

Одномерные скоростные модели земной коры для определения параметров сейсмических событий, зарегистрированных на территории Карелии

© 2023 И. А. Зуева[✉], А. А. Лебедев

*ФИЦ Институт геологии КарНЦ РАН,
ул. Пушкинская, 11, 185910, Петрозаводск, Российская Федерация*

Аннотация

Введение: Территория Карелии располагается на юго-востоке Фенноскандинавского щита, имеет сложное геологическое строение и представлена тремя геоблоками: Карельский кратон, Беломорский подвижный пояс, Сфекофеннская складчатая область. Эти районы отличаются между собой геологическим строением, возрастом и составом слагающих их комплексов. Карелия характеризуется слабой сейсмичностью. За инструментальный период наблюдений магнитуды сейсмических событий не превышали значение 3.2. Выбор скоростной модели является важной задачей при определении параметров слабых сейсмических событий.

Методика: Для изучения сейсмического режима региона была создана сейсмологическая сеть, станции которой располагаются в разных районах республики. Сейсмические станции оснащены цифровой широкополосной аппаратурой, которая регистрирует различного рода землетрясения. Обработка сейсмических данных осуществляется в программе ELRESS. Она позволяет определить время в очаге, погрешность определения времени возникновения, координаты эпицентра, погрешность определения эпицентра по широте и долготе, локальную магнитуду.

Результаты и обсуждение: Значения основных параметров сейсмических событий, которые получают в процессе обработки, зависят от используемых одномерных скоростных моделей. Базовыми являются скоростная модель IASPEI-91 и АК-135. В статье представлены одномерные скоростные модели, которые используются для определения координат гипоцентров сейсмических событий, зарегистрированных на территории Карелии.

Заключение: Показано, что для северных районов нужно использовать скоростную модель BARENTS, для юго-западных – модель BALTIC, а для центральных районов Карелии – скоростную модель KARELIA.

Ключевые слова: одномерная скоростная модель, сейсмическая станция, взрыв, гипоцентр, эпицентр, времена пробега, скорость.

Источник финансирования: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-10002, <https://rscf.ru/project/23-27-10002/>

Для цитирования: Зуева И. А., Лебедев А. А. Одномерные скоростные модели земной коры для определения параметров сейсмических событий, зарегистрированных на территории Карелии // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология.* 2023. № 3. С. 100–108. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/3/100-108>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Зуева Ирина Александровна, e-mail: ek92wa@mail.ru

Введение

Карелия занимает юго-восточную часть Фенноскандинавского щита и характеризуется слабой сейсмичностью территории. За инструментальный период наблюдений магнитуды сейсмических событий, зарегистрированных на территории Карелии, имели значения, не превышающие 3.2. Сейсмическая сеть (с/с) региона регистрирует промышленные взрывы с магнитудами до 2.5 и землетрясения на севере Карелии с магнитудами до 3.2. Качество обработки таких событий во многом зависит от выбора одномерной скоростной модели.

Одномерные модели – это такие модели, в которых время пробега сейсмической волны между двумя точками зависит только от расстояния между ними:

$$T(\varphi_1, \lambda_1, \varphi_2, \lambda_2) = T(R(\varphi_1, \lambda_1, \varphi_2, \lambda_2)),$$

где T – времена пробега, R – расстояние, φ, λ – координаты точек.

В качестве примеров базовых одномерных скоростных моделей Земли приведем скоростную модель IASPEI-91 [1] и АК-135 [2]. В них представлена обобщенная модель Земли, которая описывает в основном сейсмоактивные области, и не учитываются региональные неоднородности в земной коре и верхней мантии [3]. При применении наилучшей подобранной скоростной модели уменьшаются погрешности в определении координат эпицентров сейсмических событий, расположенных на небольших расстояниях, менее 20° , от регистрирующих станций. Поэтому, чтобы учесть геологические особенности регионов, при сейсмологических исследованиях используются собственные скоростные модели [4–8]. Например, Институтом сейсмологии Финляндии представлены различные скоростные модели: SVEKA, BABEL, POLAR, BALTIC, FENNIA. Каждая модель отражает локальные структуры литосферы Фенноскандинавского щита на территории Финляндии [9]. На севере Русской плиты сотрудниками Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики РАН получена скоростная модель для расчета годографа NORP [10]. Создание региональной скоростной модели и уточнение параметров землетрясений является актуальной научной задачей.

Цель работы заключается в определении одномерной скоростной модели для территории Карелии.

