

СЕВЕР РУССКОЙ ПЛИТЫ

Ф.Н. Юдахин¹, В.И. Французова^{2,3}, Д.Ю. Мехрюшев³¹Архангельский научный центр УрО РАН, г. Архангельск, felix@dvina.ru²Институт экологических проблем Севера УрО РАН, г. Архангельск, vif@atnet.ru³ГС РАН, г. Обнинск, dima@gsras.ru

Анализ сейсмичности Севера Русской платформы публиковался в сборниках «Землетрясения Северной Евразии» за 1995–1997 гг. [1–3] В выпусках Сборника за 1998–2003 гг. анализ не проводился из-за отсутствия местных землетрясений на исследуемой территории в пределах 16-угольника (1. $\varphi=60.8^{\circ}\text{N}$, $\lambda=49.3^{\circ}\text{E}$; 2. $\varphi=60.8^{\circ}$, $\lambda=38.5^{\circ}$; 3. $\varphi=62.6^{\circ}$, $\lambda=37.0^{\circ}$; 4. $\varphi=63.6^{\circ}$, $\lambda=35.9^{\circ}$; 5. $\varphi=65.3^{\circ}$, $\lambda=35.5^{\circ}$; 6. $\varphi=65.8^{\circ}$, $\lambda=35.7^{\circ}$; 7. $\varphi=65.8^{\circ}$, $\lambda=39.0^{\circ}$; 8. $\varphi=66.7^{\circ}$, $\lambda=42.0^{\circ}$; 9. $\varphi=82.0^{\circ}$, $\lambda=42.0^{\circ}$; 10. $\varphi=82.0^{\circ}$, $\lambda=70.0^{\circ}$; 11. $\varphi=68.5^{\circ}$, $\lambda=70.0^{\circ}$; 12. $\varphi=67.0^{\circ}$, $\lambda=62.0^{\circ}$; 13. $\varphi=67.0^{\circ}$, $\lambda=52.0^{\circ}$; 14. $\varphi=65.1^{\circ}$, $\lambda=49.1^{\circ}$; 15. $\varphi=64.8^{\circ}$, $\lambda=50.5^{\circ}$; 16. $\varphi=60.8^{\circ}\text{N}$, $\lambda=49.3^{\circ}\text{E}$), изображенного на рис. 1. Вместе с тем обобщение данных сейсмичности за период 1542–1997 гг. [1] позволило сделать вывод о возможности проявления естественной сейсмичности на Севере Русской плиты, конкретно в Архангельской области.

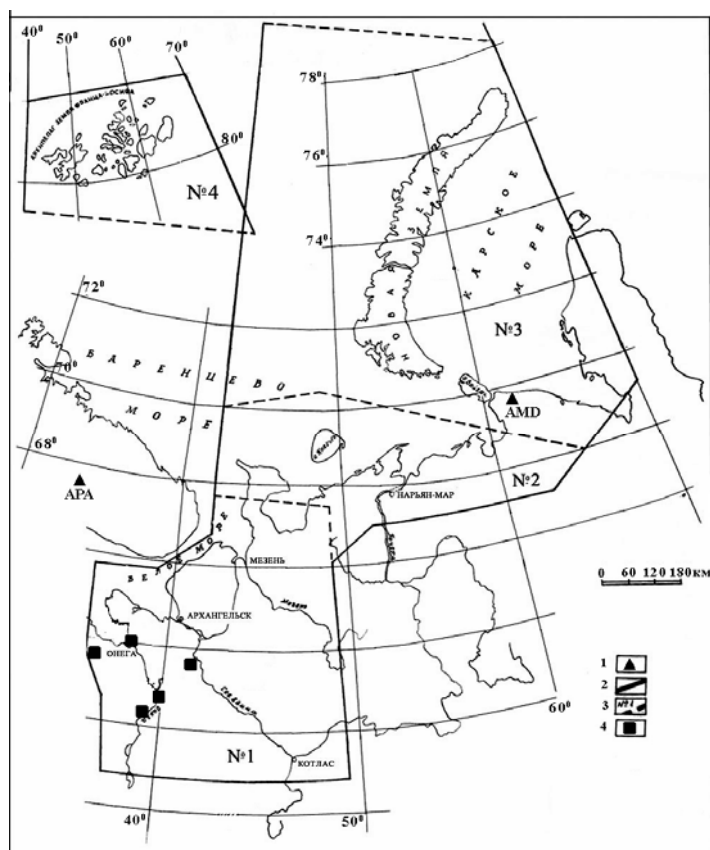


Рис. 1. Границы исследуемой ранее [1–3] территории

Проблема проведения мониторинга естественной сейсмичности на платформах [4, 5], пусть даже слабой, стала в настоящее время актуальной. Кроме того, в Архангельской области, обладающей объектами повышенного экологического риска, такими, как захоронения химических и ядерных отходов, космодром «Плесецк», ядерный полигон «Новая Земля», разработки

твердых (алмазы, бокситы и др.) и жидких (углеводороды) полезных ископаемых [5], существует риск наведенной сейсмичности из-за возрастания на геологическую среду антропогенных (техногенных) нагрузок.

