

УДК 550.34.06

Уточнение скоростного разреза осадочной толщи методом Накамуры на новых сейсмических станциях ИДГ РАН

© 2020 г. С.А. Тарасов, А.Г. Гоев, С.Г. Волосов, Э.М. Горбунова, Г.Н. Иванченко, С.А. Королёв

ИДГ РАН, г. Москва, Россия

Аннотация. Представлены результаты исследований верхней части осадочного чехла центральной части Восточно-Европейской платформы (ВЕП) по данным новой сети широкополосных сейсмических станций ИДГ РАН. Используя записи сейсмического шума для каждой станции, были рассчитаны доминирующие частотные пики методом Накамуры. Для станций «Михнево» и «Шатура», опираясь на данные глубокого бурения, установлено, что резонансный пик отвечает границе верхнедевонских – нижнекаменноугольных отложений. Полученные результаты позволяют проследить залегание указанной границы по всем станциям сети субширотного профиля, проходящего вдоль коллизионной зоны ВЕП.

Ключевые слова: спектральное отношение H/V , Восточно-Европейская платформа, метод функций приёмника, метод Накамуры.

Для цитирования: Тарасов С.А., Гоев А.Г., Волосов С.Г., Горбунова Э.М., Иванченко Г.Н., Королёв С.А. Уточнение скоростного разреза осадочной толщи методом Накамуры на новых сейсмических станциях ИДГ РАН // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 4. – С. 43–50. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.4.04>

Введение

В последние десятилетия, в связи с качественным улучшением инструментальных возможностей, возрос интерес к расширению сведений о строении и тектонических процессах, протекающих в литосфере и мантии платформенных территорий. В 2017 г. в рамках проекта по исследованию глубинного строения центральной части Восточно-Европейской платформы сотрудниками ИДГ РАН был установлен субширотный сейсмический профиль протяжённостью порядка 500 км, включающий в себя новые станции – «Александровка», «Шатура», «Воскресенск», «Монаково», а также стационарные станции «Обнинск» и «Михнево» (рис. 1) [Гоев и др., 2020]. Выбор местоположения станций обусловлен необходимостью получения сведений о строении микроконтинентов Сарматии и Волго-Уралии, а также коллизионной зоны тройного сочленения мегаблоков [Глубинное ..., 2010; Санина и др., 2014]. Все пункты регистрации оборудованы широкополосными трёхкомпонентными датчиками (табл. 1). Регистрация велась сейсмо-

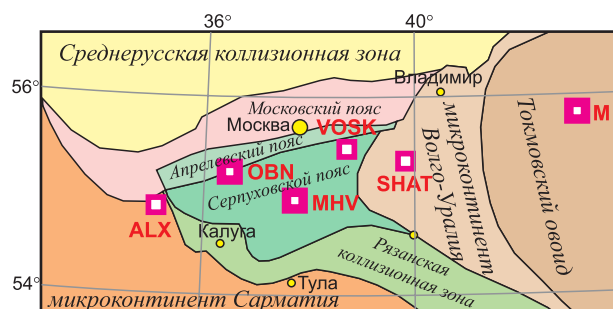


Рис. 1. Тектоническая схема строения центральной части ВЕП (по [Глубинное ..., 2010]) с указанием положения установленных широкополосных станций сети

станциями RefTek 130 с частотой опроса 100 Гц. При решении задач восстановления глубинного строения Земли важную роль играют начальное приближение и априорная информация. Однако, несмотря на обширную геологическую изученность верхней части Московской синеклизы, детальные характеристики осадочной толщи в пунктах регистрации обычно отсутствуют или основываются на интерполяции данных удалённых глубоких скважин и отработанных

профилей КМПВ [Костюченко и др., 2001]. Вместе с тем мощность осадочного слоя в районе изучения непостоянна и составляет в среднем 1.5 км.