Методика

В пределах Карелии выделяются три области, различающиеся между собой основными чертами геологического строения, возрастом и составом слагающих их комплексов, особенностями проявления тектонических, магматических и метаморфических процессов. Этим районам соответствуют крупные сейсмические, плотностные и магнитные неоднородности литосферы, ярко отражающиеся в соответствующих геофизических полях. По совокупности геологических и геофизических данных указанные области в современном строении земной коры представляют собой коро-

мантийные блоки или глыбовые элементы тектоносферы – геоблоки. К представленным геоблокам или трем структурным областям относятся: Карельский кратон – относительно устойчивый в течение всей докембрийской истории крупный участок земной коры, который занимает центральную часть Карелии, с северо-востока к нему примыкает линейный Беломорский складчатый пояс, а с юго-запада обширная Свекофеннская складчатая область. Геоблоки не ограничиваются территорией региона, а протягиваются за ее пределы на север и северо-запад (в Финляндию и частью на Кольский полуостров) и на юго-восток под осадочный чехол Русской плиты [11] (рис. 1).

Карельский неархейский кратон в структуре Фенноскандинавского щита составляет ядро и сложен, главным образом, архейскими гранитоидными, зеленокаменными и парагнейсовыми комплексами. Карельский кратон расположен в основном на территории Республики Карелия, а его северо-западный край охватывает часть восточной Финляндии и юго-восточное окончание – часть Архангельской области. Мощность коры в пределах Карельского геоблока варьирует и достигает максимальных значений для региона – 40–42 км. Беломорский подвижный пояс располагается с северо-востока от Карельского кратона и сложен преимущественно неархейскими гранитогнейсами. Располагается между Карельским кратоном и Кольской провинцией и принципиально отличается от них и от остальной части Фенноскандинавского щита тем, что это сложно и интенсивно складчатая структура полициклического развития, породы которой неоднократно метаморфизованы в условиях высокого давления, как в архее, так и в протерозое. Беломорский подвижный пояс, по всей вероятности, представляет древнейшую коллизионную структуру Европы. После длительной эрозии на поверхность выведены глубокие корневые части некогда существовавших Беломорских горных систем. Пояс потерял свою былую мобильность и стал древнейшим складчатым поясом континента. В его пределах кора имеет минимальные значения мощности, которая варьирует в пределах 28–34 км. Свекофеннская складчатая область на территории Республики Карелии представлена только малой своей частью. В пределах региона – в Северном и Западном Приладожье. Однако именно в данном районе она непосредственно стыкуется с Карельским кратоном. Свекофеннская складчатая область охватывает большую часть Швеции, южную и юго-западную части Финляндии, а также продолжается далеко на юг под венд-палеозойский осадочный чехол. Ладожская зона Свекофеннской складчатой области состоит в основном из пород раннепротерозойского возраста. В приконтактной зоне она представлена архейскими гранитогнейсами в гранитогнейсовых куполах Северного Приладожья. Породы ладожской серии состоят преимущественно из слюдястых ритмичнослоистых сланцев, песчаников, содержащих графит и сульфиды, различных парагнейсов с прослоями амфиболитов. В Свекофен-

нской складчатой области повсеместно, за исключением северо-восточного края, встречаются тела интрузивных пород различного размера и различ-

ной формы. Земная кора в пределах Ладожской зоны имеет меньшую мощность, чем в Карельском кратоне, но большую, чем в Беломорском геоблоке [12, 13].



Рис. 1. Упрощенная геологическая карта Фенноскандинавского щита [14, 15].

[Fig. 1. Simplified geological map of the Fennoscandian shield [14, 15].

Light green – Caledonian orogen (510–400 Ma); light brown – Archean rocks of the lower part of the allochthon; pink – Sveconorwegian orogenic belt (1100–920 Ma); brown – alkaline rocks; light grey – sedimentary rocks; purple – rapakivi granite plutons (1.65–1.47 Ga); light purple – metasedimentary rocks (1.50–1.27 Ga); light blue – metasedimentary and volcanic rocks (2.50–1.96 Ga); green – mafic plutons (2.50–1.96 Ga); blue – metasedimentary and volcanic rocks (1.96–1.80 Ga); light yellow – plutonic rocks (1.96–1.84 Ga); dark beige – plutonic rocks (1.85–1.66 Ga); light beige – plutonic rocks and gneisses (3.50–2.50 Ga); beige – metasedimentary and volcanic rocks (3.20–2.70 Ga).]

Карельская сейсмологическая сеть. На территории Карелии в начале 2000х годов установлена сейсмологическая сеть [16]. Сейсмические пункты наблюдений располагаются в разных районах республики. Сейсмические станции оснащены цифровой широкополосной аппаратурой: велосиметрами CMG-3ESP и CMG-6TD [17]. Представленные измерительные приборы отличаются широким частотным (0.033–50 Гц) и большим динамическим диапазонами (> 140 Дб), низким уровнем собственного шума. Обработка региональных сейсмических данных осуществляется при помощи программы ELRESS, которая разработана сотрудником Кольского филиала Единой Геофизической службы РАН Асмингом В.Э. [18]. Программа позволяет нам получать время в очаге, погрешность определения времени в очаге, координаты эпицентра, погрешность определения эпицентра по широте и долготе, значение локальной магнитуды. С 2015 года для определения основных параметров сейсмических событий, зарегистрированных на территории Карелии, используется одномерная скоростная модель BARENTS.