Организация сети сейсмических станций в Архангельской области началась в конце 2002 г. К концу 2003 г. завершился первый этап ее создания запуском в опытную эксплуатацию четырех цифровых станций: «Архангельск» (ARH), «Климовская» (KLM), «Пермогорье» (PRG), «Тамица» (TMC) (рис. 2, табл. 3).

Все станции оснащены аппаратурой типа SDAS разработки НПП «Геотех+» как в широкополосном, так и в короткопериодном вариантах. Широкополосная цифровая сейсмическая станция SDAS, разработанная в ГС РАН, предназначена для проведения региональных и телесеизмических наблюдений в стационарных условиях [6].

Комплект оборудования стационарной цифровой сейсмической станции состоит из следующих блоков и систем:

- блока сбора и выделения сейсмического сигнала (DASS);
- системы точного времени (GPS);
- системы архивации и обработки данных на базе персонального компьютера;
- комплекта сейсмометров CM-3-OC или CM-3-KB;
- системы резервного питания.

Характеристика станций дана в табл. 1, подробные данные о сейсмических станциях Архангельской сети приведены в [7].

Таблица 1. Сейсмические станции Архангельской сети в хронологии их открытия

№	Станция		Дата открытия	Координаты		h_y , м	Тип грунтов в месте установки приборов
	Название	Код		φ° , N	λ° , E		
1	Архангельск Arkhangelsk	ARH	03.11.2002	64°33'029"	40°30'56.2"	23	Рыхлые отложения
2	Климовская Klimovskaya	KLM	25.11.2003	60°51'14"	39°31'07"	157	Валунно-галечниковые отложения, глины, пески
3	Пермогорье Permogor'e	PRG	27.11.2003	61°38'10"	45°37'38"	84	Оргалиты, песчаники, известняки
4	Тамица Tamitsa	TMC	28.11.2003	64°09'51"	38°02'07"	23	Валунно-галечниковые отложения, глины, пески

Службу обработки сейсмических событий ведет Архангельский информационно-обработывающий центр, который начал функционировать в 2004 г. [8]. Сейсмические станции были включены в состав Федеральной сети сейсмических наблюдений Геофизической службы РАН. Обслуживание и обработка сейсмической информации, обучение персонала Архангельской сейсмической службы проводилось при активной поддержке служб ГС РАН.

Параметры сейсмических станций типа SDAS представлены в табл. 2, из которой видно, что регистрируемый параметр – скорость колебаний.

В состав станции входит широкополосный сейсмометр CM-3-OC, имеющий диапазон регистрации 0.02–20 Гц при динамическом диапазоне не менее 120 дБ.

Вид частотных характеристик регистрирующих каналов станций SDAS для короткопериодного и широкополосного исполнения представлен на рис. 3.

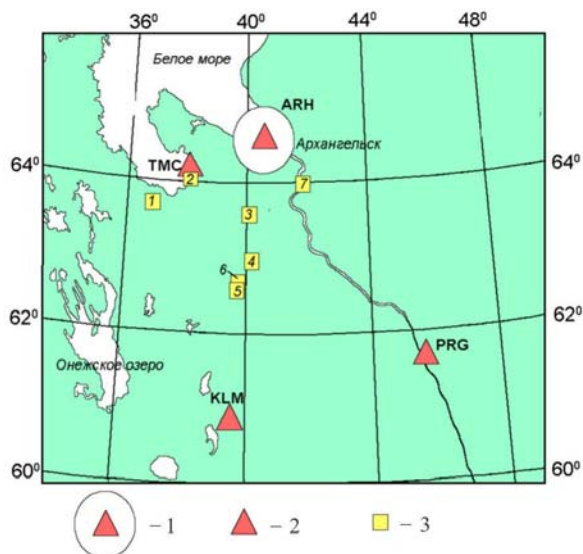


Рис. 2. Расположение сети станций вблизи Архангельска

1 – информационно-обработывающий центр; 2 – действующая цифровая станция; 3 – карьер (1 – ЗОО «Гранит-плюс», 2 – Покровское, 3 – ОАО «Арх. ЦБК», 4 – ОАО «Савинский», 5 – Северо-Онежский, 6 – Северобазальт (Мяндуха) 7 – Орлецы).