Имея в распоряжении данные одиночных станций, практически единственным способом решения задач восстановления глубинной скоростной структуры является метод функций приёмника [Винник, Косарев, 1981]. Его суть состоит в использовании обменных и кратных волн от контрастных сейсмических границ. Влияние контрастного осадочного чехла на интерпретируемую функцию приёмника показано на синтетических расчётах (рис. 2) на базе стандартной модели IASP91 [IASPEI ..., 1991]. В каче-

стве падающей волны была использована волна, наблюденная на станции «Монаково» [Гоев и др., 2018]. Резкие контрастные границы с высоким отношением V_p/V_s , наличие которых характерно для осадочного слоя, формируют обменные и кратные волны с амплитудами, существенно превосходящими целевые фазы от глубинных слоёв. Это приводит к существенному искажению волновой картины и возможным ошибкам и неоднозначностям при решении обратной задачи. Для уточнения скоростного разреза, в частности, поиска контрастной границы, к данным каждой из анализируемых сейсмостанций был применён метод Накамуры [Nakamura, 1989].

Таблица 1. Характеристики используемых сейсмических станций

№	Сейсмическая станция		Дата установки	Дата закрытия	Координаты станции		Тип сейсмодатчика
	название	код			φ, °N	λ, °E	
1	Александровка	ALX	май 2017 г.	по н. в.	54.89	35.01	RefTek 151-60
2	Обнинск	OBN	май 1967 г.	по н. в.	55.11	36.57	STS-2
3	Михнево	MHV	июль 2004 г.	по н. в.	54.57	37.46	STS-2
4	Воскресенск	VOSK	июнь 2017 г.	по н. в.	55.21	38.88	RefTek 151-60
5	Шатура	SHAT	июнь 2017 г.	по н. в.	55.21	39.97	RefTek 151-60
6	Монаково	М	май 2011 г.	сентябрь 2014 г.	55.76	42.30	RefTek 151-60