Результаты

Одномерная скоростная модель BARENTS задается в виде таблицы глубин и скоростей объемных сейсмических волн – Р и – S (табл. 1). Она представляет собой «гибридную» скоростную модель, которая включает в себя скоростную модель для расчета годографа NORSAR до глубины 55км, на больших глубинах модель NORSAR дополнена моделью АК-135. Она была принята в качестве основной модели в Баренцевом море, используется в Мурманской и Архангельской областях [19, 20].

Обработка исходных сейсмических записей, полученных Карельской сейсмической сетью, позволила установить что скоростная модель BARENTS позволяет определять параметры эпицентров событий на

территории Карелии с погрешностями в среднем не превышающими 15 км.

На (рис. 2) приведены волновые формы короткозамедленного взрыва в карьере Костомукшского ГОК, полученные по данным станций Карельской сейсмической сети. Взрыв был произведен 11 января 2019 года, локальная магнитуда события равна $ML=2.1$. На (рис. 3) показано расположение эпицентра взрыва по данным Карельской и Финской сейсмических сетей, в (табл. 2) представлены координаты эпицентра и время в очаге [21].

Расстояние от места взрыва до эпицентра, полученное по данным Карельской сейсмической сети составляет 10 км, по данным Финской сейсмической сети 16 км, время в очаге отличается на 2 секунды.

По данным Карельской сейсмической сети обработано около 3000 региональных сейсмических событий за 2017–2022 гг. с использованием скоростной модели BARENTS. Систематическая ошибка при определении координат эпицентров сейсмических событий на севере региона не превышает 10 км. В южных районах республики ошибка при определении координат эпицентров сейсмических событий (промышленных взрывов) может достигать 20 км.

Табл. 1. Скоростная модель BARENTS
[Table 1. Velocity model BARENTS]

Глубина границы (км) [Border depth (km)]	V_p (км/с) [V_p (km/s)]	V_s (км/с) [V_s (km/s)]
0	6.2	3.58
16	6.7	3.87
40	8.1	4.6
55	8.23	4.68
290	Как в АК-135 [As in АК-135]	

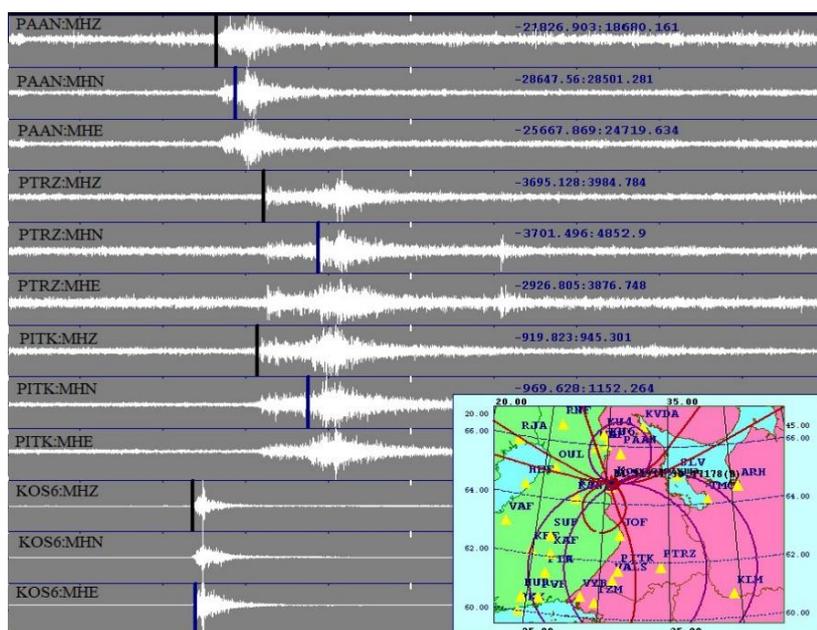


Рис. 2. Взрыв на карьере Костомукшского ГОК. Запись получена по данным станций Карельской сейсмической сети (KOS6, PAAN, PITK, PTRZ) 11 января 2019 года (полосовой фильтр 2–20).

[Fig. 2. Explosion at the quarry of the Kostomuksha GOK. The record was obtained from the data of the stations of the Karelian seismic network (KOS6, PAAN, PITK, PTRZ) on January 11, 2019 (band-pass filter 2–20).]



Рис. 3. Расположение эпицентров взрыва на карьере Костомукшского ГОК по данным Карельской и Финской сейсмических сетей.

[Fig. 3. The location of the epicenters of the explosion at the quarry of the Kostomuksha GOK according to the data of the Karelian and Finnish seismic networks. Red rectangle – Kostomuksha GOK quarry area; red dot – epicenter of the explosion

according to the Karelian SN data; blue dot – epicenter of the explosion according to the Finnish SN data.]

