольский полуостров, Карелию и включает в себя несколько крупнейших тектонических блоков: архейский на севере (возраст более 2000 млн лет), свекофеннский в центральной и юго-западной частях (возраст 1750–2000 млн лет) и свеко-норвежский на юго-западе (возраст 1000–1200 млн лет) [Abramovitz et al., 2002].

Ранее методом глубинного сейсмического зондирования на изучаемой территории проводились исследования по профилям BALTIC, SVEKA'81, SVEKA'91,

FENNIA, BABEL, POLAR, HUKKA [Janik et al., 2009], FENNOLORA [Guggisberg, 1991]. Установлено, что в центральной части Балтийского щита толщина коры изменяется от 42 до 65 км, а также в коре отмечаются горизонтальные скоростные неоднородности. По профилям POLAR, HUKKA в разных районах северной части Балтийского щита выявлены зоны пониженных скоростей на глубинах 5–12 и 15–25 км.

В целях изучения трехмерной структуры литосферы под центральной частью Балтийского щита в 1998–1999 годах проводился сейсмологический проект SVEKALAPKO. Непрерывная сейсмическая запись велась на 143 сейсмических станциях, из них – 15 постоянных, остальные – временные. Для временной установки использовалось 88 короткопериодных и 40 широкополосных приборов.

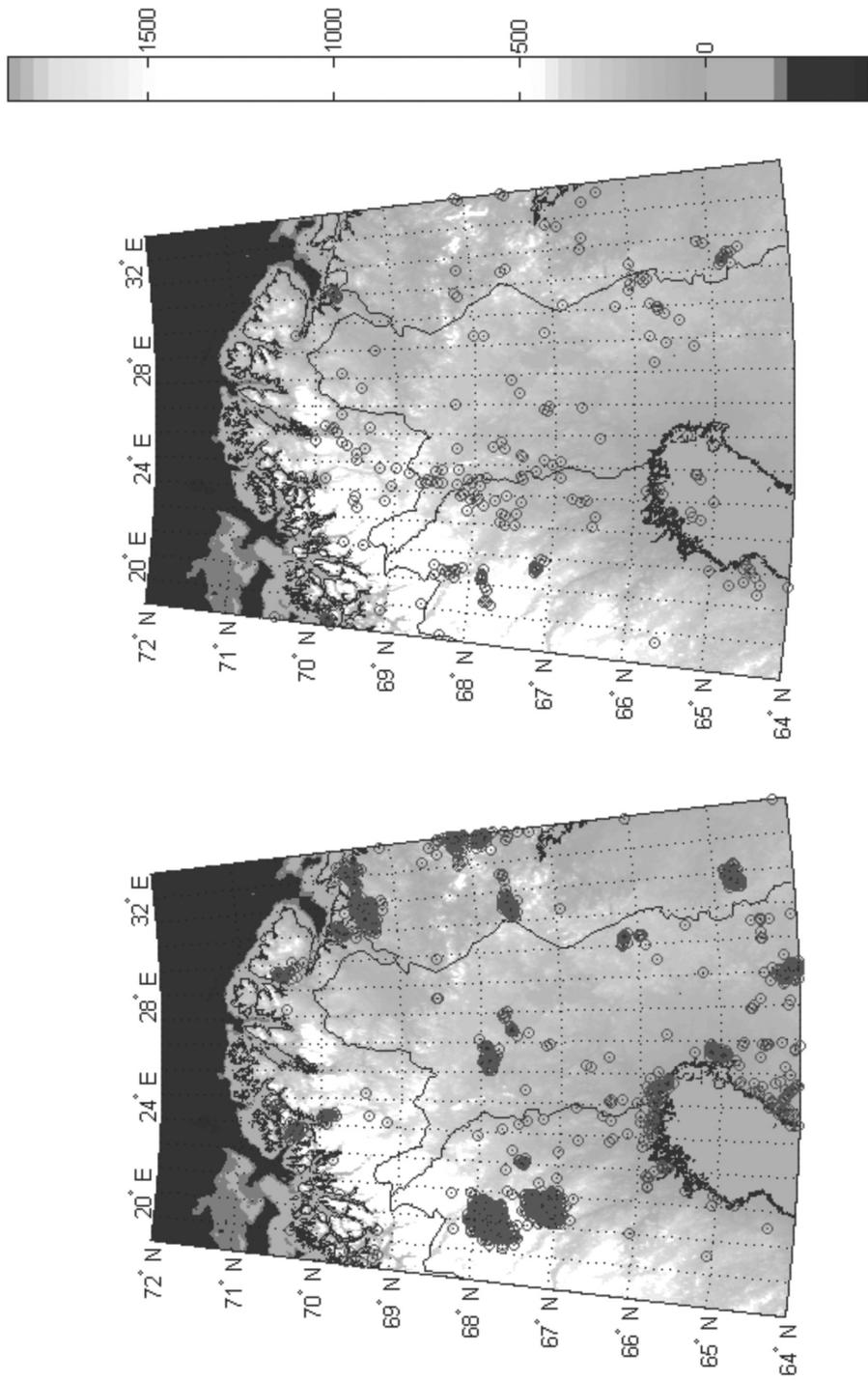
В рамках проекта SVEKALAPKO были получены важные результаты, показавшие наличие высокоскоростной аномалии под центральной частью Южной Финляндии (до глубин порядка 400 км) и отсутствие астеносферного слоя [Sandoval, 2003]. Для изучения литосферы в северной части Балтийского щита в 2007–2009 годах проведен сейсмологический проект POLENET/LAPNET. Накопленная в ходе работы проекта POLENET/LAPNET сейсмическая информация используется в настоящем исследовании для анализа локальных землетрясений.