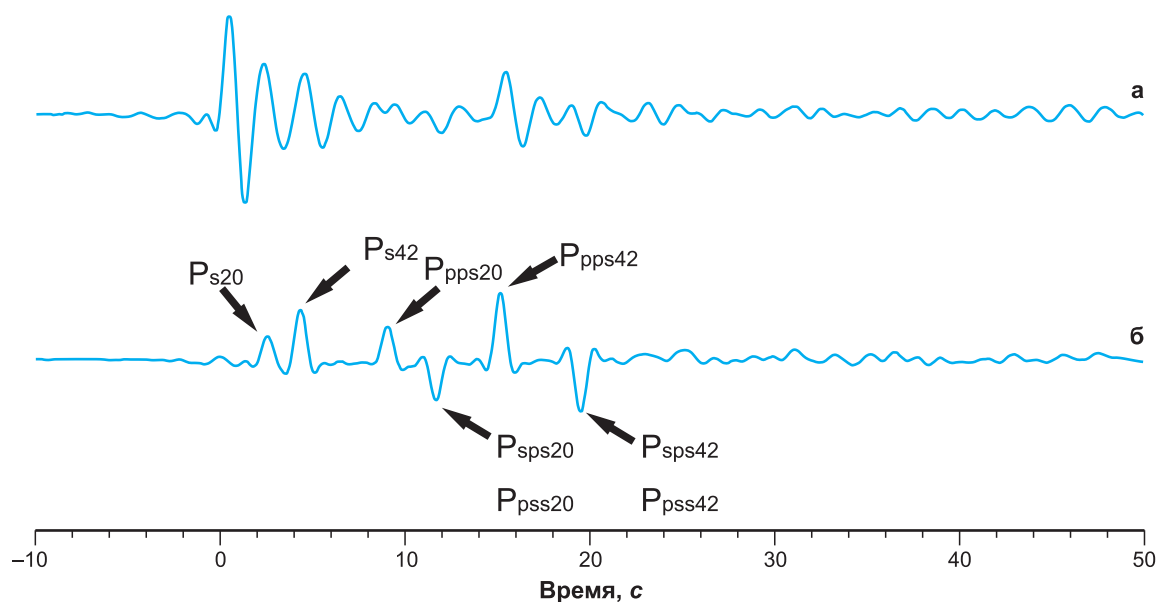


Рис. 2. Синтетическая функция приёмника, восстановленная по средней скоростной модели Земли IASP91 с шагом 1 км до глубины 300 км с добавлением осадочного слоя мощностью 0.5 км, с отношением $V_p/V_s=3$ и $V_s=1$ (а). Синтетическая функция приёмника, восстановленная по модели IASP91 без добавления осадочного слоя (б).

Модель IASP91 содержит в земной коре две контрастные сейсмические границы. В расчётах использовалась граница на глубине 20 км и уточнённая для рассматриваемого района ВЭП – 42 км. Для трассы (б) целевые волны от модельных контрастных границ безошибочно интерпретируются (выделяются), тогда как трасса (а) радикально зашумлена

Метод исследования, исходные данные и результаты

Одним из широко распространённых методов, позволяющих по сейсмическим данным оценить динамические характеристики верхней части разреза под станцией, является метод Накамуры [Nakamura, 1989]. Он основывается на использовании отношения спектральных амплитуд горизонтальных и вертикальных компонент (H/V отношения) записей микросейсмических колебаний, которые формируются преимущественно поверхностными волнами различного генезиса. Метод широко используется для определения «собственной частоты» места, в котором установлена сейсмостанция. Эта информация важна, так как при совпадении частоты сигнала от удалённого сейсмического события (например, землетрясения) с «собственной частотой» места установки или здания возникающий резонанс может многократно усилить сейсмическое воздействие [Isburhan et al., 2019]. Кроме того, «собственная частота» может усиливать нежелательные сигналы при проведении различных исследований, и этот фактор необходимо учитывать при дальнейшей обработке записей.

Однако в работе [Read et al., 2008] показано, что доминирующие частоты также связаны с контрастными сейсмическими границами под регистратором, залегающими на относительно небольших глубинах (обычно порядок составляет сотни метров). Уравнение, связывающее пик

отношений спектров со скоростью распространения поперечной волны и глубиной, имеет вид:

$$F_0 = V_s / (4h), \quad (1)$$

где F_0 – частота доминирующего пика ($\Gamma\text{ц}$), V_s – скорость поперечной волны (м/с), h – расстояние до характерной границы (м). Из этой формулы получим:

$$h = V_s / (4F_0). \quad (2)$$

Для расчёта спектров отношений H/V были взяты 30-минутные широкополосные записи шумов, зарегистрированные на протяжении примерно одного года в ночное время. Для всех станций сети были рассчитаны спектры отношений H/V и выявлены характерные доминирующие пики (рис. 3). Стоит отметить, что сезонные изменения распространения скорости поперечных волн в самой верхней части разреза связаны с такими факторами, как промерзание или обводнение грунта, что ведёт за собой, соответственно, увеличение или уменьшение скорости. В связи с отсутствием детальных наблюдений за положением уровня обводнённости или промерзания почв были построены усреднённые спектры H/V отношений за весь период наблюдений, по которым и была выявлена доминирующая частота. Для станций «Александровка» и «Обнинск» доминирующий пик располагается на частоте $0.9 \Gamma\text{ц}$, для станции «Михнево» – $0.7 \Gamma\text{ц}$, для станции «Воскресенск» – пик