Скоростные модели BALTIC и KARELIA. Как показано на (рис. 1) Карелия имеет сложное геологическое строение, на территории которой сформировались три крупных геоблока. Они отличаются по положению сейсмических границ, а также значениями скоростей горных пород с глубиной [22]. Для того чтобы уменьшить систематическую ошибку, были определены скоростные модели BALTIC и KARELIA и включены в обработку сейсмических данных.

В (табл. 3) представлены одномерная скоростная модель по профилю Baltic длиной 430 км, который проходит на юго-востоке Финляндии и располагается на территории Свекофеннской складчатой области [9, 23], а также скоростная модель, полученная на основе работ [22, 24] Они были дополнены скоростной моделью АК-135 на глубинах более 50км. Скоростная модель территории Карелии названа «KARELIA». Для ее создания использовался глубинный разрез земной коры по профилю Кемь–Тулос длиной 225 км. Профиль Кемь – Тулос ориентирован вкrest простираения основных структур Центральной Карелии.

Скоростные модели BARENTS, BALTIC и KARELIA отличаются между собой количеством слоев до глубины 50 км, а также значениями скоростей сейсмических волн – Р и –S.

Табл. 2. Параметры короткозамедленного взрыва, произведенного в карьере Костомукшского ГОК
[Table 2. Parameters of a short-delayed explosion produced in the quarry of the Kostomuksha GOK]

Название сейсмической сети [Name of the seismic station]	Время в очаге, ч:мин:сек [time in the hearth (h:min:sec)]	Координаты эпицентра [Coordinates of epicenter]		Расстояние от места взрыва (карьера) до эпицентра (км) [Distance from the explosion site (quarry) to the epicenter (km)]
		Широта,° [Latitude]	Долгота,° [Longitude]	
Карельская с/с [Karelian SN]	09:59:51.49	64.719	30.471	10
Финская с/с [Finnish SN]	09:59:53.6	64.809	30.332	16

Табл. 3. Одномерные скоростные модели BALTIC и KARELIA
[Table 3. One-dimensional velocity models BALTIC and KARELIA]

B A L T I C	Глубина границы (км) [Border depth (km)]	Vp (км/с) [Vp (km/s)]	Vs (км/с) [Vs (km/s)]	K A R E L I A	Глубина границы (км) [Border depth (km)]	Vp (км/с) [Vp (km/s)]	Vs (км/с) [Vs (km/s)]
	0	6.2	3.58		0	6.0	3.52
10	6.3	3.64	5	6.2	3.64		
20	6.6	3.81	10	6.4	3.76		
33	7.0	4.05	20	6.6	3.88		
43	8.1	4.68	30	6.8	4		
54	8.2	4.74	40	8.0	4.71		
54-640	AK-135		50	8.1	4.76		
			50-640	AK-135			

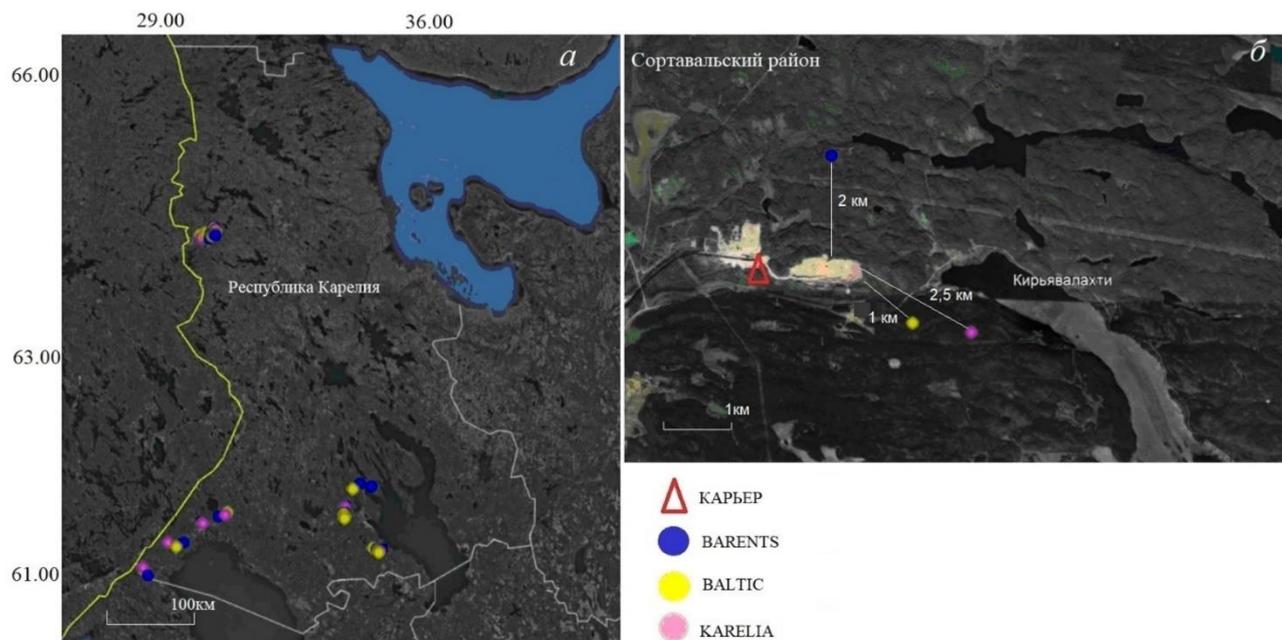


Рис. 4. Эпицентры взрывов, зарегистрированных в январе 2019 с использованием различных скоростных моделей – а; эпицентры взрыва в Сортавальском районе, полученные с использованием различных скоростных моделей – б.
[Fig. 4. Epicenters of explosions recorded in January 2019 using various velocity models – (a); the epicenters of the explosion in the Sortavala region, obtained using various velocity models – (b).]