До проведения проекта POLENET/LAPNET определение глубин землетрясений в Северной Фенноскандии с точностью менее 10 км было затруднено из-за плохого покрытия территории сейсмическими станциями. В финском каталоге встречаются события из данного района, для которых глубина задается фиксированной, а не определяется вместе с координатами и временем в очаге. Как отмечено в работе [Асминг, 2004] существующая российская сеть сейсмических станций в Карелии и на Кольском полуострове вообще не позволяет установить является землетрясение глубинным (глубина более 20 км) или поверхностным (глубина от 1 до 20 км), поэтому в отечественных каталогах приводятся только географические координаты событий для российской части Балтийского щита.

## Данные

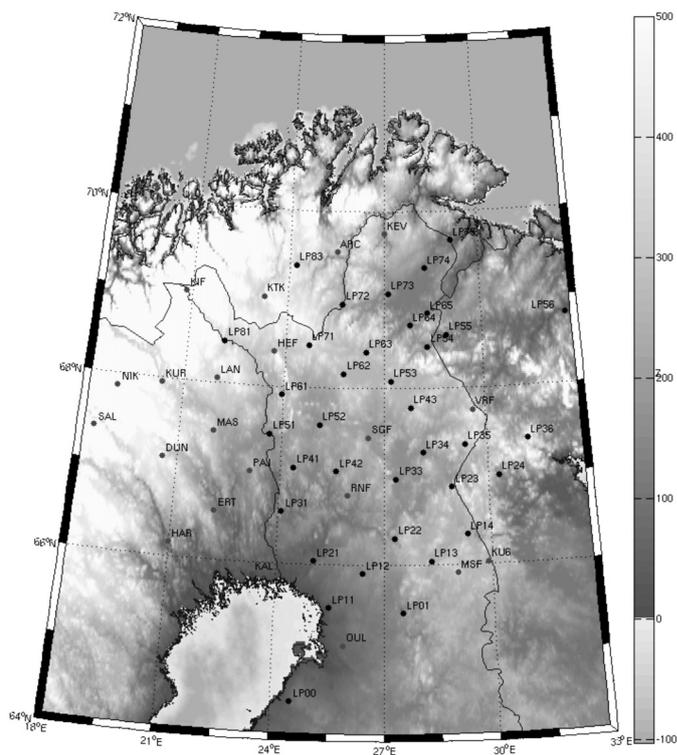
Северная часть Балтийского щита – это территория слабой сейсмической активности. Обычно в этом районе происходят землетрясения с локальной магнитудой не более 3. Как видно из рис. 1, на изучаемой территории с мая 2007 по май 2009 гг. произошло 9174 взрыва и 234 землетрясения. Информация получена из Хельсинского сейсмологического каталога HEL (<http://www.seismo.helsinki.fi>), который является наиболее точным для данного района по сравнению с Упсалинским (Швеция) и Бергенским (Норвегия). Судя по количеству взрывов и землетрясений, произошедших за один и тот же временной интервал, на севере Балтийского щита события техногенного происхождения случаются приблизительно в 40 раз чаще землетрясений, что затрудняет выделение сейсмоактивных разломов, но помогает при тестировании алгоритмов локации. Согласно HEL в 2007 году (с мая по декабрь) произошло 21 землетрясение, в 2008 году 21 естественное событие и в 2009 (с января по май) 14 событий. Локальные магнитуды ML землетрясений изменяются от 0,4 до 2,2. По глубине события распределяются следующим образом: 16 событий имеют глубину от 1 до 5 км, 33 события – от 5 до 15 км, 7 событий – от 15 до 33,5 км.

В рамках проекта POLENET/LAPNET в 2007 году в Северной Фенноскандии установлено 37 временных широкополосных трехкомпонентных сейсмических