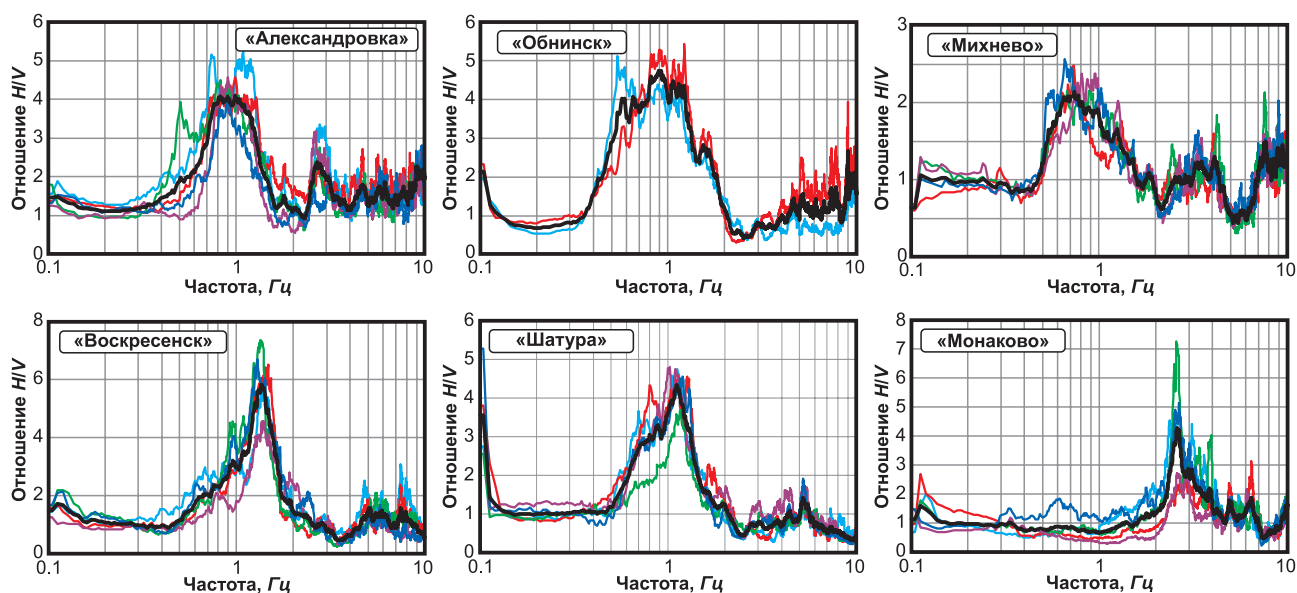


Рис. 3. Спектральные отношения H/V по всем станциям сети.

Цветными линиями представлены спектральные отношения шума в разное время года в ночное время: синим и голубым – зима, зелёным – весна, красным – лето, фиолетовым – осень. Чёрной линией показан усреднённый спектр

спектрального отношения оценивается в 1.4 Гц, «Шатура» – 1.25 Гц, «Монаково» – 2.8 Гц.

Обсуждение результатов

Пункт регистрации «Шатура» установлен на расстоянии 9 км юго-западнее скважины «Озеро Белое», пробуренной на минеральные воды до глубины 1040 м (табл. 2). Сопоставляя геологический разрез со скоростными характеристиками пород [Наука о Земле, 1969], средняя скорость поперечных волн под станцией опреде-

лена как $V_s=2$ м/с. Применяя полученные значения скорости и частоты доминирующего пика к уравнению (2), определяем глубину залегания контрастной сейсмической границы, равной 400 м. Данное значение соответствует характерной стратиграфической границе девон-карбон с присущей сменой литолого-фациального состава, а именно сменой переслаивания глин и известняков на доломиты, которая характеризуется изменением скорости распространения поперечных волн в приповерхностном слое. Также для станций «Михнево» и «Обнинск», на

Таблица 2. Литологическая колонка по скважине «Озеро Белое»

