

УДК 550.34:621.039

ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПОСТОЯННОЙ СЕТЬЮ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА РОВЕНСКОЙ АЭС

Андрущенко Ю.А., Лящук А.И., Корниенко И.В., Осадчий В.И.

Главный центр специального контроля Государственного космического агентства Украины, Городок, Украина

Представлены сведения об организации и устройстве сети сейсмического мониторинга в районе Ровенской АЭС, а также результаты анализа помеховой обстановки и воздействия микросейсм разного порядка на способность регистрации полезных сигналов на элементах сети. По записям, полученным с использованием сейсмических датчиков, установленных в приборных скважинах и на дневной поверхности, рассчитаны усредненные значения микросейсмического фона в пунктах регистрации. В процессе инструментальных наблюдений были зарегистрированы локальные, региональные и телесеismicкие события различной природы и энергетического уровня. Подавляющее большинство эпицентров зарегистрированных землетрясений находится на территории Румынии в сейсмоактивной зоне Вранча, в Польше и в южной части Беларуси. По результатам обработки сейсмических записей определены интенсивности сотрясений в районе расположения Ровенской АЭС и сделаны выводы о необходимости изменения исходных данных для оценки сейсмостойкости площадки РАЭС.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно требованиям к сейсмостойкому проектированию и оценке сейсмической безопасности энергоблоков атомных станций (АС) [1], эксплуатирующая организация в районе расположения АС организует специальную локальную сеть постоянно действующих высокочувствительных станций сейсмического мониторинга. На Ровенской АЭС сеть сейсмологического мониторинга была развернута в процессе выполнения «Плана мероприятий по оценке сейсмической опасности и проверке сейсмостойкости действующих АЭС». Проведение инструментальных сейсмических наблюдений в районе Ровенской АЭС для обеспечения сейсмической безопасности предусматривает решение следующих задач:

- наблюдение за местной сейсмичностью в радиусе до 150 км;
- наблюдение за микроземлетрясениями и их динамикой в пространстве и времени;
- регистрация местных и сильных удаленных землетрясений;
- уточнение количественных параметров сейсмологических воздействий при проектном землетрясении и максимальном расчетном землетрясении местных сейсмоактивных зон и зоны Вранча, на основе сейсмологических наблюдений, проведенных непосредственно на площадке АЭС и данных о затухании сейсмической энергии с расстоянием по данным всех пунктов системы;
- выполнение функций раннего оповещения в случае возникновения сильного или катастрофического землетрясения.

Оперативную обработку сейсмических сигналов, зарегистрированных на элементах локальной сейсмологической сети, установленной в районе расположения Ровенской АЭС, осуществляет Главный центр специального контроля Государственного космического агентства Украины (ГЦСК ГКА Украины). Одновременно на ГЦСК возложены функции обобщения

и углубленного анализа информации, полученной по результатам сейсмологических наблюдений.

ОРГАНИЗАЦИЯ И УСТРОЙСТВО СЕТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В РАЙОНЕ РОВЕНСКОЙ АЭС

Сеть сейсмического мониторинга Ровенской АЭС состоит из шести пунктов наблюдения, расположенных на территории постов автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО). Поверхностный датчик установлен на промышленной площадке РАЭС, остальные – на центральном посту в г. Кузнецовск и в радиусе 10 км от РАЭС в селах Сопачов, Полицы, Старый Чарторийск и Костюхновка. Сейсмоприемники располагаются в скважинах различной глубины – от 33 м (в Сопачове) до 90 м (в Чарторийске). Координаты и глубины скважин сейсмологической сети приведены в таблице 1.

