

Система ОНЧ/НЧ радиоволнового мониторинга в КФ ФИЦ ЕГС РАН**Г.Н. Копылова, Е.А. Будилова***Камчатский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: budilova@emsd.ru*

Представлена информация о системе мониторинга амплитудно-фазовых характеристик ОНЧ/НЧ радиосигналов на приемном пункте в г. Петропавловске-Камчатском (РТК). Непрерывные наблюдения с частотой 20 с ведутся по 10 радиотрассам в сейсмоактивных районах Тихого океана и в восточной части Евразийского континента.

Введение

Мониторинг амплитудно-фазовых характеристик очень низкочастотных (ОНЧ) и низкочастотных (НЧ) радиосигналов по трассам, пересекающим сейсмоактивные области, рассматривается в качестве одного из перспективных методов краткосрочного прогноза сильных землетрясений [3]. Данные регистрации амплитуды и фазы ОНЧ/НЧ сигналов от навигационных радиопередатчиков, транслирующих сигналы в узких частотных полосах, также используются для исследования влияния на ионосферу и атмосферу таких природных явлений, как цунами и метеоцунами [5], события космической погоды [6], солнечные затмения [7]. Мировая система таких наблюдений перекрывает все сейсмоактивные области Северного полушария, включая Тихоокеанский и Альпийско-Гималайский сейсмические пояса [2]. Для локализации литосферных источников возмущения используются сети ОНЧ/НЧ-излучателей (transmitters) и приемников (receivers) со взаимно пересекающимися трассами для приема радиосигналов от одних и тех же передатчиков на всех входящих в сеть приемниках.

В мире функционирует несколько ОНЧ/НЧ сетей, в т.ч. европейская сеть INFREP (International Network for Frontier Research on Earthquake Precursors), Японско-Тихоокеанская сеть [3], Южноамериканская сеть SAVNET.

Система ОНЧ/НЧ радиоволнового мониторинга в пункте РТК

В апреле 2000 г. в здании ИВиС ДВО РАН в г. Петропавловске-Камчатском совместно сотрудниками КФ ФИЦ ЕГС РАН и ИФЗ РАН был установлен приемник ОНЧ/НЧ-сигналов системы OmniPAL (далее приемный пункт РТК). Целью работ было изучение локальных возмущений в атмосфере и ионосфере, связанных с землетрясениями, извержениями вулканов и цунами на фоне процессов атмосферной циркуляции и влияния солнечной активности [2, 4].

Система приема данных OmniPAL включала персональный компьютер с DSP-платой; антенно-фидерное устройство А1, связанное со входом предварительного усилителя длинноволнового радиоприемника DSP; приемник точного времени GPS с антенно-фидерным устройством; вторичный источник питания $\pm 0...25$ В, предназначенный для питания предусилителя; трансформатор 220 В/100 В, предназначенный для питания дисплея компьютера и GPS-приемника; источник бесперебойного питания; осциллограф С1-77. С использованием этого оборудования ведется непрерывный мониторинг ОНЧ/НЧ-сигналов по четырем трассам от передатчиков JJY (40 кГц) и JJI (22.2 кГц) в Японии, NWC (19.8 кГц) в Австралии и NPM (21.4 кГц) на Гавайских островах, пересекающим Курило-Камчатский и Японский регионы (рис. 1).

Полняемый цифровой архив данных наблюдений ОНЧ/НЧ радиосигналов системы OmniPAL на приемном пункте в г. Петропавловске-Камчатском с начала его работы был создан в 2017 г. в лаборатории геофизических исследований КФ ФИЦ ЕГС

РАН и включен в состав информационных ресурсов ФИЦ ЕГС РАН (<http://www.gsras.ru/new/infres/>).

В 2019 г. сотрудниками лаборатории при участии к.ф.-м.н. А.А. Рожного, ИФЗ РАН, была осуществлена модернизация программно-аппаратного комплекса приемного центра РТК для использования возможностей современной системы радиоволнового мониторинга UltraMSK, которая применяется в научных исследованиях по дистанционному зондированию ионосферы и магнитосферы.

С использованием UltraMSK измеряются фаза и амплитуда узкополосных ОНЧ-радиосигналов с модуляцией MSK или CW/OOK с выводом данных в формате ascii. UltraMSK реализован программно и работает на стандартном аудиооборудовании современных персональных компьютеров (<http://ultramsk.com/>). На пункте РТК система регистрации функционирует на ПК под управлением ОС Linux Ubuntu с использованием имеющейся инфраструктуры установленных ранее ОНЧ-антенны и GPS приемника.

Использование UltraMSK позволило обеспечить регистрацию сигналов еще с 6-ти передатчиков: VTX (17 кГц) в Индии, NTS (18.6 кГц) в Австралии, NAA (24 кГц), NLK (24.8 кГц) и NML (25.2 кГц) в США и NAU (40.8 кГц) в Пуэрто-Рико (рис. 1) (всего 10 радиотрасс).

Пополняемый цифровой архив данных наблюдений ОНЧ/НЧ сигналов, принимаемых в г. Петропавловске-Камчатском приемником системы UltraMSK, с 2020 г. также включен в состав информационных ресурсов ФИЦ ЕГС РАН (<http://www.gsras.ru/new/infres/>).