№ слоя	Геологический индекс	Литологическое описание пород	Залегание слоя, м		Мощность слоя, м
			от	до	
1	Q	Пески разнородные с прослоями суглинков	0	20	20
2	K1	Пески мелкие, местами сцементированные	20	30	10
3	J3	Глины тёмно-серые, чёрные, песчаные	30	72	42
4	C3ksm	Известняки, доломиты трещиноватые с прослоями глин и мергелей	72	120	48
5	C2pd-mce	Известняки, доломиты трещиноватые различной плотности с редкими прослоями глин и мергелей, участками окремнённые	120	210	90
6	C2k	Известняки трещиноватые с прослоями красноцветных глин, мергелей и доломитов	210	254	44
7	C2vr	Глины пестроцветные	254	274	20
8	C1ok-sr	Известняки, доломиты трещиноватые с прослоями глин и мергелей, участками окремнённые	274	350	76
9	C1tl	Переслаивание глин, алевролитов и песков с прослойками известняков	350	390	40
10	C1ml-up	Глины, известняки	390	401.5	10.5
11	D3oz-hv-pl	Доломиты глинистые с прослоями известняков доломитизированных	401.5	444	42.5
12	D3d-lb	Доломиты глинистые с прослоями известняков доломитизированных, мергелей с включениями гипса и ангидрида	444	562	118
13	D3el-zd	Известняки, доломиты трещиноватые с прослоями глин и мергелей, участками окремнённые	562	634	72
14	D3ev-lv	Известняки органогенные, плотные, пористые, глинистые с прослоями плотных глин, мергелей и доломитов	634	724	90
15	D3ev-lv	Переслаивание зеленовато-коричневых серых глин, известняков и мергелей	724	780	56
16	D3br	Глина плотная с прослойками мергелей и известняка	780	808	28
17	D3sm	Чередование известняков, мергелей и глин	808	840	32
18	D3tm	В верхней части – доломитизированные известняки, в нижней – чередование известняков, мергелей и глин	840	910	70
19	D3st	Чередование песков, песчаников, алевролитов, алевролитов и глин	910	1040	130

базе аналогичных скоростных характеристик, глубина залегания нижнекаменноугольных отложений на размытой поверхности верхнедевонских отложений составила 350 и 555 м соответственно. Основываясь на полученных результатах, можно сделать предположение о приуроченности доминирующих пиков на графиках спектральных отношений именно к этой границе. Исходя из предположения о сходных кинематических характеристиках границы на всех станциях сети, в уравнении (1) были использованы подобные скорости поперечных волн.

Таким образом, для станции «Александровка» исследуемая граница находится на глубине примерно 555 м, «Воскресенск» – 357 м, «Монаково» – 178 м. Определённые глубины залегания границы «девон-карбон» вдоль субширотного профиля представлены на рис. 4. Как показано в работах [Махлина и др., 1993; Родионова и др., 1995], для данной эпохи характерен перерыв осадконакопления в результате поднятия и обмеления морского бассейна с присущими процессами денудации и соответствующей сменной фациального состава пород. В связи с этим и образовалась контрастная геологическая граница в районе изучения. Также прослеживается закономерное уменьшение глубины залегания рассматриваемой границы в восточном направлении, что связано с геологическим строением Московской синеклизы.

Выводы

Исследование было посвящено обнаружению контрастной сейсмической границы в осадочном чехле центральной части ВЕП для включения её в скоростную модель, строящуюся методом функции приёмника. Для этой цели к данным сети широкополосных станций, образующих профиль, проходящий вдоль коллизионной зоны в субширотном направлении, был применён метод

Накамуры. Для всех станций были определены низкочастотные резонансные пики спектральных отношений. Пики были получены по данным, записанным в разное время года, и усреднены для учёта сезонности колебаний положения пика. В результате их анализа было установлено, что для станций «Александровка» и «Обнинск» сейсмическая граница залегает на глубине порядка 555 м, для станции «Михнево» – 350 м, «Воскресенск» – 357 м, «Шатура» – 400 м, «Монаково» – 178 м. По результатам глубокого бурения и известным геологическим данным установлено, что доминирующий пик отношения спектральных амплитуд горизонтальных и вертикальных компонент записей микросейсмических колебаний для данной области, вероятно, характеризует границу верхнедевонских – нижнекаменноугольных отложений, сформировавшуюся вследствие перерыва осадконакопления в этот период.