Таблица 1. Координаты и глубины скважин сейсмологической сети РАЭС

Пункт сейсмического мониторинга	Координаты скважины		Населенный пункт
	широта	долгота	
RNPP 1	51,349770	25,765735	с. Костюхновка
RNPP 2	51,326640	25,889650	пром. площадка РАЭС
RNPP 5	51,229108	25,885455	с. Старый Чарторийск
RNPP 6	51,258341	26,064071	с. Полицы
RNPP 8	51,336238	25,854780	г. Кузнецовск
RNPP 6	51,411975	25,890536	с. Сопачов

Сеть наблюдений оснащена сейсмоприемниками производства компании Guralp System Limited (Великобритания). В скважинах расположены трехкомпонентные сейсмоприемники CMG-SPB, сигналы от которых преобразуются в цифровой вид с помощью аналого-цифрового преобразователя DM24, реализованного в виде скважинного зонда, который может устанавливаться непосредственно в скважине вместе с сейсмоприемником. Элементы сейсмического мо-

ниторинга объединены единой телеметрической системой, выполняющей сбор информации одновременно со всех элементов группы. Центр сбора, обработки и хранения информации находится в помещении центрального поста контроля АСКРО.

МИКРОСЕЙСМИЧНОСТЬ РАЙОНА РАСПОЛОЖЕНИЯ РОВЕНСКОЙ АЭС

С целью изучения шумовой ситуации в местах расположения элементов сейсмологической сети в процессе инструментальных наблюдений постоянно проводился анализ помеховой обстановки и воздействия микросейсм разного порядка на способность регистрации полезных сигналов на элементах сети. По записям, полученным с использованием сейсмических датчиков, установленных в приборных скважинах и на дневной поверхности, рассчитаны усредненные значения микросейсмического фона в пунктах регистрации (таблица 2).

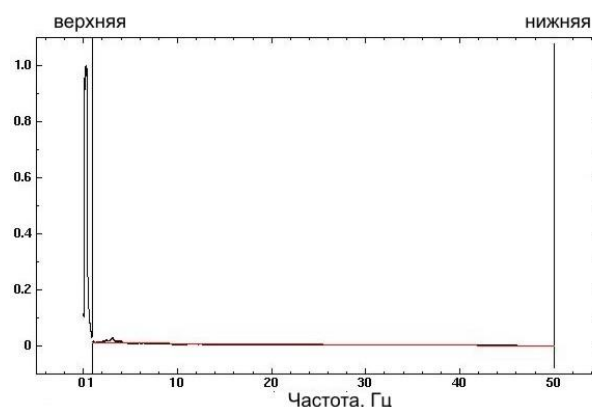
Таблица 2. Значение амплитуд микросейсм в пунктах регистрации по сейсмическим записям

Пункт	Расположение пункта наблюдений	Амплитуда сейсмического фона, мкм
RNPP 1	с. Костюхновка	0,004
RNPP 2	пром. площадка РАЭС	0,424
RNPP 5	с. Старый Чарторийск	0,005
RNPP 6	с. Полицы	0,004
RNPP 8	г. Кузнецовск	0,004
RNPP 9	с. Сопачов	0,003

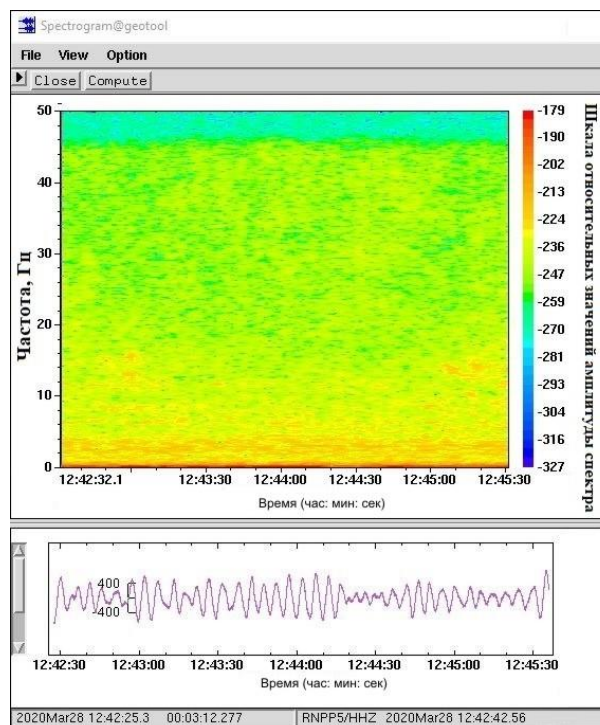
Как видно из таблицы 2, значение амплитуды сейсмического фона, рассчитанное по сейсмическим записям инструментальных наблюдений на дневной поверхности (RNPP 2), достаточно высокое, что связывается с выходом на поверхность слоя осадочных пород и, как следствие, высокой интенсивностью микросейсм. Установка сейсмометров в приборной скважине (RNPP 1, RNPP 5, RNPP 6, RNPP 8, RNPP 9) приводит к значительному уменьшению уровня микросейсмического фона.