Таблица 2. Данные об аппаратуре цифровых станций разработки НПП «Геотех+» в 2004 г.

Станция		Тип АЦП и сейсмометра	Перечень каналов	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса, Гц	Разрядность АЦП	Чувствительность, велосиграф – отсчет/(м/с)
Название	Код						
Климовская Klimovskaia	KLM	SDAS+CM-3-KB	SH(N, E, Z)	0.5–16	40	16	$1.08 \cdot 10^{10}$
		SDAS+CM-3-KB	SL(N, E, Z)	0.5–16	40	16	$3.38 \cdot 10^8$
		SDAS+CM-3-OC	BH(N, E, Z)	0.02–7	20	16	$7.19 \cdot 10^9$
		SDAS+CM-3-OC	BL(N, E, Z)	0.02–7	20	16	$2.24 \cdot 10^8$
Пермогорье Permogor'e	PRG	SDAS+CM-3-KB	SH(N, E, Z)	0.5–16	40	16	$1.09 \cdot 10^{10}$
		SDAS+CM-3-KB	SL(N, E, Z)	0.5–16	40	16	$3.41 \cdot 10^8$
Тамица Tamitsa	TMC	SDAS+CM-3-KB	SH(N, E, Z)	0.5–16	40	16	$1.08 \cdot 10^{10}$
		SDAS+CM-3-KB	SL(N, E, Z)	0.5–16	40	16	$3.36 \cdot 10^8$
Архангельск Arkhangelsk	ARH	SDAS+CM-3-KB	SH(N, E, Z)	0.5–6	20	16	$2.00 \cdot 10^{10}$
		SDAS+CM-3-KB	SL(N, E, Z)	0.5–6	20	16	$2.63 \cdot 10^{10}$

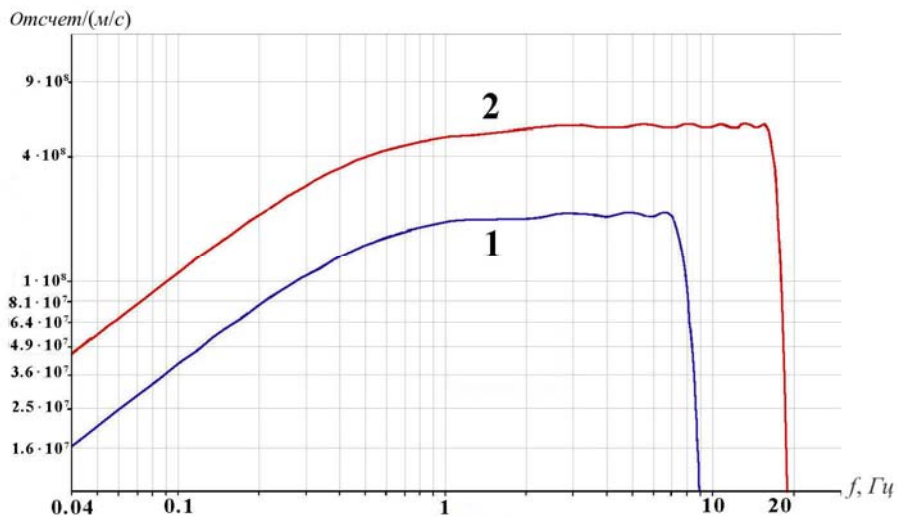


Рис. 3. Частотные характеристики аппаратуры на сейсмических станциях «Архангельск» (1) и «Тамица», «Пермогорье», «Климовская» (2)

Два комплекта сейсмодатчиков, установленных в бункере, и внешний вид короткопериодной станции показаны на рис. 4 а, б. Расположение станции «Климовская» в здании геобиостационара «Ротковец» (Коношский район Архангельской области) представлен на рис. 5.