Работа выполнена в соответствии с темой НИР № АААА-А19-119022090015-6 и при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-05-00733 А).

Литература

Винник Л.П., Косарев Г.Л. Определение параметров коры по наблюдениям телсейсмических объёмных волн // Доклады Академии наук. – 1981. – Т. 261, № 5. – С. 1091–1095.

Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: Интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и ТАТСЕЙС. – М.: ГЕОКАРТ, ГЕОС, 2010. – Вып. 4, Т. 1. – 408 с. – Т. 2. – 400 с.

Говв А.Г., Волосов С.Г., Санина И.А., Константиновская Н.Л., Нестеркина М.А. Регистрационные возможности временной сейсмологической сети ИДГ РАН на ВЕП // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 2. – С. 84–90.

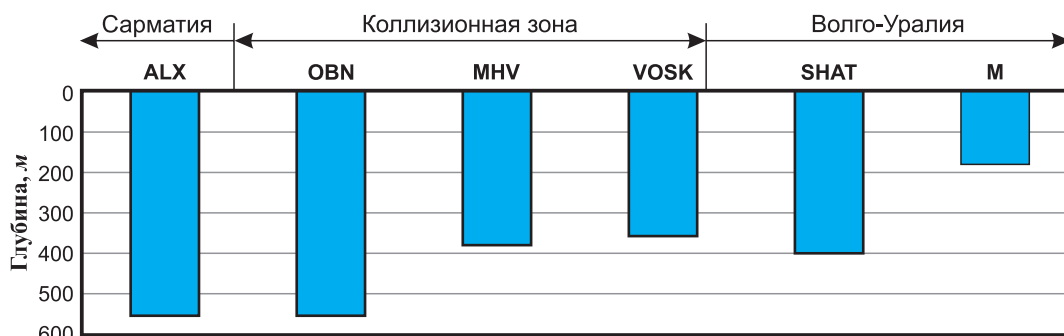


Рис. 4. Глубины залегания границы «девон–карбон» с указанием границ мегаблоков [Глубинное ..., 2010] вдоль профиля

Гоев А.Г., Косарев Г.Л., Ризниченко О.Ю., Санина И.А. Скоростная модель западной части Волго-Уралии методом функции приёмника // Физика Земли. – 2018. – № 6. – С. 154–169.

Костюченко С.Л., Солодилов Л.Н., Ясюлевич Н.Н. и др. Отчёт «Составление структурно-геодинамической карты территории Восточно-Европейской платформы для целей минерагенического-го прогноза». – М.: Центр ГЕОН, 2001. – 136 с.

Махлина М.Х., Вдовенко М.В., Алексеев А.С. и др. Нижний карбон Московской синеклизы и Воронежской антеклизы. – М.: Наука, 1993. – 221 с.

Наука о Земле. Т. 21: Справочник физических констант горных пород. – М.: Мир, 1969. – 543 с.

Родионова Т.Д., Умнова Т.В., Кононова Л.И. и др. Девон Воронежской антеклизы и Московской синеклизы. – М.: Росгеолфонд, 1995. – 265 с.

Санина И.А., Королёв С.А., Косарев Г.Л., Ризниченко О.Ю. Строение литосферы в зоне сочленения мегаблоков Восточно-Европейской платформы по

данным функции приёмника // Доклады Академии наук. – 2014. – Т. 456, № 3. – С. 338–341.

IASPEI 1991 Seismological Tables / Ed. B.L.N. Kennet. – Canberra: Research School of Earth Sciences Australian National University, 1991. – 167 p.

Isburhan R.W.P., Nuraeni G., Ry R.V., Yudistira T., Cipta A., Cummins P. Horizontal-to-vertical spectral ratio (HVSr) method for earthquake risk determination of Jakarta City with microtremor data // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2019. – V. 318, N 1. – P. 012033.