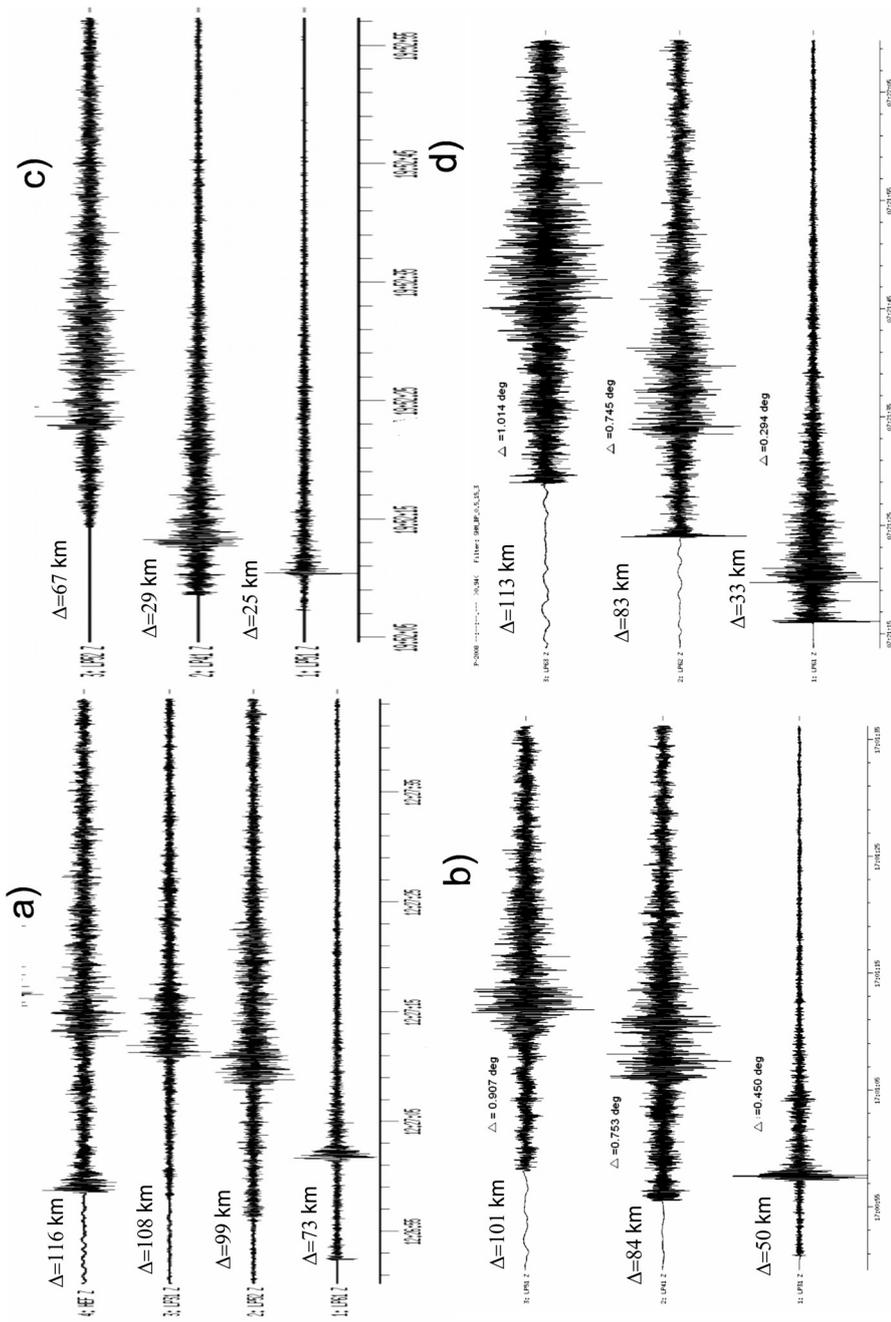
**Рис. 1.** Карта сейсмических событий в Северной Фенноскандии с мая 2007 по май 2009 гг.  
 Слева – 9174 взрыва, справа – 234 землетрясения

**Рис. 2.** Карта 58-и станций проекта POLENET/LAPNET



станций, которые вели непрерывную регистрацию до середины 2009 года. Также в непрерывном режиме работали 21 постоянная станция. Карта станций представлена на рис. 2. Регистрация велась по большей части сейсмометрами STS и STS-2. Данные сохранялись в формате mseed. Обработка проводилась с помощью программы Seismic Handler [Stammler, 1993].

В данной работе детальные исследования параметров гипоцентров проведены для района реки Торнио и сопредельных территорий ( $22\text{--}26^\circ$  в.д. и  $66\text{--}69^\circ$  с.ш.). Внутри этой области расположено несколько сейсмических станций проекта POLENET/LAPNET. Также сейсмические станции достаточно равномерно окружают исследуемый район по периметру. Имеющаяся база данных состоит из времен прихода волны P от 56 событий на 3 и более, до 22 станций. Примеры сейсмограмм событий из данной области представлены на рис. 3. Проведена фильтрация с помощью полосового фильтра Butterworth 4-го порядка в диапазоне 1–15 Гц. Из рис. 3 видно, что вступления волны P выделяются достаточно отчетливо после фильтрации для землетрясений с  $M_L > 1,6$  на эпицентральных расстояниях  $\Delta$  до 120 км и для поверхностных (глубина до 20 км) и для глубинных (глубина более 20 км) событий. Точность определения времени вступления для таких записей, как правило, менее 0,2 сек. Соответственно, при уменьшении локальной магнитуды события уменьшается и диапазон  $\Delta$ , на которых первая фаза видна отчетливо. Для большинства сейсмограмм на рис. 3 амплитуда волны S ( $A_S$ ) в несколько раз превосходит амплитуду волны P ( $A_P$ ). Эта же особенность отношения  $A_S$  к  $A_P$  отмечалась в [Пасечник, 1970] для взрывов. Однако для события на глубине 4,7 км (рис. 3,d) для всех  $\Delta$   $A_S$  сравнима с  $A_P$  на Z компоненте. Для глубинного события (рис. 3,a)  $A_S$  сравнима с  $A_P$  на Z компоненте при  $\Delta = 116$  км.