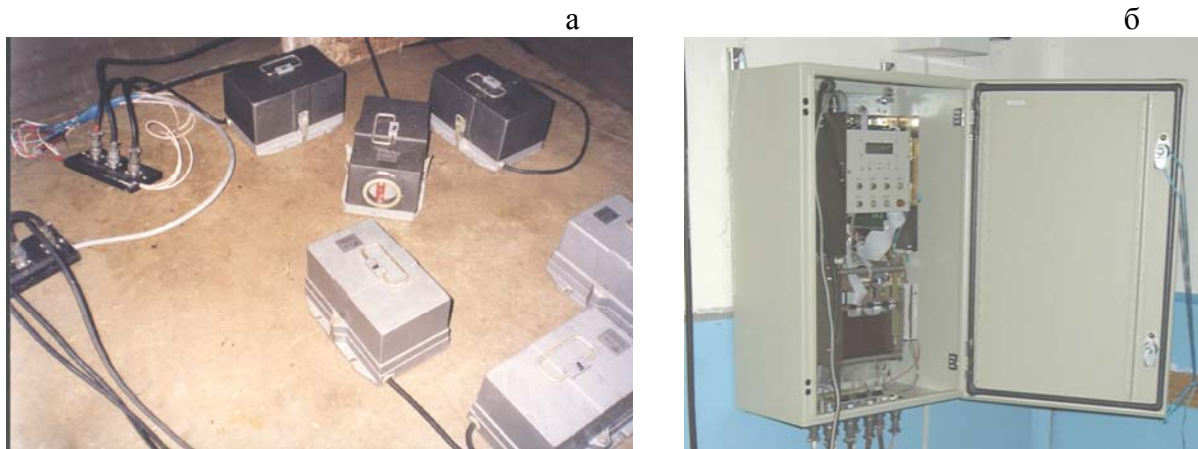


Рис. 4. Размещение сейсмической аппаратуры (короткопериодной, широкополосной) типа SDAS в бункере станции «Климовская» (а) и в здании геобиостационара «Ротковец» (б)

Регистрирующее оборудование SDAS v3.0 выполнено на базе дешевого стандартного процессорного комплекта класса PC, размещенного в пылевлагонепроницаемом корпусе. Оборудование обеспечивает регистрацию сейсмических сигналов в диапазоне 0–30 Гц с динамическим диапазоном не менее 90 дБ. Станция может работать как в автономном режиме, так и с обрабатывающим комплексом. Также возможен удаленный доступ к данным и управление режимами станции по различным коммуникационным каналам и через Интернет. Установка регистрирующего оборудования в отдельных пунктах предварялась рекогносцировочными работами по анализу уровня сейсмического шума в заранее намеченных местах.



Рис. 5. Внешний вид станции «Климовская» в здании геобиостационара «Ротковец» (Коношский район Архангельской области)

Следует отметить, что специфика рассматриваемой части территории Архангельской области заключается в отсутствии, за редким исключением, выходов на поверхность скальных пород, что затрудняет поиск приемлемых (с наименьшим уровнем помех) точек для размещения сейсмической аппаратуры [6]. Кроме того, эта территория характеризуется разветвленной сетью рек и многочисленными озерами, что является также дополнительным природным источником микросейсм.

Для выбора «тихий» точек проводилось предварительное изучение спектров микросейсмического фона в окрестностях предполагаемых мест установки станций.

Методика изучения микросейсмического фона в районе установки сейсмических станций «Архангельск», «Тамица», «Пермогорье», «Климовская» заключалась в оценке его в разных точках предполагаемых пунктов их установки. Так, для станции «Климовская» оценивался уровень помех в четырех точках. Спектры микросейсмического фона в дневное время в указанных точках представлены на рис. 6 (а–г). При сравнении спектров была выявлена наиболее «тихая» точка на мысу (рис. 6 а). Стоит отметить замеченный при этих исследованиях факт резкого увеличения помех внутри здания геобиостационара «Ротковец», что свидетельствует о влиянии на формирование помех отклика здания на внешнее воздействие (рис. 6. г).

Спектры микросейсм в пунктах установки станций «Архангельск», «Пермогорье», «Тамица», «Климовская» для компоненты Z представлены для дневного и ночного времени суток на рис. 7.

При сравнении спектров заметим прежде, что для всех станций уровень помех в низкочастотном диапазоне до 0.1 Гц практически одинаковый, что определяется воздействиями на геологическую среду естественных факторов, таких, как штормы, колебания моря, реки, метео- и космические воздействия, имеющих глобальный характер [9].