Nakamura Y. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface // Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports. – 1989. – V. 30, N 1. – P. 25–30.

Read K., El Naggat H., Eaton D. Site-response spectra for POLARIS station sites in southern Ontario and Quebec // Seismological Research Letters. – 2008. – V. 79, N 6. – P. 776–784.

Сведения об авторах

Тарасов Станислав Андреевич, мл. науч. сотр. Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер Российской академии наук (ИДГ РАН), г. Москва, Россия. E-mail: tarasovidgran@mail.ru

Гоев Андрей Георгиевич, науч. сотр. ИДГ РАН, г. Москва, Россия. E-mail: andr.goev@gmail.com

Волосов Сергей Георгиевич, ст. науч. сотр. ИДГ РАН, г. Москва, Россия. E-mail: volosovc@mail.ru

Горбунова Элла Михайловна, канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. ИДГ РАН, г. Москва, Россия. E-mail: emgorbunova@bk.ru

Иванченко Галина Николаевна, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. ИДГ РАН, г. Москва, Россия. E-mail: ivanchenko@idg.chph.ras.ru

Королёв Сергей Анатольевич, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. ИДГ РАН, г. Москва, Россия. E-mail: sakorolyov@bk.ru

Refinement of the velocity section sedimentary stratum by the Nakamura method at new seismic stations of the IDG RAS

© 2020 S.A. Tarasov, A.G. Goev, S.G. Volosov, E.M. Gorbunova,
G.N. Ivanchenko, S.A. Korolev

IDG RAS, Moscow, Russia

Abstract In 2017, as part of a project to study the deep structure of the central part of the East European platform, IDG RAS staff installed a sub latitudinal seismic profile of about 500 km in length, consisting of six stations. To successfully solve the problem of restoring a deep velocity section, the fullest possible information is needed on the velocity characteristics of the sedimentary sequence and, in particular, the first 0.5-1 km. Despite the considerable knowledge of the geological structure of the Moscow syncline, information about its speed structure is based on interpolation and is fragmentary in nature. The paper presents the results of studies of the upper part of the sedimentary cover of the central part of the East European Platform (EEP) according to the data of the new network of broadband seismic stations IDG RAS. Using seismic noise records for each station, the dominant frequency peaks were obtained by the Nakamura method. For the Mikhnevo and Shatura stations, based on the data of deep drilling, it was established that the dominant peak corresponds to the boundary of the Upper Devonian - Lower Carbonian sediments. The obtained results make it possible to trace the occurrence of the indicated boundary along with all stations of the network along with the sublatitudinal profile through the collision zone of the EEP.

Keywords Spectral ratio H/V, East European platform, receiver function method, Nakamura method.

For citation Tarasov, S.A., Goev, A.G., Volosov, S.G., Gorbunova, E.M., Ivanchenko, G.N., & Korolev, S.A. (2020). [Refinement of the velocity section sedimentary stratum by the Nakamura method at new seismic stations of the IDG RAS]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 2(4), 43-50. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.4.04>