Наиболее объективной характеристикой микросейсмических шумов на той или иной станции является спектр сигналов. Для получения устойчивой оценки среднего спектра, характеризующего условия регистрации сейсмических колебаний, проведен анализ представительных интервалов записи, тем больших, чем больше период исследуемых микросейсм. Для получения представительной оценки спектра проанализирован 60-минутный интервал записи шумов. Предварительная оценка спектра осуществлялась в 10-секундном «окне» на интервале 60 с. Средний из 10-ти спектров, полученных на 60-секундном интервале принимался за исходную оценку. Конечная оценка спектра шума была получена путем усреднения 60 таких оценок на 60-минутном интервале записи [2, 3] и объективно характеризовала спектральные свойства шумов, являясь достаточно важным показателем эффективности станций сейсмо-

гической сети РАЭС при выявлении полезных сигналов. На рисунках 1 и 2 приведены спектральные характеристики - нормированные сглаженные спектры и спектрально-временные диаграммы шумов, – полученные по 10-секундными интервалами записей широкополосного сейсмометра CMG-SPB в скважине на глубине 90 м на пункте сейсмических наблюдений RNPP 5 и на поверхности на пункте сейсмических наблюдений RNPP 2. Хорошо видно, что в отличие от поверхностных сейсмоприемников, при регистрации шумов в скважине на частотах выше 1 Гц отмечается снижение спектральной плотности шумов более чем на порядок. Этот результат показывает, что слабые высокочастотные сигналы могут быть обнаружены только при регистрации в скважинах.

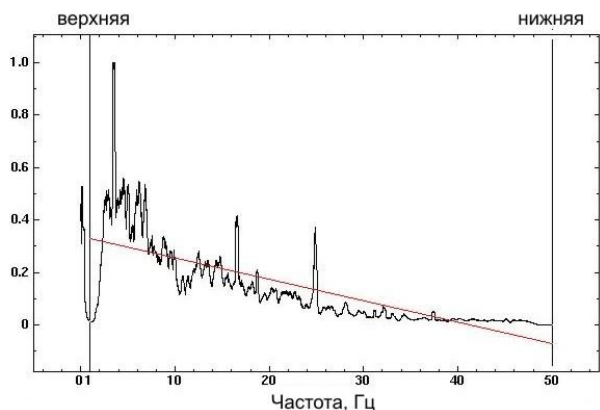


а) нормированный сглаженный спектр

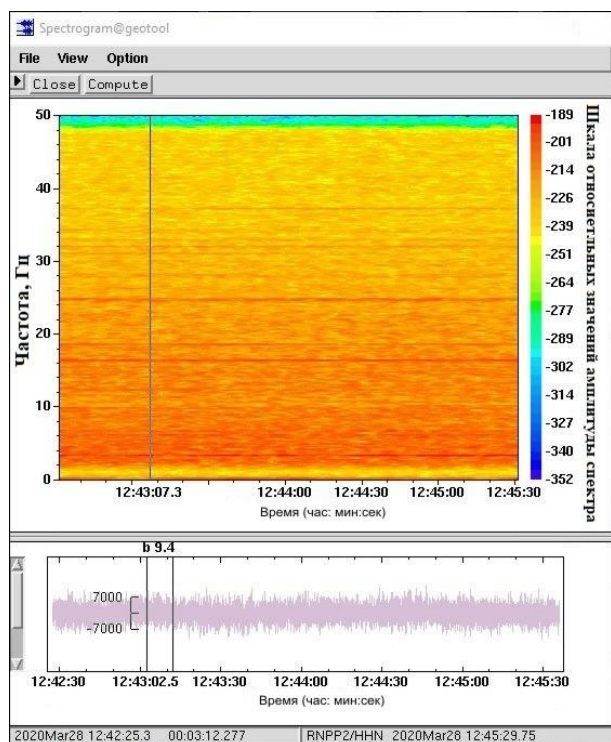


б) спектрально-временная диаграмма

Рисунок 1. Спектральные характеристики шума, полученные по записи широкополосного сейсмометра CMG-SPB в скважине пункта сейсмических наблюдений RNPP 5