**Рис. 3.** Отфильтрованные волновые формы землетрясений (Z-компонента) на разных  $\Delta$  (a) 2007.10.03 12:26:41 ML = 1,6 (HEL), глубина  $d = 27,4$  км; (b) 2008.01.09 17:00:41 ML = 2,0 (HEL),  $d = 23,0$  км; (c) 2008.01.19 19:52:03 ML = 2,2 (HEL),  $d = 10,4$  км; (d) 2008.09.13 07:21:00 ML = 1,9 (HEL),  $d = 4,7$  км

## Расчеты с использованием одномерной скоростной модели

При определении параметров гипоцентров в качестве начальной одномерной скоростной модели использовалась модель, полученная по данным профиля НУККА [Janik, 2009] и представленная в таблице 1.

Таблица 1

### Одномерная скоростная модель для Северной Фенноскандии из [Janik, 2009]

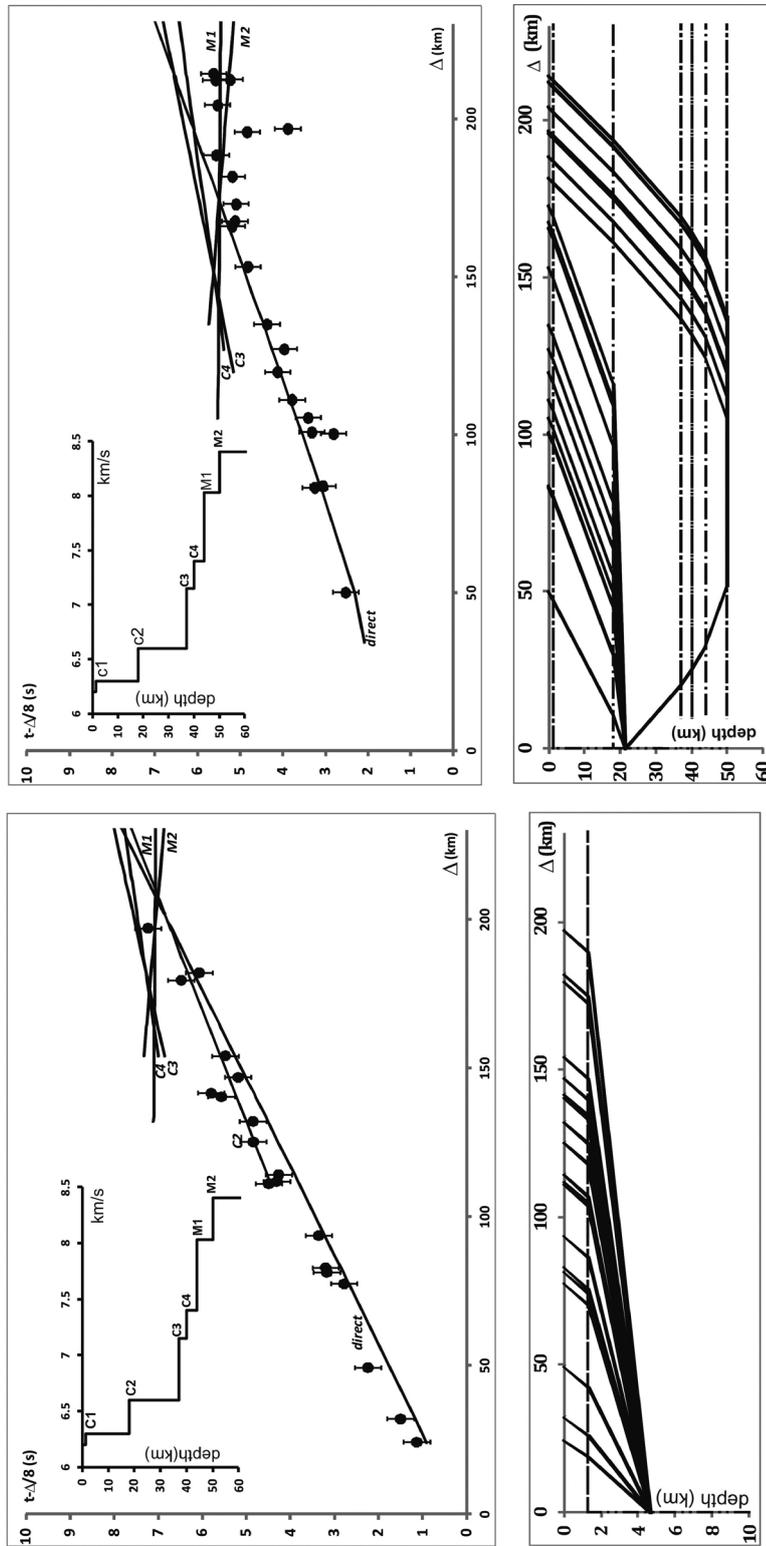
Глубина, км	0,0–1,3	1,3–18,0	18–37	37–40	40–44	44–50	более 50
$V_p$ , км/с	6,2	6,3	6,6	7,15	7,4	8,03	8,4