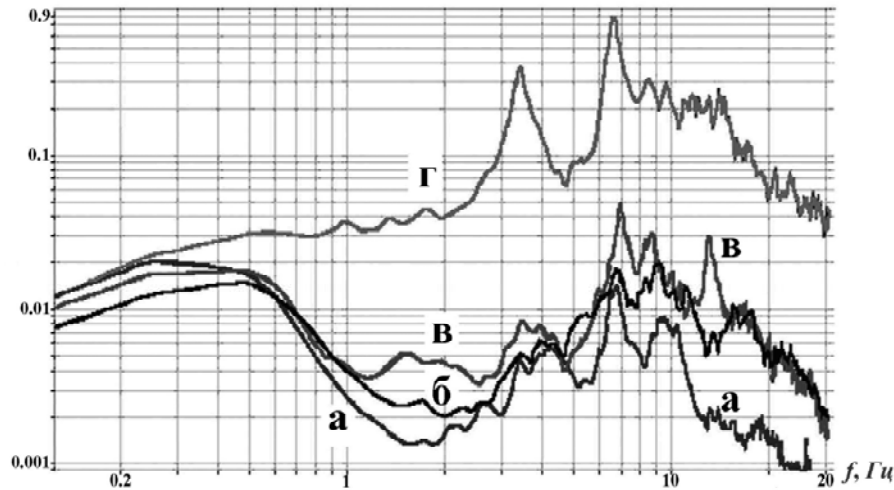


Рис. 6. Спектры микросейсм (Z-компонента), зарегистрированных в разных точках территории сейсмической станции «Климовская»: на мысу (а), на огороде перед зданием геобиостационара «Ротковец» (б), на склоне, недалеко от здания биостационара (в), внутри здания на фундаменте от печи (г)

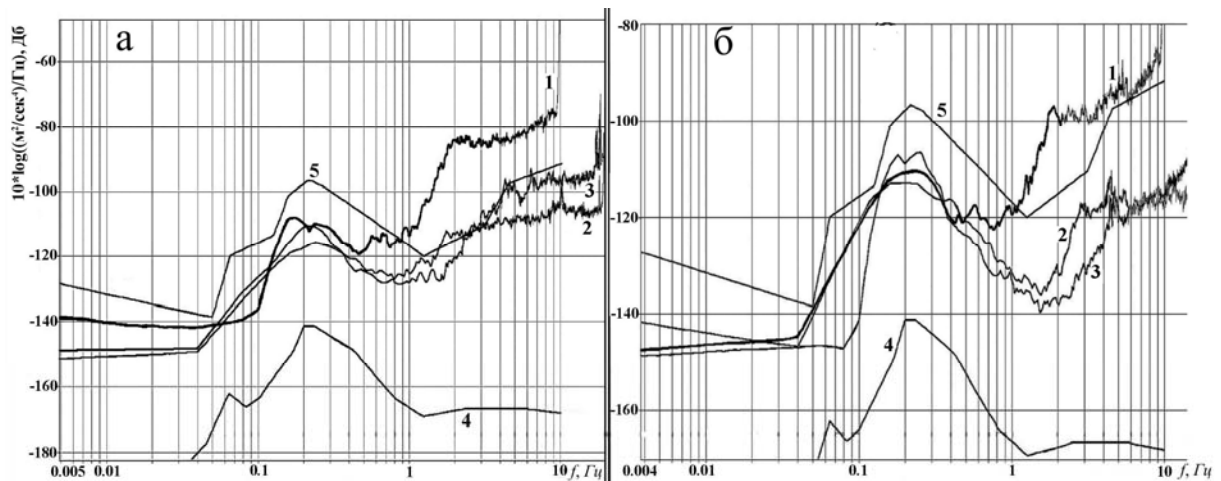


Рис. 7. Сравнение спектров Z-компоненты микросейсмического фона в дневное (а) и ночное (б) время в районах установки сейсмических станций «Архангельск» (1), «Тамица» (2), «Пермогорье» (3), нижней (4) и верхней (5) границ природных шумов [9]

Для частотного диапазона от 0.1–0.5 Гц спектральные кривые для всех станций мало различаются между собой, но близки к верхней границе природных шумов согласно [9]. Для частот $f > 0.5$ Гц микросейсмический фон в окрестностях станций «Пермогорье» и «Тамица», мало различающийся между собой, существенно отличается от фона помех в районе станции «Архангельск» как в ночное, так и в дневное время. Замеченный факт отражает значительно большее по масштабам влияние техногенных факторов на существенно более напряженно-деформированную среду в районе г. Архангельска [10]. Исходя из частотного состава и уровня микросейсм, промеренных в разных точках, выбраны точки с минимально возможным для данного района уровнем помех.

Как следует из проведенного исследования, наиболее «тихая» станция для регистрации локальных сейсмических событий – «Климовская» (см. рис. 6, а). Сравнительно низкий уровень помех наблюдается на станциях «Тамица» и «Пермогорье» (рис. 7, а, б).