а) нормированный сглаженный спектр



б) спектрально-временная диаграмма

Рисунок 2. Спектральные характеристики шума, полученные по записи широкополосного сейсмометра CMG-SPB на поверхности в пункте сейсмических наблюдений RNPP 2

Таким образом, можно констатировать низкую эффективность наземных сейсмологических наблюдений при регистрации высокочастотных сигналов от локальных сейсмических событий по сравнению с наблюдениями в скважинах. В то же время сейсмологические наблюдения на дневной поверхности необходимы для регистрации «поверхностных» шумов, в первую очередь, техногенных. Кроме того, разделение сигналов от локальных и глобальных геодинамических процессов требует сопоставления данных, полученных в скважине и на поверхности, с результатами наблюдений за природными и техногенными воздействиями на земную кору [4]. Это позволяет иден-

тифицировать влияние отдельных факторов и осуществлять мониторинг состояния земной коры, точнее оценивать фоновый уровень поля микросейсм, количественно оценивать энергетические параметры зарегистрированных сейсмических событий.

ОБНАРУЖЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ

При оценке сейсмичности территории размещения Ровенской АЭС, кроме влияния сильных региональных землетрясений, рассмотрено влияние землетрясений из локальных сейсмоактивных или потенциально сейсмоактивных очаговых зон на территории Украины.

Определение координат эпицентров зарегистрированных сейсмических событий осуществляется путем сетевой обработки, к которой привлекаются данные сейсмологической сети РАЭС и станций ГЦСК. Для локации событий применяется программа LocSat [5], входящая в состав программного комплекса Geotool [6]. Данная программа использует не только первые вступления продольных волн, но и выделенные вторичные фазы (S_n , L_g , L_R) с учетом их модельных ошибок (возможных статистических отклонений), что позволяет получать устойчивые решения даже при небольшом количестве станций, зарегистрировавших событие. Кроме того, в этой программе возможно использование данных об азимутах и медленности, рассчитанных для каждой из этих фаз, что особенно важно при участии в локации данных сейсмических групп.

Всего за период с 2017 по 2019 гг. станциями сейсмологической сети РАЭС было зарегистрировано 11 локальных землетрясений на территории Украины (таблица 3).

Эпицентры подавляющего большинства локальных землетрясений располагаются в пределах Ивано-Франковской, Тернопольской и Львовской областей. Магнитуды сейсмических событий находятся в диапазоне от 1,9 до 3,3. Расчетные интенсивности сотрясений в районе РАЭС, вызванных этими землетрясениями, составляют менее 1 балла. Максимальные эпицентральные расстояния, на которых сейсмологической сетью РАЭС регистрируются локальные сейсмические события, составляют ~300 км. Сопоставление распределения эпицентров локальных землетрясений с разломной тектоникой юго-западной части Восточно-Европейской платформы показало, что очаги сейсмических событий приурочены в основном к различным зонам разломов. При этом, основное количество эпицентров зарегистрированных местных землетрясений приурочено к Вольно-Подолью и Предкарпатскому прогибу на границе Складчатых Карпат, и это свидетельствует о значительной тектонической напряженности земной коры в данном регионе, которая в зонах активных разломов может вызывать как медленные, так и быстрые движения, сопровождающиеся землетрясениями.

**ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ
ПОСТОЯННОЙ СЕТЬЮ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА РОВЕНСКОЙ АЭС**

Таблица 3. Сейсмические источники на территории Украины, зарегистрированные сейсмологической сетью РАЭС

Дата	T ₀	φ, °	λ, °	M	h, км	Ускорение частиц грунта в месте регистрации	Расчетная интенсивность в районе РАЭС, балл
08.05.17	13:03:47	48,52	24,51	2,7	5	1,25×10 ⁻⁵ g	< 1
17.08.17	15:36:06	48,52	24,46	2,8	8	1,67×10 ⁻⁵ g	< 1
29.09.17	21:46:08	49,3	23,58	3,3	5	2,26×10 ⁻⁵ g	< 1
31.10.17	12:36:29	48,52	24,46	2,9	5	1,68×10 ⁻⁵ g	< 1
19.02.18	12:52:17	48,55	24,48	2,7	3	2,23×10 ⁻⁵ g	< 1
01.05.18	12:21:13	49,52	25,82	3	8	2,12×10 ⁻⁵ g	< 1
03.05.18	11:25:45	49,54	25,88	2,6	5	1,22×10 ⁻⁵ g	< 1
10.05.18	11:48:10	48,23	25,26	2,6	3	1,17×10 ⁻⁵ g	< 1
11.09.18	21:00:23	49,76	24,35	2,2	5	8,25×10 ⁻⁶ g	< 1
07.04.19	19:22:04	49,57	27,71	2,6	3	1,15×10 ⁻⁵ g	< 1
28.05.19	07:59:58	49,36	25,60	1,9	3	7,13×10 ⁻⁶ g	< 1

Таблица 4. Параметры мощных землетрясений сейсмоактивной зоны Вранча, зарегистрированных сейсмологической сетью РАЭС в течение 2017–2019 гг.

Дата	T ₀	φ, °	λ, °	M	h, км	Ускорение частиц грунта в месте регистрации	Расчетная интенсивность в районе РАЭС, балл
08.02.17	15:08:21	45,5	26,2	4,8	125	6,98×10 ⁻⁴ g	< 1
02.08.17	02:32:12	45,6	26,4	4,8	130	7,14×10 ⁻⁴ g	< 1
14.03.18	10:24:49	45,76	26,53	4,9	140	7,55×10 ⁻⁴ g	< 1
28.10.18	00:38:10	45,64	26,39	5,6	150	4,94×10 ⁻³ g	2

**ОБНАРУЖЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ
НА ТЕРРИТОРИИ СОПРЕДЕЛЬНЫХ С УКРАИНОЙ
ГОСУДАРСТВ**

Сейсмологической сетью РАЭС за время наблюдений зарегистрировано 173 сейсмических события, эпицентры которых находятся на территории сопредельных с Украиной государств. Подавляющее их большинство находится на территории Румынии в сейсмоактивной зоне Вранча, а также в Польше и в южной части Беларуси.

Глубина гипоцентров белорусских и польских землетрясений составляет 5–15 км. Ввиду незначительной глубины влияние данных землетрясений имеет локальный характер, интенсивность сотрясений достаточно быстро затухает с увеличением расстояния от эпицентра события. Самое мощное польское землетрясение, зарегистрированное сейсмологической сетью РАЭС, произошло 05.07.2019 г. с магнитудой 4,7 и интенсивностью в эпицентре $I_0 = 5,0$. В результате обработки сейсмической записи установлено, что пиковое ускорение в точке регистрации равно $5,55 \times 10^{-4}$ g, что соответствует интенсивности менее 1 балла. Соответственно, расчетная интенсивность в районе расположения РАЭС для остальных зарегистрированных польских и белорусских землетрясений также составила менее 1 балла. Таким образом, результаты инструментальных наблюдений позволяют сделать вывод, что землетрясения в Польше и Беларуси имеют локальный характер и не оказывают влияния на сейсмичность района расположения Ровенской АЭС.

В течение 2017–2019 гг. сейсмологической сетью РАЭС зарегистрировано 75 землетрясений из сейс-

моактивной зоны Вранча. Параметры наиболее мощных из них приведены в таблице 4.

Особенностью зарегистрированных региональных землетрясений зоны Вранча является большая глубина очагов – в основном, 125–150 км. В связи с этим область ощутимых сотрясений может простираться на довольно большие расстояния [7, 8]. Установлено, что поля интенсивности этих землетрясений характеризуются значительной асимметричностью. Изосейсты большинства землетрясений имеют форму, вытянутую на северо-восток от очаговой зоны. Наблюдаются существенные различия в конфигурации изосейст, что может быть связано как с различиями в глубинах гипоцентров, так и с особенностями механизма очага. В связи с вышеизложенным, при оценке сейсмического риска для Ровенской АЭС необходимо, в первую очередь, рассматривать влияние землетрясений сейсмоактивной зоны Вранча.