Модель состоит из 6 слоев в коре и 2 в верхней мантии. Самый верхний слой имеет толщину 1,3 км, остальные более 3 км. Рассчитаны траектории лучей, по которым время пробега минимально для поверхностного и глубинного землетрясений и данной скоростной модели (рис. 4). Если землетрясение неглубокое, то при  $\Delta < 200$  км минимальной является прямая сейсмическая волна и угол выхода луча всегда меньше 90 градусов. Для глубоких землетрясений при малых  $\Delta$  минимальное время соответствует прямой волне, а при больших  $\Delta$  минимальное время соответствует волне, преломленной на верхней границе мантии. Для поверхностных землетрясений при  $\Delta > 100$  км не всегда удается определить время вступления первой продольной волны правильно, из-за присутствия преломленных волн. Для землетрясений на глубине около 20 км преломленные волны в верхних слоях коры отсутствуют. Волна, преломленная на границе кора-мантия, выходит на поверхность при  $\Delta > 100$  км, а становится первой при  $\Delta = 180$  км. Следовательно, ошибки с неправильным снятием фаз возникают обычно для глубоких событий при  $\Delta > 180$  км. После изучения траекторий сейсмических лучей сделан вывод, что времена прихода первой Р волны от поверхностных землетрясений на  $\Delta < 200$  км несут информацию только о скоростном строении верхней части коры, а от глубинных – о скоростях в коре и верхней мантии.

В ходе работы построены редуцированные годографы (скорость редукции 8 км/с) для 56 событий из района реки Торнио и одномерной модели из таблицы 1. На эти годографы наложены времена прихода Р волн, определенные по сейсмограммам. Примеры таких графиков с наложенными на них экспериментальными точками представлены на рис. 4 вверху. Сопоставление измеренных и рассчитанных времен прихода волны Р дает хорошее соответствие модели из таблицы 1 и экспериментальных данных. Однако наблюдаются случайные выбросы порядка 0,5 сек (под выбросом подразумевается разница между теоретическим и измеренным значениями времени, невязка), значительно превышающие среднюю точность определения времени вступления (0,1 сек). Эта невязка может свидетельствовать о наличии горизонтальных скоростных неоднородностей в данном районе.

## Определение параметров гипоцентров землетрясений

Вычисление координат, глубины и времени в источнике землетрясений по измеренным временам проводилось с помощью программы Hypoellipse [Lahr, 1986]



**Рис. 4.** Вверху – теоретические редуцированные на 8 км/с годографы для прямой и преломленных Р волн и экспериментальные данные. Внизу – траектории сейсмических лучей Р волн, для которых время пробега минимально. Слева – для поверхностного (глубина до 20 км) землетрясения, справа для глубинного (глубина более 20 км)

с использованием скоростной модели, представленной в таблице 1. Hypoellipse – это итерационный метод, в котором минимизируется среднеквадратичная невязка между измеренным и теоретическим временами пробега с помощью решения переопределенной системы линейных уравнений.

Другой используемый метод для определения параметров гипоцентров – это метод сеточного поиска [Nelson, Vidale, 1990], обозначим его МСП. В этом методе осуществляется поиск глобального минимума среднеквадратичной невязки среди всех точек сетки. При расчетах этим методом исследуемая область была разбита на 800\*800\*60 ячеек (длина шага сетки 1 км). Расчет времени прихода первой  $P$  волны в каждую точку сетки выполнялся методом конечных разностей [Podvin, Lecomte, 1991]. Этот метод применялся для повышения устойчивости процедуры определения параметров гипоцентров.

В качестве тестового события использовались взрывы на карьере Хуккавара, координаты которого известны с высокой точностью (67.9° с.ш., 25.8° в.д.). Результаты тестирования представлены в таблице 2. В таблице не приводятся определенные широта и долгота, так как они совпадают до одного знака после запятой с реальными координатами. Различия в определении времени в источнике равно 0,2–0,4 секунды. Определенные глубины близки к нулю. Итоговая среднеквадратичная невязка менее 0,5 секунд и по первому и по второму методу.

Таблица 2

**Результаты локации на карьере Хуккавара  
с использованием Hypoellipse и МСП**

ГГММДД	чч:мм	Гл (км)1/2	RMS1(с)	RMS2 (с)	Гар(град)	Кол. ст	$r_{\min}$ (км)	$r_{\max}$ (км)
080824	12:30	0,0/0,5	0,27	0,32	47	18	58	268
080829	11:00	0,0/0,5	0,33	0,35	47	19	25	179
070816	08:00	0,1/0,5	0,48	0,29	117	7	59	208

Примечание: Hypoellipse (индекс 1) и МСП (индекс 2). Гл/2 – глубина по Hypoellipse/по МСП, RMS1 – конечная среднеквадратичная невязка по Hypoellipse, RMS2 – то же по МСП, Гар – минимальный угол между направлениями на две соседние станции, Кол. ст. – количество станций POLENET/LAPNET, используемых при локации,  $r_{\min}$  – расстояние до самой близкой станции,  $r_{\max}$  – до самой далекой.