Обсуждение результатов

Выбор скоростной модели был проверен на основе пересчета параметров эпицентров одних и тех же промышленных взрывов, зарегистрированных сейсмической сетью Карелии в 2019–2020 гг. Оценивались вычисленные координаты эпицентров промышленных взрывов и известные координаты карьеров. Время производства взрыва нам неизвестно. Для примера на (рис. 4) показаны рассчитанные эпицентры известных взрывов в январе 2019 г. Карьер обозначен красным цветом, результаты локации с использованием моделей BARENTS – синим, BALTIC – желтым, KARELIA – розовым. По полученным результатам установлено, что модель BALTIC нужно использовать при определении координат событий в юго-западной части Карелии (Лахденпохский, Сортавальский, Питкярантский районы), а также в Прионежском районе. Это связано со схожим геологическим строением участка, по которому проходит профиль Baltic и перечисленных районов (рис. 1). Для определения координат эпицентров землетрясений на севере региона и взрывов в Костомукшском районе нужно использовать модель BARENTS, модель KARELIA – в центральных районах Карелии. Применение скоростных моделей BALTIC и KARELIA в южных и центральных районах Карелии соответственно, позволило уменьшить систематическую ошибку до 5 км при определении эпицентров промышленных взрывов.

Выводы

Показана необходимость использования, нескольких скоростных моделей при обработке сейсмических данных, зарегистрированных на территории Карелии.

Это связано с различным геологическим строением региона и как следствие возникающими систематическими ошибками в определении координат эпицентров. Скоростную модель BALTIC нужно использовать при определении координат событий в юго-западной части Карелии (Лахденпохский, Сортавальский, Питкярантский районы), а также в Прионежском районе. Для определения координат эпицентров землетрясений на севере региона и взрывов в Костомукшском районе применять модель BARENTS, а модель KARELIA – в центральных районах Карелии.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kennett B. L. N., Engdahl E. R. Travel times for global earthquake location and phase identification // *Geophys. J. Int.* 1991. Vol. 105. P. 429–466. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1991.tb06724.x>
2. Kennett B. L. N., Engdahl E. R., Buland R. Constraints on seismic velocities in the Earth from traveltimes // *Geophys. J. Int.* 1995. Vol. 122. P. 108–124. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1995.tb03540.x>
3. Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России. Под ред. В. В. Адушкина, А. А. Маловичко. М.: ГЕОС, 2013. 384 с.
4. Санина И. А., Нестеркина М. А., Константиновская Н. Л., Куликов В. И., Волосов С. Г., Надёжка Л. И., Дубянский А. И., Сафронич И. Н., Пивоваров С. П. Скоростная модель и особенности записей взрывов из Елец-Липецкой зоны. *Геологические опасности: материалы XV Всероссийской*