Из таблицы 4 следует, что наиболее мощное землетрясение сейсмоактивной зоны Вранча было зарегистрировано сейсмологической сетью РАЭС 28.10.2018 г. с магнитудой 5,6 и расчетной интенсивностью сотрясений в эпицентре события $I_0 = 5,2$ балла. В результате обработки сейсмической записи определено пиковое ускорение в точке регистрации, составившее $4,94 \times 10^{-3}$ g, что соответствует интенсивности порядка 2 балла. Остальные землетрясения сейсмоактивной зоны Вранча, зарегистрированные сейсмологической сетью РАЭС, имели значительно меньшие магнитуды и глубины гипоцентров, а расчетные интенсивности сотрясений, вызванных данным землетрясениями в районе расположения Ровенской АЭС, составляли 1 балл и меньше.

Выводы

В процессе обработки материалов регистрации, полученных на сейсмологической сети РАЭС, проводился постоянный анализ помеховой обстановки и воздействия микросейсм разного порядка на способность регистрации полезных сигналов элементами сети. По результатам анализа установлено, что средний уровень сейсмического фона в районе расположения Ровенской АЭС изменяется в пределах 0,003–0,424 мкм, при этом максимальная интенсивность микросейсмических шумов наблюдается в районе промышленной площадки РАЭС.

Инструментальными наблюдениями были зарегистрированы локальные, региональные и телесеismicкие события различной природы и энергетического уровня, которые хорошо коррелируются с результатами сейсмических наблюдений сейсмологической сетью Главного центра специального контроля. В период с 2017 по 2019 гг. сейсмологической сетью РАЭС зарегистрировано 184 землетрясения, эпицентры которых находились на территории Украины и сопредельных с ней государств. Анализ этих данных показывает, что при оценке сейсмического риска для Ровенской АЭС необходимо, в первую очередь, рассматривать влияние землетрясений сейсмоактивной зоны Вранча. Благодаря большим магнитудам и значительным глубинам очагов землетрясения в зоне Вранча ощущаются населением на большой территории. Наиболее мощное землетрясение сейсмоактивной зоны Вранча, зарегистрированное в течение от-

четного периода имело магнитуду 5,6. При этом пиковое ускорение в точке регистрации равнялось $4,94 \times 10^{-3}$ g, что соответствует интенсивности порядка 2 баллов.

Остальные землетрясения на территории Украины и сопредельных с ней государств, зарегистрированные сейсмологической сетью РАЭС, имели локальный характер. Интенсивность сейсмических колебаний в районе Ровенской АЭС, вызванных этими сейсмическими событиями, не превышала 1 балла.

Требования к сейсмостойкому проектированию и оценке сейсмической безопасности энергоблоков атомных станций определяют, что для энергоблоков АЭС, независимо от сейсмичности площадки, пиковое значение ускорения горизонтальной составляющей движения грунта при землетрясении, соответствующем максимальному расчетному землетрясению, должно приниматься не меньше 0,1 g, что соответствует интенсивности сейсмических колебаний в 7 баллов. Инструментальные наблюдения, проводившиеся сейсмологической сетью РАЭС, не выявили сейсмических событий, способных вызывать в районе расположения Ровенской АЭС колебаний с интенсивностью более 2 баллов. Исходя из этого, в настоящее время отсутствует необходимость в изменении исходных данных для оценки сейсмостойкости площадки РАЭС. Вместе с тем, рекомендуется дальнейшее проведение инструментальных наблюдений для накопления статистически значимых результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. ЧП 306.2.208-2016. Требования к сейсмостойкому проектированию и оценке сейсмической безопасности энергоблоков атомных станций.
2. Harjes, H.P. Design and siting of a new regional seismic array in Central Europe / H.P. Harjes // Bull. Seism. Soc. Am. 1990. – Part B, № 6. – P. 1801–1817.
3. GSE / US / 79. High-frequency noise characteristics of stations participating in the Group of scientific experts Second technical test April 22 - June 2, 1991 (Committee on Disarmament), 1992. – 130 p.
4. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / под ред. Н.В. Шарова, А. А. Маловичко, Ю.К. Щукина // Кн. 2: Микросейсмичность. - Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 32 с..
5. Bratt, S.R. Locating events with a space network of regional arrays / S.R. Bratt, T.C. Bache // Bull. Seism. Soc. Am. – 1988. – Vol. 78. – P. 780–798.
6. Coyne, J. IDC Documentations. Geotool Software User Tutorial / J Coyne, K. Clark, S. Lloyd. – 2003. – 50 p.
7. Чекунов, А.В. Сейсмоактивный район Вранча - тектонический аспект / А.В. Чекунов // Доп. АН УССР, сер. Б, 1986. – № 5. – С. 21–26.
8. Сагалова, Е.А. Реализация долговременного прогноза в зоне Вранча / Е.А. Сагалова // Геофиз. журн., 1987. – Т.9, № 6. – С. 84–94.