Все станции, кроме станции «Архангельск», размещены на относительном удалении от крупных промышленных объектов, по возможности, в малонаселенных местах. К сожалению, условия размещения по объективным причинам не могут обеспечить достаточную защиту от внешних воздействий, таких, как ветер, колебания температуры и атмосферного давления, воздействие движения транспортных средств и др.

С самого начала регистрации станциями Архангельской сети в группе сейсмологии Института экологических проблем был организован просмотр и обработка непрерывных записей сейсмических станций «Тамица», «Архангельск» и «Пермогорье», оснащенных короткопериодным оборудованием. Обработка основывалась на информации об известных параметрах землетрясений, поступающих из Службы срочных донесений ГС РАН в г. Обнинске. Полученные результаты показали, что сейсмические станции «Тамица» и «Пермогорье» могут полноправно участвовать в службах ГС РАН, особенно при регистрации глубоких землетрясений. Ниже даны два примера записей землетрясений на этих станциях.

На рис. 8 показаны трехкомпонентные записи станций «Тамица» ($\Delta=22.0^\circ$), «Архангельск» ($\Delta=22.7^\circ$) и «Пермогорье» ($\Delta=21.6^\circ$) землетрясения, произошедшего в Болгарии 17.12.2003 г. в $23^{\text{h}}15^{\text{m}}$ с $m_b=4.1$ и $h=100$ км.

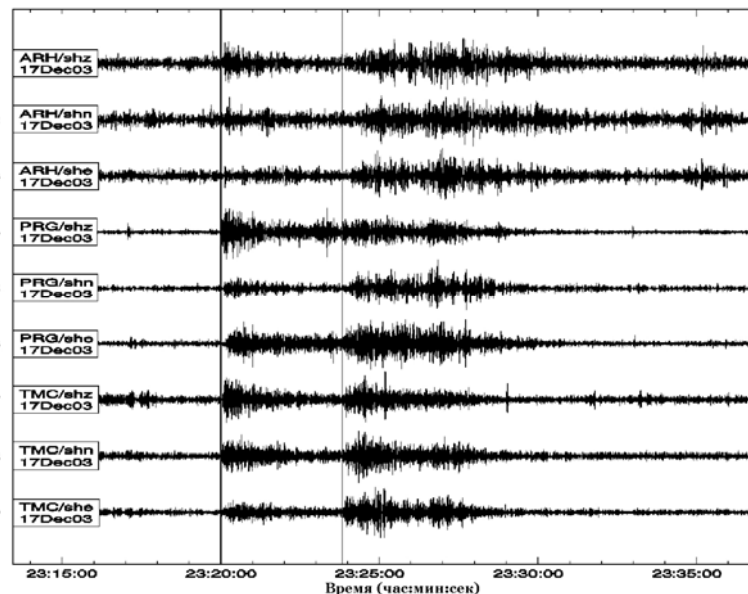


Рис. 8. Волновые формы записи станциями «Архангельск» (ARH), «Пермогорье» (PRG), «Тамица» (TMC) землетрясения в Болгарии 17.12.2003 г. в $23^{\text{h}}15^{\text{m}}$ с $h=100$ км, $m_b=4.1$

Следует отметить, что записи, приводимые на рис. 8, фильтрованы в различных полосах частот. Записи на станции «Архангельск» типичны для станции, расположенной в довольно большом городе с многочисленными шумами даже в ночное время, сходны по шумам с записями станции «Пулково» с АЦП типа Quanterra – записи события лучше видны в полосе $\Delta f=0.5-1$ Гц. Станции «Тамица» и «Пермогорье» имеют другую проблему с шумами, особенно в дневное время – многочисленные разовые высокочастотные шумы от движения транспорта вблизи мест установки регистрирующей аппаратуры.

На рис. 9 показаны записи станций «Пермогорье» и «Тамица» землетрясения 15.01.2004 г. в $19^{\text{h}}50^{\text{m}}$ с $m_b=5.4$ и $h=480$ км. Записи фильтрованы в полосе $\Delta f=0.7-3$ Гц и приводятся в сравнении с записями других станций в платформенной европейской части территории Российской Федерации: «Обнинск», «Пулково», «Ловозеро». Записи приведены при наложении на них основных сейсмических фаз годографа IASPEI91 [11] для соответствующих эпицентральных расстояний и глубины. Как видно из рис. 9, запись *P*-волны на станциях «Тамица» и «Пермогорье» не уступают по качеству записям станции «Ловозеро», оснащенной широкополосной аппаратурой IRIS+STS-1. Запись на станции «Пулково» в значительной степени зашумлена. Она фильтрована в полосе $\Delta f=0.5-1$ Гц, что наиболее приемлемо для этой записи.