- конференции с международным участием. Архангельск: ИЭП Севера АНЦ УрО РАН, 2009. С. 396–400.
5. Глазнев В. Н. Комплексные геофизические модели литосферы Фенноскандии. Апатиты: «КаэМ», 2003. 252 с.
6. Mints M. V., Glaznev V. N., Muravina O. M., Sokolova E. Yu. 3D model of Svecofennian Accretionary Orogen and Karelia Craton based on geology, reflection seismics, magnetotellurics and density modelling: Geodynamic speculations // *Geoscience Frontiers* 11 (3). 2020. P. 999–1023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2019.10.003>
7. Kremenetskaya E., Asming V., Ringdal F. Seismic Location Calibration of the European Arctic // *Pure and applied geophysics*. 2001. Vol. 158. P. 117–128. DOI: <https://doi.org/10.1007/PL00001151>
8. Hicks E. C., Kværna T., Mykkeltveit S., Schweitzer J., Ringdal F. Travel times and attenuation relations for regional phases in the Barents Sea region // *Pure and applied geophysics*. 2004. Vol. 161. I. 1. P. 1–19. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00024-003-2437-6>
9. Kolehmainen K. O., Heinonen S., Komminaho K., Tiira T., Veikkolainen T. Seismic velocity models based on wide-angle refraction and reflection profiles in Finland. Helsinki: Institute of Seismology, University of Helsinki. 2022. No. T-107. 24 p.
10. Морозов А. Н., Ваганова Н. В. Годографы сейсмических волн для Севера Русской плиты по данным Архангельской сейсмической сети // *Разведка и охрана недр*. 2011. № 12. С. 48–51.
11. Слабунов А. И. Геология и геодинамика архейских подвижных поясов (на примере Беломорской провинции Фенноскандинавского щита). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008. 296 с.
12. Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления. Под ред. Н. В. Шарова Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 353 с.
13. Соколов В. А. Геология Карелии. Л.: Наука, 1987. 231 с.
14. Koistinen T., Stephens M. B., Bogatchev V. et al. Geological map of the Fennoscandian Shield, scale 1:2 000 000. Trondheim: Geological Survey of Norway, Uppsala: Geological Survey of Sweden, Moscow: Ministry of Natural Resources of Russia, Espoo: Geological Survey of Finland. 2001.
15. Lahtinen R. Main geological features of Fennoscandia // *Geol. Surv. Finl.* 2012. Vol. 53. P. 13–18.
16. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы. Под ред. Н. В. Шарова, А. А. Маловичко, Ю. К. Щукин. Кн. 1: Землетрясения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 381 с.
17. Зуева И. А., Лебедев А. А. Характерные черты сейсмических записей промышленных взрывов на Костомукшском железорудном месторождении по данным станций Карельской сети // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2017. № 2. С. 133–141.
18. Асминг В. Э. Программный комплекс для автоматизированной обработки сейсмических записей "EL" // *Приборы и методика геофизического эксперимента*. Мурманск: МИП-999, 1997. С. 125–132.
19. Асминг В. Э. Создание программного комплекса для автоматизации детектирования, локации и интерпретации сейсмических событий и его использование для изучения сейсмичности Северо-Западного региона: автореф. дисс. ... кан. физ.-мат. наук. Москва, ИДГ РАН. 2004. 24 с.
20. Морозов А. Н., Ваганова Н. В., Шаров Н. В., Конечная Я. В., Михайлова Я. А. Современная сейсмичность Беломорского региона. *Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных*: материалы XII Международной сейсмологической школы. Обнинск: ГС РАН, 2017. С. 232–235.
21. The Institute of Seismology of the University of Helsinki Seismic Bulletins [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.seismo.helsinki.fi/english/bulletins/> (дата обращения 02.03.2023)
22. Литвиненко И. В., Анкудинов С. А., Гаврилов И. А., Дворецкая Л. М., Кальнин К. А., Матвеева Н. Н., Платоненкова Л. Н., Романенко Н. Г. Глубинный разрез земной коры центральной Карелии и его сейсмическая модель // *Зан. ЛГИ*. 1981. Т. 89. С. 12–17.
23. Luosto U., Tiira T., Korhonen H., Azbel I., Burmin V., Buyanov A., Kosminskay I., Ionlis V., Sharov N. Crust and upper mantle structure along the DSS Baltic profile in SE Finland // *Geophysical Journal International*. 1990. Vol. 101. I. 1. P. 89–110. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1990.tb00760.x>
24. Литвиненко И. В., Анкудинов С. А., Дворецкая Л. М., Кальнин К. А., Платоненкова Л. Н., Романенко Н. Г., Суворова Н. И., Яковлева В. В. Глубинный сейсмический разрез земной коры Приладожья и юго-западной Карелии // *Зан. ЛГИ*. 1982. Т. 92. С. 3–9.

Зуева Ирина Александровна, мл.н.с., Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Российская Федерация; e-mail: ek92wa@mail.ru; ORCID 0000-0001-5952-9302

Лебедев Артем Анатольевич, мл.н.с., Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия; e-mail: stayxalert@gmail.com; ORCID 0000-0002-7849-9337

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Irina A. Zueva, Junior Researcher, Institute of Geology KRC RAS, Petrozavodsk, Russian Federation; e-mail: ek92wa@mail.ru; ORCID 0000-0001-5952-9302

Artyom A. Lebedev, Junior Researcher, Institute of Geology KRC RAS, Petrozavodsk, Russian Federation; e-mail: stayxalert@gmail.com; ORCID 0000-0002-7849-9337

Authors have read and approved the final manuscript.

One-dimensional velocity models of the earth's crust for determining the parameters of seismic events recorded on the territory of Karelia

© 2023 I. A. Zueva , A. A. Lebedev

*Institute of Geology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy
of Sciences, 11 Pushkinskaya st., 185910, Russian Federation*

Abstract

Introduction or Purpose: The territory of Karelia is located in the southeast of the Fennoscandian shield and has a complex geological structure and is represented by three geoblocks: the Karelian craton, the White Sea mobile belt and the Svecofennian orogen. These areas differ from each other in the geological structure, age and composition of their constituent complexes. The Republic of Karelia is characterized by weak seismicity. During the instrumental period of observations, the magnitudes of seismic events did not exceed 3.2. The choice of a velocity model is an important task in determining the parameters of weak seismic events.