Результаты расчетов для района реки Торнио представлены в таблице 3. Из 56 событий, которые входили в базу данных времен пробега только 33 – зарегистрированы более чем на 6 станциях. После обработки события разбиты на 4 группы: 1 группа – это события с неустойчивой локацией, 2, 3 и 4 группы – это события с устойчивой локацией. Ко второй группе относятся глубинные землетрясения, к третьей – поверхностные землетрясения, а к четвертой – возможные взрывы. Неустойчивыми к локации названы события, для которых параметры ошибки ( $g_{\text{ег}}$  или  $v_{\text{ег}}$ ) превышают 8 км или разброс по глубине в результате расчета разными методами более 8 км. Диапазон глубин для глубоких землетрясений составляет 21–38 км (слой 3 из табл. 1), для неглубоких землетрясений 0,5–17 км (слой 2 из табл. 1), для данного района не отмечены землетрясения в слое толщиной 4 км с верхней границей на 17 км. Возможными взрывами названы события, лоцированные очень близко к поверхности (на глубине менее 1 км).

**Результаты локации землетрясений в районе реки Торнио  
с использованием Нувоеллрсе и МСП**

ГТММДД	чч:мм	сек1/сек2	шир °N 1/2	долг °E 1/2	Гл. (км)1/2	RMS(с)1	RMS(с)2	Гар (гр)	Кол ст.	g_сг (км)	v_сг (км)	r_min (км)	r_max (км)
<b>События с неустойчивой локацией</b>													
070920	20:38	40.0/39.6	67.89/67.88	22.66/22.69	13.6/ 1.5	0.39	0.23	174	10	1.4	1.4	53.3	230.8
071013	15:29	2.7/ 2.5	67.69/67.69	24.76/24.79	1.1/ 8.5	0.24	0.20	64	15	0.4	33.3	18.8	205.1
071128	4:39	41.8/41.7	67.39/67.40	24.29/24.33	8.2/0.5	0.15	0.13	160	12	2.1	16.1	33.7	154.9
71128	4:14	44.6/44.6	67.39/67.39	24.31/24.35	3.2/0.5	0.23	0.20	159	12	0.8	17.1	33.5	154.2
071207	20:38	48.6/48.5	67.10/67.11	25.78/25.81	7.3/10.5	0.16	0.17	64	15	0.5	12.6	49.9	218.3
080830	4:48	49.4/49.1	67.73/67.73	22.77/22.79	9.7/14.5	0.19	0.19	75	15	2	8.4	44.4	191.7
081206	5:32	29.8/29.7	68.09/68.11	23.49/23.57	12.8/21.5	0.35	0.39	179	11	3.3	3.5	27	183.1
081023	18:41	9.8/ 9.2	67.64/67.65	22.17/22.15	3.8/12.5	0.37	0.23	56	14	0.7	28.9	46	202.3
090425	10:32	45.7/45.2	68.54/68.54	23.33/23.38	4.7/16.5	0.17	0.22	92	13	0.9	9.1	20	193.3
090504	22:45	44.7/44.6	67.40/67.42	23.52/23.53	0.0/0.5	0.27	0.19	45	16	1.4	10.1	7.8	197.9
<b>События с устойчивой локацией</b>													
<b>Глубинные события (глубина более 20 км)</b>													
071003	12:26	40.2/40.3	67.44/67.46	22.86/22.93	28.4/29.5	0.14	0.18	195	10	0.7	0.7	69.7	206
080326	10:55	36.5/36.7	66.70/66.71	22.89/22.97	28.9/27.5	0.28	0.18	232	12	2.8	2.3	54.4	203.8
080922	14:30	8.3/ 7.9	67.86/67.87	23.53/23.57	26.0/27.5	0.21	0.32	63	19	0.6	1.2	18	189.4
081109	17:00	41.8/41.8	66.59/66.59	22.96/22.98	21.9/22.5	0.31	0.34	75	22	0.3	0.4	50.2	215
090129	22:20	35.4/34.9	69.01/69.04	23.79/23.77	33.1/37.5	0.28	0.37	109	21	0.4	0.3	22	233
090312	22:42	34.9/34.8	67.39/67.38	23.59/23.60	30.0/31.5	0.2	0.15	94	11	0.7	1.1	8.2	136.4