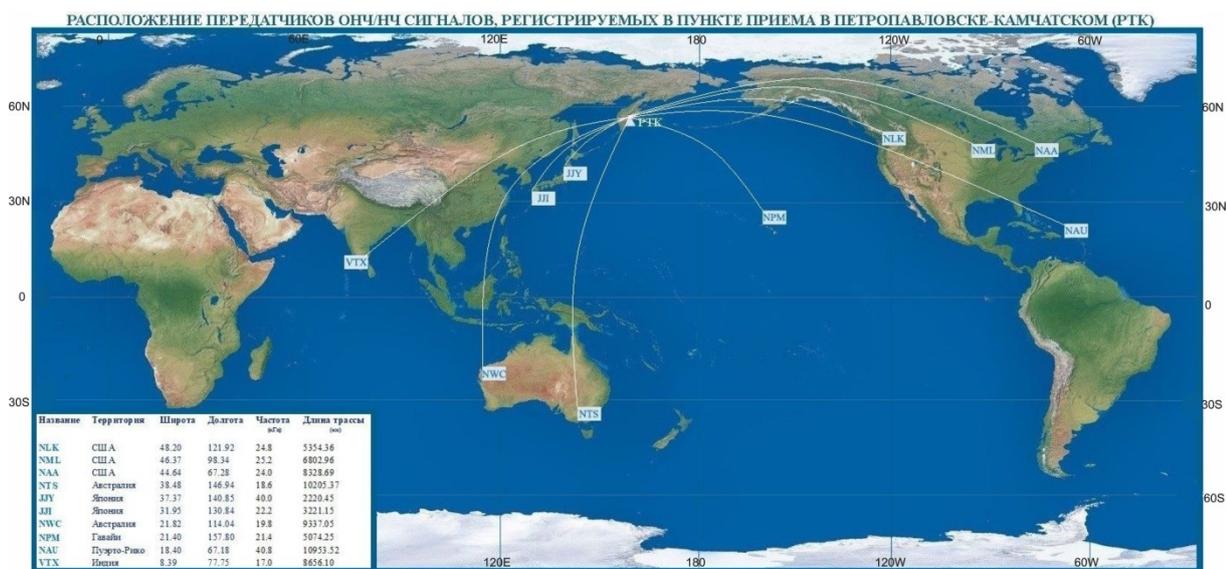


Рис. 1. Расположение передатчиков, сигналы которых регистрируются на приемном центре РТК.

Упрощенная схема получения и обработки данных на приемном центре РТК показана на рис. 2.

Для обработки и анализа данных радиоволнового мониторинга используются методика и специализированный комплекс программ, созданные к.ф.-м.н. А.А. Рожным и М.С. Соловьевой (ИФЗ РАН) и переданные ими в 2019 г. в КФ ФИЦ ЕГС РАН для внедрения в практику оперативных наблюдений. С использованием этих программных средств и дополнительных программ, созданных сотрудниками лаборатории геофизических исследований Г.М. Коркиной и Е.А. Будиловой, производится оперативная обработка текущих данных, поступающих с систем OmniPAL и UltraMSK, пополнение архивов и базы данных, поиск аномальных изменений в регистрируемых сигналах.

На основе полученных данных проводятся исследования воздействия сейсмических событий, произошедших вблизи контролируемых радиотрасс, на поведение ОНЧ/НЧ сигналов. Результаты анализа вариаций зарегистрированной амплитуды радиосигналов по трассам JJИ-РТК и JJУ-РТК перед Северо-Курильским землетрясением 25 марта 2020 г. с $M_w=7.5$ были представлены в работе [1].



Рис. 2. Упрощенная схема получения и обработки данных на приемном центре РТК.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00576-21).

Авторы выражают благодарность к.ф.-м.н. М.С. Соловьевой, Институт физики Земли, г. Москва, за помощь в освоении программных средств для обработки и анализа данных ОНЧ/НЧ радиоволнового мониторинга и полезные консультации; сотрудникам лаборатории геофизических исследований КФ ФИЦ ЕГС РАН: ведущим инженерам В.А. Кобзеву и В.П. Долгих, обеспечивающим техническое обслуживание пункта РТК, и программисту Г.М. Коркиной за создание и ведение архивов и базы данных.

Список литературы

1. Будилова Е.А., Соловьева М.С. Мониторинг ОНЧ/НЧ-сигналов для исследования отклика ионосферы на геофизические процессы и события космической погоды // Геология, геоэкология, эволюционная география: Коллективная монография. Том XIX / Под ред. Е.М. Нестерова, В.А. Снытко. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2020. С. 30-33.
2. Рожной А.А., Соловьева М.С., Чебров Д.В. и др. Сейсмо-ионосферные возмущения в распространении ОНЧ-сигнала в связи с двумя индонезийскими землетрясениями в августе и сентябре 2018 года // Вестник ДВО РАН. 2019. № 2. С. 56-61.
3. Hayakawa M., Rozhnoi A., Solovieva M. et al. On electromagnetic precursors to the Hokkaido earthquake in September, 2018 and consideration of lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling // International journal of electronics and applied research. 2019. V. 6(1). P. 41-59.
4. Rozhnoi A., Hayakawa M., Solovieva M. et al. Ionospheric effects of the Mt. Kirishima volcanic eruption as seen from subionospheric VLF observations // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2014. V. 107. P. 54-59.
5. Rozhnoi A., Shalimov S., Solovieva M. et al. Tsunami-induced phase and amplitude perturbations of subionospheric VLF signals // Journal of Geophysical Research. 2012. V. 117. A09313.
6. Rozhnoi A., Solovieva M., Fedun V. et al. Correlation of very low and low frequency signal variations at mid-latitudes with magnetic activity and outer-zone particles // Annales Geophysicae. 2014. V. 32. P. 1455-1462.
7. Rozhnoi A., Solovieva M., Shalimov S. et al. The effect of the 21 August 2017 total solar eclipse on the phase of VLF/LF signals // Earth and Space Science. 2020. V. 7. e2019EA000839.