Хорошее качество записей на станциях Архангельской сети для отдельных землетрясений может быть использовано в случае перерывов в регистрации по техническим причинам на станции «Ловозеро», используемой в Службе ГС РАН в качестве опорной.

Таким образом, совместный анализ результатов регистрации короткопериодными станциями Архангельской сети «Тамица» и «Пермогорье» показал приемлемое для службы оперативного бюллетеня ГС РАН качество получаемого материала на региональных и телесеизмических расстояниях $\Delta > 10^\circ$ [8].

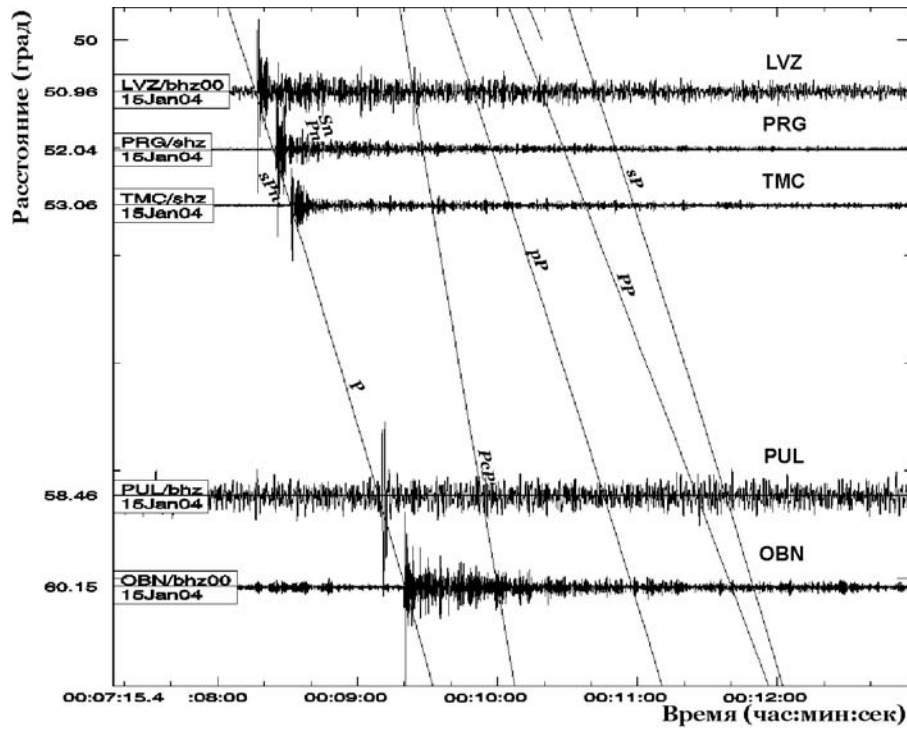


Рис. 9. Волновые формы записи станциями «Ловозеро» (LVZ), «Пулково» (PUL), «Обнинск» (OBN), «Пермогорье» (PRG), «Тамица» (TMC) землетрясения, произошедшего в Охотском море 15 января в 19^h50^m с $m_b=5.4$ и $h=480$ км

Результаты обработки телесейсмических землетрясений мира, зарегистрированные станциями Архангельской сети и обработанные в Службе АИОЦ (Архангельского информационно-обрабатывающего центра), представлены на карте эпицентров (рис. 10).