ГТММДД	чч:мм	сек1/сек2	шир °N 1/2	долг °E 1/2	Гл. (км)1/2	RMS(c)1	RMS(c)2	Сар (гр)	Кол ст.	g_ег (км)	v_ег (км)	r_min (км)	r_max (км)
<b>Поверхностные события (глубина менее 20 км)</b>													
070702	3:04	10.1/9.9	68.04/68.05	22.85/22.88	11.0/14.5	0.25	0.22	172	8	1.5	1.5	47.6	208.6
070716	22:43	0.4/-0.1	68.49/68.52	23.72/23.75	9.6/11.5	0.1	0.15	105	7	0.5	1	10	192.1
070917	1:50	41.4/41.0	68.41/68.42	23.29/23.31	12.2/16.5	0.19	0.28	108	11	0.4	0.6	15.5	199.9
080119	19:52	3.1/3.1	67.25/67.26	23.78/23.85	13.0/13.5	0.19	0.17	160	22	0.4	0.5	23.5	235
080420	18:31	18.8/18.9	66.92/66.93	23.62/23.65	15.5/14.5	0.14	0.10	210	9	0.9	2.7	38.6	166.1
080531	7:17	30.1/30.1	67.03/67.03	24.08/24.12	6.5/8.5	0.36	0.38	174	9	0.5	1.9	14.6	154.5
080607	11:33	22.4/21.8	68.83/68.85	23.66/23.68	5.6/12.5	0.16	0.41	59	14	1.3	4.2	26.4	218.5
080719	19:11	19.0/18.7	67.95/67.97	22.79/22.81	7.4/8.5	0.32	0.30	80	19	0.4	0.8	35.1	234.4
080913	7:21	10.7/10.3	68.20/68.21	23.79/23.78	9.8/13.5	0.15	0.29	47	21	0.4	1.5	23.5	202.1
090120	11:32	20.5/20.3	67.54/67.54	22.14/22.18	7.8/7.5	0.21	0.14	117	11	1.6	2.2	11	197.8
090207	9:39	8.2/8.0	67.39/67.39	23.51/23.53	7.2/10.5	0.14	0.13	81	10	1.3	1.5	8.9	180.8
090215	:38	55.0/55.0	67.67/67.68	22.41/22.47	3.5/3.5	0.34	0.31	63	15	0.4	1	29	214.6
090401	23:51	46.4/46.1	67.09/67.10	25.78/25.78	2.0/0.5	0.22	0.24	64	13	0.3	3.9	8.7	171.6
090505	18:22	14.4/14.2	67.93/67.94	23.26/23.27	8.2/13.5	0.21	0.28	54	17	0.9	2	28.4	200.8
<b>Возможно взрывы</b>													
071112	3:37	31.2/31.2	66.67/66.68	25.86/25.86	0.0/0.5	0.27	0.24	56	15	0.8	6.5	8.9	195.6
080212	3:41	11.8/11.9	66.93/66.93	24.08/24.15	0.0/0.5	0.28	0.23	156	18	0.5	2.7	22.2	234.6
090411	3:23	16.5/16.2	67.14/67.14	25.84/25.85	0.0/0.5	0.25	0.28	60	18	0.2	3.8	13.4	202.8

Примечание: Нувоellipse (индекс 1) и МСП (индекс 2). Гл1/2, RMS1, RMS2, Сар, Кол. ст., r\_min, r\_max – те же, что и в Таблице 2. Шир1/2 и долг 1/2 – широта и долгота, определенные по Нувоellipse/по МСП. Характеристики ошибки расчетов: g\_ег – половина максимальной горизонтальной оси эллипсоида устойчивости, v\_ег – половина вертикальной оси эллипсоида устойчивости.

## Результаты

Впервые проведено изучение локальных событий на Балтийском щите по данным проекта POLENET/LAPNET. Точность определения координат ~3,5 км, глубины менее 6,5 км, среднеквадратичная невязка менее 0,5 с. Шесть событий произошли на глубине более 20 км. Эти события расположены в вытянутой с севера на юг области, которая относится к древней Ботния-балтийской мегазоне [Berthelsen and Marker, 1986]. Этот факт, возможно, говорит о возобновлении активности древней структуры, хотя механизм и время такой реактивации пока не полностью изучены. Отсутствие землетрясений на глубинах 17–21 км предположительно является доказательством того, что в коре существует сейсмостойкий слой, выше которого происходят землетрясения, вызванные одним механизмом, например, послеледниковым поднятием, а ниже обусловленные другим, например реактивацией Ботния-балтийской мегазоны. Согласно табл. 1 на глубине 18 км происходит скачок скорости со значения 6,3 км до значения 6,6 км. Смена упомянутого выше характера сейсмической активности, возможно, приурочена к этому скачку скорости.

Успешно опробована процедура выявления событий с устойчивой локацией в районе с большим количеством станций, распределенных достаточно равномерно по всем направлениям. На следующем шаге планируется проведение локаций в областях с меньшим количеством станций, распределенных неравномерно, например в Финско-карельской пограничной зоне или в Ботническом заливе.