References

- Glubinnoe stroenie, evoliutsiia i poleznye iskopaemye rannedokembriiskogo fundamenta Vostochno-Evropeiskoi platformy: Interpretatsiia materialov po opornomu profilii 1-EV, profiliiam 4V i TATSEIS (Vyp. 4, T. 1)* [Deep structure, evolution and minerals of the Early Precambrian foundation East European platform: Interpretation of materials on the basic profile 1-EB, profiles 4B and TATSEYS (Is. 4, Vol. 1)]. (2010). Moscow, Russia: GEOKART, GEOS Publ., 400 p. (In Russ.).
- Goev, A.G., Kosarev, G.L., Riznichenko, O.Yu., & Sanina, I.A. (2018). Velocity model of Western Volgo-Uralia from receiver functions. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, 54(6), 949-963. (In Russ.).
- Goev, A.G., Volosov, S.G., Sanina, I.A., Konstantinovskaya, N.L., & Nesterkina, M.A. (2020). [Registration opportunities of the temporary seismological network of IDG RAS on EEC]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 2(2), 84-90. (In Russ.). doi: 10.35540/2686-7907.2020.2.08
- Isburhan, R.W.P., Nuraeni, G., Ry, R.V., Yudistira, T., Cipta, A., & Cummins, P. (2019). Horizontal-to-vertical spectral ratio (HVSr) method for earthquake risk determination of Jakarta City with microtremor data. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 318, No. 1, p. 012033). IOP Publishing.
- Kennet, B.L.N. (ed.) (1991). *IASPEI 1991 Seismological Tables*. Canberra, Australia: Research School of Earth Sciences Australian National University, 167 p.
- Kostiuchenko, S.L., Solodilov, L.N., et al. (2001). *Otchet "Sostavlenie strukturno-geodinamicheskoi karty territorii Vostochno-Evropeiskoi platformy dlia tselei mineragenicheskogo prognoza"* [Report "Building a structural-geodynamic map of the territory of the East European Craton for the purpose of mineralogical forecast"]. Moscow, Russia: Tsentr GEON Publ. 136 p. (In Russ.).
- Makhlina, M.Kh., Vdovenko, M.V., Alekseev, A.S., et al. (1993). *Nizhnii karbon Moskovskoi sineklizy i Voronezhskoi anteklizy* [Lower Carboniferous of the Moscow syncline and Voronezh anteclise]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 221 p. (In Russ.).
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*, 30(1), 25-30.

Nauka o Zemle. T. 21: Spravochnik fizicheskikh konstant gornyh porod [Earth Science. Vol. XXI: Reference book on physical constants of rocks]. (1969). Moscow, Russia: MIR Publ., 543 p. (In Russ.).

Read, K., El Naggar, H., & Eaton, D. (2008). Site-response spectra for POLARIS station sites in southern Ontario and Quebec. *Seismological Research Letters*, 79(6), 776-784.

Rodionova, T.D., Umnova, T.V., Kononova, L.I., et al. (1995). *Devon Voronezhskoi anteklizy i Moskovskoi sineklizy* [Devonian of the Voronezh anteclise and the Moscow synclise]. Moscow, Russia: Rosgeolfond Publ., 265 p. (In Russ.).

Sanina, I.A., Korolev, S.A., Kosarev, G.L., & Riznichenko, O.Yu. (2014). [Lithospheric structure in the junction zone between megablocks of the East European Craton based on the receiver function data]. *Doklady Earth Sciences*, 456(3), 618-621. (In Russ.).

Vinnik, L.P., & Kosarev, G.L. (1981). [Determination of crustal parameters from observations of teleseismic body waves]. *Doklady Akademii nauk SSSR* [Reports of the USSR Academy of Sciences], 261(5), 1091-1095. (In Russ.).

Information about authors

Tarasov Stanislav Andreyevich, Junior Researcher of the Institute of Geospheres Dynamics of Russian Academy of Sciences (IDG RAS), Moscow, Russia. E-mail: tarasovidgran@mail.ru

Goev Andrey Georgiyevich, Researcher of the IDG RAS, Moscow, Russia. E-mail: andr.goev@gmail.com

Volosov Sergey Georgiyevich, Senior Researcher of the IDG RAS, Moscow, Russia. E-mail: volosovc@mail.ru

Gorbunova Ella Mikhaylovna, PhD, Leading Researcher of the IDG RAS, Moscow, Russia. E-mail: emgorbunova@bk.ru

Ivanchenko Galina Nikolayevna, PhD, Senior Researcher of the IDG RAS, Moscow, Russia. E-mail: ivanchenko@idg.chph.ras.ru

Korolev Sergey Anatol'yevich, PhD, Senior Researcher of the IDG RAS, Moscow, Russia. E-mail: sakorolyov@bk.ru