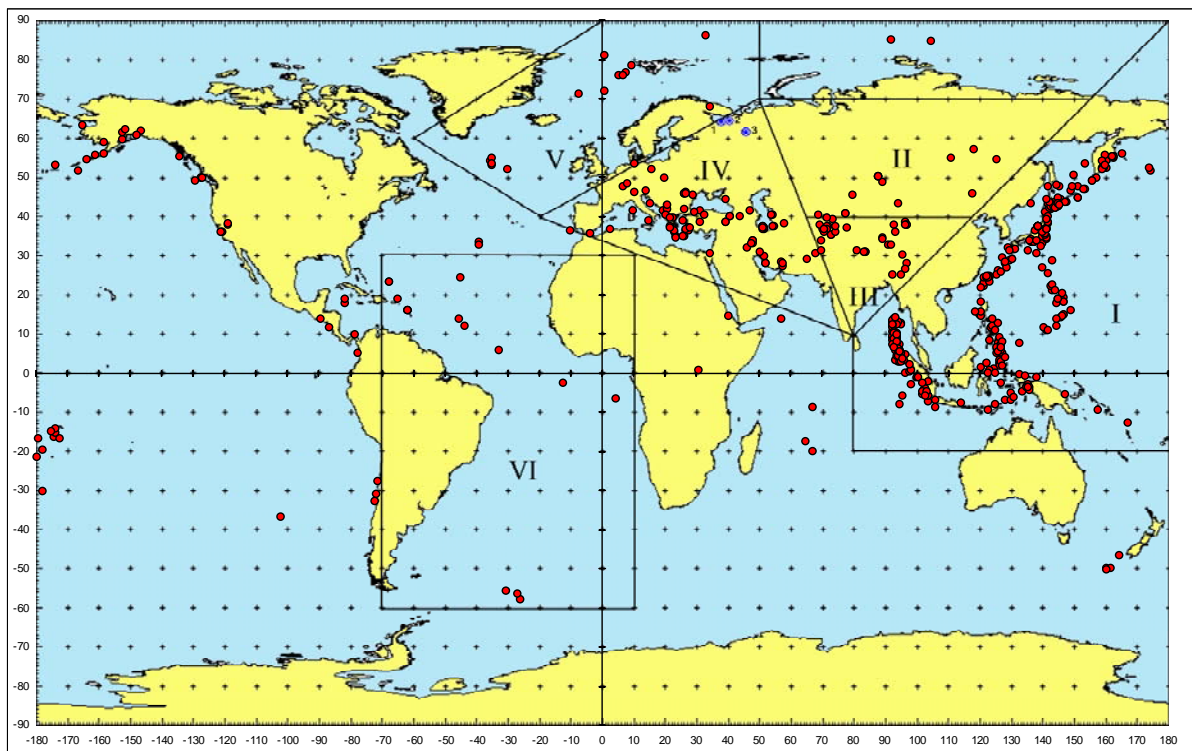


Рис. 10. Карта эпицентров землетрясений мира, обработанных в АИОЦ за 2004 г. в пределах территорий I–VI (I – Тихий океан; II – Сибирь; III – Гиндукуш; IV – Европа и Малая Азия; V – Северная Атлантика; VI – Экваториальная и Южная Атлантика)

Как видно из представленной карты, Архангельская сеть способна с необходимым разрешением регистрировать, а служба достаточно надежно обрабатывать землетрясения из всех зон мира.

Л и т е р а т у р а

1. **Юдахин Ф.Н., Французова В.И.** Архангельская область // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. – М.: ГС РАН, 2001. – С. 128–139.
2. **Юдахин Ф.Н., Французова В.И.** Архангельская область // Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. – М.: ГС РАН, 2002. – С. 152–154.
3. **Юдахин Ф.Н., Французова В.И.** Архангельская область // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ГС РАН, 2003. – С. 164–167.
4. **Юдахин Ф.Н., Французова В.И.** Сейсмичность территории Архангельской области и прогнозы развития связанных с ней техногенных процессов // Сырьевая база России в XXI веке. – М.: ОАО ВНИИОЭНГ, 2002. – С. 507–521.
5. **Юдахин Ф.Н., Французова В.И.** О необходимости создания сети сейсмических наблюдений на территории Архангельской области // Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз, ситуация, пути развития, решения. Материалы Международной конференции, т. I. – Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 2002. – С. 901–905.
6. **Юдахин Ф.Н., Старовойт О.Е., Французова В.И., Мехрюшев Д.Ю.** Создание Архангельской сейсмической сети // Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, т. II. – Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 2004. – С. 414–418.
7. **Стационары, обсерватории и опытные станции Российской академии наук и ее региональных отделений.** – Новосибирск: СО РАН, 2004. – С. 167–168.
8. **Юдахин Ф.Н., Французова В.И., Мехрюшев Д.Ю., Габсатарова И.П., Морозов А.Н.** Первая оценка регистрационных возможностей сейсмических станций Архангельской сети // Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, т. II. – Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 2004. – С. 418–422.
9. **Peterson R.L.** Observation and Modeling of Seismic Background Noise // Open-File Report USGS 93-3220. – Albuquerque, NM, 1993.
10. **Французова В.И., Шахова Е.В.** Результаты сейсмических наблюдений микросейсмического поля в г. Архангельске // Опыт строительства и реконструкции зданий и сооружений на слабых грунтах. Материалы Международной научно-технической конференции, Архангельск. – Архангельск: АГТУ, 2003. – С. 179–184.
11. **Kennet B.L.N. (editor).** IASPEI 1991 Seismological Tables. Sydney: Research School of Earth Sciences Australian National University, 1991. – 167 p.