Methodology: To study the seismic regime of the region, a seismological network was created, the stations of which are located in different regions of the republic. Seismic stations are equipped with digital broadband equipment that registers various kinds of earthquakes. Seismic data processing is carried out in the ELRESS program. It allows you to determine the time in the source, the error in determining the time of occurrence, the coordinates of the epicenter, the error in determining the epicenter in latitude and longitude and the local magnitude.

Results and discussion: The values of the main parameters of seismic events, which are obtained during processing, depend on the used one-dimensional velocity models. The base velocity models are: IASPEI-91 and AK-135. The article presents one-dimensional velocity models that are used to determine the coordinates of the hypocenters of seismic events recorded on the territory of Karelia.

Conclusion: It is shown that for the northern regions of Karelia it is necessary to use the BARENTS velocity model, for the southwestern regions – the BALTIC velocity model, and for the central regions of Karelia – the KARELIA velocity model.

Keywords: one-dimensional velocity model, seismic station, explosion, hypocenter, epicenter, travel time, velocity.

Funding: The study was supported by the Russian Science Foundation, grant no. 23-27-10002, <https://rscf.ru/en/project/23-27-10002/>

For citation: Zueva I. A., Lebedev A. A. One-dimensional velocity models of the earth's crust for determining the parameters of seismic events recorded on the territory of Karelia // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya –Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2023, no. 3, pp. 100–108. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/3/100-108>