**РОВЕНСК АЭС СЕЙСМИКАЛЫҚ МОНИТОРИНГІСІНІҢ ТҰРАҚТЫ ЖЕЛІСІНДЕ
АСПАПТЫҚ БАҚЫЛАУ НӘТИЖЕЛЕРІН ӨҢДЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ**

Ю.А. Андрущенко, А.И. Лящук, И.В. Корниенко, В.И. Осадчий

Украина Мемлекеттік ғарыш агенттігінің Арнайы бақылау бас орталығы, Городок, Украина

Ровенск АЭС ауданында сейсмикалық мониторинг желісін ұйымдастыру және орнату туралы мәліметтер, сондай-ақ кедергі жағдайын талдау нәтижелері және желі элементтерінде пайдалы сигналдарды тіркеу қабілетіне әртүрлі тәртіптегі микросейсм әсері ұсынылған. Аспаптық ұңғымаларда және жер бетінде орнатылған сейсмикалық бергіштерді пайдалана отырып алынған жазбалар бойынша тіркеу пункттеріндегі микросейсмикалық аяның орташаланған мәндері есептелген. Аспаптық бақылау барысында әртүрлі табиғат пен энергетикалық деңгейдегі жергілікті, аймақтық және телесейсмикалық оқиғалар тіркелді. Тіркелген жер сілкінулерінің эпиорталығының басым көпшілігі Румыния аумағында Вранчтың сейсмобелсенді аймағында, Польшада және Беларусьтің оңтүстік бөлігінде орналасқан. Сейсмикалық жазбаларды өңдеу нәтижелері бойынша Ровенск АЭС орналасқан ауданда шайқалу қарқындылығы анықталды және РАЭС алаңының сейсмикалық төзімділігін бағалау үшін бастапқы деректерді өзгерту қажеттілігі туралы қорытынды жасалды.

**PROCESSING AND ANALYSIS OF THE RESULTS FROM INSTRUMENTAL OBSERVATIONS
AT THE PERMANENT SEISMIC MONITORING NETWORK, RIVNE NPP**

Yu.A. Andrushchenko, A.I. Lyashchuk, I.V. Kornienko, B.I. Osadchiy

Main Center for Special Control, State Space Agency of Ukraine, Gorodok, Ukraine

The article presents information about the organization and arrangement of the seismic monitoring network in the Rivne NPP area, as well as the results of the analysis of interfering conditions and the influence of microarrays of various order on the ability to record useful signals on the network elements. The average values of the microseismic background at the checkpoints were calculated based on the records obtained using seismic sensors installed in instrument wells and on the day surface. In the course of instrumental observations, local, regional, and teleseismic events of different nature and energy levels were recorded. The vast majority of recorded earthquakes are located in Romania in the Vrancea seismic zone, in Poland, and in Southern Belarus. According to the results of seismic record processing, the intensity of shaking in the region of Rivne NPP was determined and conclusions were made regarding the necessity of changes of the initial data for the assessment of the seismic stability of the RNPP site.