*Выражаем благодарность рабочей группе POLENET/LAPNET, в состав которой входят Елена Козловская (Соданкульская Геофизическая обсерватория университета (СГО) г. Оулу, Финляндия), Хелле Педерсон (Университет Гренобля (УГ), Франция), Ярослава Пломерова (Геофизический институт Чешской Академии наук (ГИ ЧАН), Прага, Чешская республика), Улрих Ахауер (Университет Страсбурга, Франция), Эдуард Кислинг (Институт Геофизики ЕТН, Цюрих, Швейцария), Ирина Санина (Институт динамики геосфер РАН (ИДГ РАН), Москва, Россия), Теймо Ямсен (СГО), Ханна Силвеноинен (СГО), Катерина Пекуенат (УГ), Риита Хурскаинен (СГО), Роберт Гуигуэти (УГ), Хелмут Хаусманн (Институт геодезии и геофизики, Венский технологический университет (ИГГ ВТУ), Австрия), Петр Жедлика (ГИ ЧАН), Игорь Алешин (Геофизический центр РАН, Институт физики Земли им. Шмидта РАН), Екатерина Боурова (УГ), Рейнир Бодварсон (Шведская Национальная сейсмологическая сеть (ШНСС), Университет Упсала, Швеция), Эвалд Брукл (ИГГ ВТУ), Тюна Экен (ГИ ЧАН), Пекка Хейккинен (Институт сейсмологии Университета Хельсинки (ИСХ), Финляндия), Григорий Хоусеман (Университет Лида, Объединенное королевство), Хельге Джонсен (Институт физики твердой Земли, Университет Бергена, Норвегия), Елена Кременецкая (Кольский региональный сейсмологический центр РАН, Россия), Кари Комминахо (ИСХ), Хелена Мунзарова (ГИ ЧАН), Роланд Робертс (ШНСС), Бохуслав Рузек (ГИ ЧАН), Хосейн Шомали (ШНСС), Йоханес Швейтцер (NORSAR, Норвегия), Артем Шаумян (ИДГ РАН), Людек Вексей (ГИ ЧАН), Сергей Волосов (ИДГ РАН).*

The POLENET/LAPNET проект – это один из проектов в рамках Международного полярного года 2007–2009 и один из проектов консорциума POLENET. Сейсмологическое оборудование для временных станций было предоставлено несколькими исследовательскими институтами Европы: Университетами Гренобля и Страсбурга, Франция; Геофизическим Институтом Чешской Академии Наук; Соданкульской Геофизической обсерваторией, Финляндия; Институтом динамики геосфер РАН,

Россия; Институтом геодезии и геофизики Венского технологического университета, Австрия; ETZ Цюрих, Швейцария; Университетом Лида, Соединенное Королевство. Проект был поддержан Академией Наук Финляндии (грант No. 122762), Университетом Оулу (Финляндия), BEGDY program of the Agence Nationale de la Recherche (Франция), Institut Paul Emil Victor and ILP (Международная Литосферная программа) task force VIII, Чешской республикой: грант №. IAA300120709 чешского фонда Чешской Академии Наук, Российской Федерацией: Российская Академия Наук (программы № 5 и № 9).

*Работа выполнена в рамках международного проекта POLENET/LAPNET (Проект № 2).*

### *Литература*

*Николаев Н.И.* Новейшая тектоника и геодинамика литосферы. М.: Недра, 1988, 491 с.

*Пасечник И.П.* Характеристика сейсмических волн при ядерных взрывах и землетрясениях, М.: Наука. 1970, 193 с.

*Abramovitz T., H. Thybo, E. Perchub* Tomographic inversion of seismic P- and S-wave velocities from the Baltic Shield based on FENNOLOGRA data // *Tectonophysics*, 358, (2002), 151–174.

*Berthelsen, M. and Marker, M.* (1986). 1.9-1.8 Ga old strike-slip megashears in the Baltic Shield and their plate tectonic implications // *Tectonophysics*, 128, 3-4, 163–181.

*Guggisberg, B., Kaminski, W., Prodehl, C.*, Crustal structure of the Fennoscandian Shield: a travelttime interpretation of the long-range FENNOLOGRA seismic refraction profile. *Tectonophysics* 195, 105–137, 1991.

*Janik T., E. Kozlovskaya, P. Heikkinen, J. Yliniemi, and H. Silvennoinen* Evidence for preservation of crustal root beneath the Proterozoic Lapland-Kola orogen (northern Fennoscandian shield) derived from P and S wave velocity models of POLAR and HUKKA wide-angle reflection and refraction profiles and FIRE4 reflection transect, (2009) // *J. Geophys. Res.*, 114, B06308, doi:10.1029/2008JB005689.

*Lahr J.* Description of the weighted regression and quality estimation used in the earthquake location program Hypoellipse, open-file report, 1986.

*Nelson G.D., Vidale J.E.* (1990) Earthquake locations by 3-d finite-difference travel times // *Bull. Seis. Soc. of Am.*, V. 80, N. 2, 395–410.

*Podvin, P., and I. Lecomte* (1991) Finite difference computation of travel times in very contrasted velocity models: a massively parallel approach and its associated tools // *Geophys. J. Int.* 105, 271–284

*Sandoval S., Edi Kissling, Jörg Ansorge and the SVEKALAPKO* Seismic Tomography Working Group High-resolution body wave tomography beneath the SVEKALAPKO array: I. A priori three-dimensional crustal model and associated travelttime effects on teleseismic wave fronts // *Geophys. J. Int.* (2003) 153, 75–87

*Stammler, K.*, Seismic Handler – programmable multichannel data handler for interactive and automatic processing of seismological analyses // *Comp. Geosciences*, 19, 1993, 135–140.

*Асминг В.Э.* Создание программного комплекса для автоматизации детектирования, локации и интерпретации сейсмических событий и его использование для изучения сейсмичности северо-западного региона: дисс. ... к-та физ.-мат. наук. М., 2004. 137 с.