Conflict of interests: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

 Irina A. Zueva, e-mail: ek92wa@mail.ru

REFERENCES

- Kennett B. L. N., Engdahl E. R. Travel times for global earthquake location and phase identification. *Geophys. J. Int.*, 1991, vol. 105, pp. 429–466. DOI: 10.1111/j.1365-246X.1991.tb06724.x
- Kennett B. L. N., Engdahl E. R., Buland R. Constraints on seismic velocities in the Earth from traveltimes. *Geophys. J. Int.*, 1995, vol. 122, pp. 108–124. DOI: 10.1111/j.1365-246X.1995.tb03540.x
- Vzryvy i zemletryaseniya na territorii Evropejskoj chasti Rossii [Explosions and earthquakes in the European part of Russia]. (Ed.) V. V. Adushkin., A. A. Malovichko. Moscow, GEOS publ., 2013, 384 p. (In Russ.)
- Sanina I. A., Nesterkina M. A., Konstantinovskaya N. L., Kulikov V. I., Volosov S. G., Nadezhka L. I., Dubyansky A. I., Safronich I. N., Pivovarov S. P. Skorostnaya model' i osobennosti zapisej vzryvov iz Yelec-Lipeckoj zony [Velocity model and features of records of explosions from the Yelets-Lipetsk zone]. *Geologicheskie opasnosti: materialy of XV All-Russian conference with international participation [Geological hazards]*. Arkhangelsk, IEP ANC UBo RAN publ., 2009, pp. 396–400 (In Russ.)
- Glaznev V. N. *Kompleksnye geofizicheskie modeli litosfery Fennoskandii* [Complex geophysical models of the lithosphere of Fennoscandia]. Apatity, "KaeM" publ., 2003, 252 p. (In Russ.)
- Mints M.V., Glaznev V.N., Muravina O.M., Sokolova E.Yu. 3D model of Svecofennian Accretionary Orogen and Karelia Craton based on geology, reflection seismics, magnetotellurics and density modelling: Geodynamic speculations. *Geoscience Frontiers*, 2020, vol. 11, I. 3, pp. 999–1023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2019.10.003>
- Kremenetskaya E., Asming V., Ringdal F. Seismic Location Calibration of the European Arctic. *Pure and applied geophysics*, 2001, vol. 158, pp. 117–128. DOI: 10.1007/PL0001151
- Hicks E. C., Kværna T., Mykkeltveit S., Schweitzer J., Ringdal F. Travel times and attenuation relations for regional phases in the Barents Sea region. *Pure and applied geophysics*, 2004, vol. 161, I. 1, pp. 1–19. DOI: 10.1007/s00024-003-2437-6
- Kolehmainen K. O., Heinenen S., Komminaho K., Tiira T., Veikkolainen T. Seismic velocity models based on wide-angle refraction and reflection profiles in Finland. Helsinki: Institute of Seismology, University of Helsinki, 2022, no. T-107, 24 p.
- Morozov A. N., Vaganova N. V. Godografy sejsmicheskikh voln dlya Severa Russkoj plity po dannym Arhangel'skoj sejsmicheskoy seti [Seismic wave hodographs for the North of the Russian Plate according to the data of the Arkhangelsk seismic network]. *Razvedka i ohrana nedr – Exploration and protection of mineral resources*, 2011, no. 12, pp. 48–51 (In Russ.)
- Slabunov A. I. *Geologiya i geodinamika arhejskih podvizhnyh poyasov (na primere Belomorskoj provincii Fennoskandinavskogo shchita)* [Geology and geodynamics of the Archean mobile belts (on the example of the White Sea province of the Fennoscandian shield)]. Petrozavodsk, Karelian Scientific Center of the RAN publ., 2008, 296 p. (In Russ.)
- Glubinnoe stroenie i sejsmichnost' Karelskogo regiona i ego obramleniya [Deep structure and seismicity of the Karelian region and its framing]. Ed. N. V. Sharov. Petrozavodsk, KarSC RAN publ., 2004, 353 p. (In Russ.)
- Sokolov V. A. *Geologiya Karelii* [Geology of Karelia]. Leningrad, Nauka publ., 1987, 231 p. (In Russ.)
- Koistinen T., Stephens M. B., Bogatchev V., Nordgulen O., Wennerström M. and Korhonen J., 2001. Geological Map of the Fennoscandian Shield, scale 1:2000000. Geological Surveys of Finland, Norway and Sweden and the North-West Department of Natural Resources of Russia.
- Lahtinen R. Main geological features of Fennoscandia. *Geol. Surv. Finl.*, 2012, vol. 53, pp. 13–18.
- Zemletryaseniya i mikrozejsmichnost' v zadachah sovremennoj geodinamiki Vostochno-Evropejskoj platformy [Earthquakes and Microseismicity in Problems of Modern Geodynamics of the East European Platform. Book. 1: Earthquakes]. Ed. N. V. Sharov, A. A. Malovichko, Yu. K. Schukin. Petrozavodsk, Karelian Scientific Center of the RAN publ., 2007, 381 p. (In Russ.)
- Zueva I. A., Lebedev A. A. Harakternye cherty sejsmicheskikh zapisej promyshlennykh vzryvov na Kostomukshskom zhelezorudnom mestorozhdenii po dannym stancij Karelskoj seti [Characteristic features of seismic records of industrial explosions at the Kostomuksha iron ore deposit according to the data of the stations of the Karelian network] *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Series: Geology*, 2017, no. 2, pp. 133–141 (In Russ.)
- Asming V. E. Software package for automated processing of seismic records "EL" [Software complex for automated processing of seismic records "EL"] *Pribory i metodika geofizicheskogo eksperimenta – Instruments and methods of geophysical experiment*. Murmansk, MIP-999 publ., 1997, pp. 125–132 (In Russ.)
- Asming V. E. Sozdanie programmno kompleksa dlya avtomatizacii detektirovaniya, lokacii i interpretacii sejsmicheskikh sobytij i ego ispol'zovanie dlya izucheniya sejsmichnosti Severo-Zapadnogo regiona: avtoref. diss. ... kan. fiz.-mat. nauk [Creation of a software package for automating the detection, location and interpretation of seismic events and its use for studying the seismicity of the North-West region. Abstract of PhD. diss.]. Moscow, IDG RAN publ., 2004, 24 p.
- Morozov A. N., Vaganova N. V., Sharov N. V., Konechnaya Ya. V., Mikhailova Ya. A. Sovremennaya sejsmichnost' Belomorskogo regiona [Modern seismicity of the White Sea region]. *Sovremennyye metody obrabotki i interpretacii sejsmologicheskikh dannyh: materialy of the XII International Seismological School [Modern methods of processing and interpretation of seismological data]*. Obninsk, GS RAN publ., 2017, pp. 232–235 (In Russ.)
- The Institute of Seismology of the University of Helsinki. Seismic Bulletins. Available at: <http://www.seismo.helsinki.fi/english/bulletins/> (accessed 02.03.2023)
- Litvinenko I. V., Ankudinov S. A., Gavrilov I. A., Dvoret'skaya L. M., Kalnin K. A., Matveeva N. N., Platonenkova L. N., Romanenko N. G. Glubinnyj razrez zemnoj kory central'noj Karelii i ego sejsmicheskaya model' [Deep section of the earth's crust in central Karelia and its seismic model]. *Zapiski Leningradskogo gornogo instituta – Notes of the Leningrad Mining Institute*, 1981, vol. 89, pp. 12–17 (In Russ.)
- Luosto U., Tiira T., Korhonen H., Azbel I., Burmin V., Buyanov A., Kosminskay I., Ionlis V., Sharov N. Crust and upper mantle structure along the DSS Baltic profile in SE Finland. *Geophysical Journal International*, 1990, vol. 101, I. 1, pp. 89–110. DOI: 10.1111/j.1365-246X.1990.tb00760.x
- Litvinenko I. V., Ankudinov S. A., Dvoret'skaya L. M., Kalnin K. A., Platonenkova L. N., Romanenko N. G., Suvorova N. I., Yakovleva V. V. Glubinnyj sejsmicheskij razrez zemnoj kory Priladozh'ya i yugo-zapadnoj Karelii [Deep seismic section of the earth's crust near Ladoga and southwestern Karelia]. *Zapiski Leningradskogo gornogo instituta – Notes of the Leningrad Mining Institute*, 1982, vol. 92, pp. 3–9 (In Russ.)