

## РЕЗУЛЬТАТИ СЕЙСМІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ В РАЙОНІ ПІВДЕННОУКРАЇНСЬКОГО ЕНЕРГОКОМПЛЕКСУ

**Вербицький С.Т.**, к.ф.-м.н., с.н.с.,  
**Сапужак І.Я.**, к.т.н., доцент,  
**Пронишин Р.С.**, пров. інженер  
*Інститут геофізики НАН України*  
siyigor@gmail.com

**Анотація.** В даній роботі приведено результати сейсмічних спостережень в районі розташування Південноукраїнського енергокомплексу за період 2012-2015 р.р. Наведено обґрунтування необхідності організації сейсмічного моніторингу району та реалізація від проектування системи сейсмічного моніторингу, будівництва та облаштування об'єктів системи до налагодження апаратурних комплексів мережі і проведення постійних сейсмічних спостережень. Проведено аналіз та представлено розподіл сейсмічних подій за часовими періодами і дальністю розташування епіцентрів вогнищ, а також ідентифікацію промислових вибухів. Наведено приклад одного з землетрусів з зони Вранча (Румунія), зареєстрованого сейсмічною мережею, його трикомпонентні акселерограми та інтенсивність струшувань в районі Південноукраїнського енергокомплексу. Окреслено заходи для підвищення надійності подальшого функціонування мережі та якості результатів сейсмічних спостережень.

**Ключові слова:** сейсмологічний моніторинг, сейсмічність, землетрус, промисловий вибух, інтенсивність сейсмічних струшувань, магнітуда, пункт сейсмічних спостережень, сейсмічна станція, сейсмічна подія, магнітуда, каталог землетрусів.

## РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В РАЙОНЕ ЮЖНОУКРАИНСКОГО ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА

**Вербицкий С.Т.**, к.ф.-м.н., с.н.с.,  
**Сапужак И.Я.**, к.т.н., доцент,  
**Пронишин Р.С.**, вед. инженер  
*Институт геофизики НАН Украины*  
siyigor@gmail.com

**Аннотация.** В данной работе приведены результаты сейсмических наблюдений в районе расположения Южноукраинского энергокомплекса за период 2012-2015 г.г. Приведено обоснование необходимости организации сейсмического мониторинга района и реализация от проектирования системы сейсмического мониторинга, строительства и обустройства объектов системы к налаживанию апаратурных комплексов сети и проведению постоянных сейсмических наблюдений. Проведен анализ и представлено распределение сейсмических событий по временным периодам и дальности расположения эпицентров очагов, а также идентификацию промышленных взрывов. Приведен пример одного из землетрясений из зоны Вранча (Румыния), зарегистрированного сейсмической сетью, его трехкомпонентные акселерограммы и интенсивность сотрясений в районе Южноукраинского энергокомплекса. Определены меры по повышению надежности дальнейшего функционирования сети и качества результатов сейсмических наблюдений.

**Ключевые слова:** сейсмологический мониторинг, сейсмичность, землетрясение, промышленный взрыв, интенсивность сейсмических сотрясений, магнитуда, пункт сейсмических наблюдений, сейсмическая станция, сейсмическая событие, магнитуда, каталог землетрясений.

## RESULTS OF SEISMIC OBSERVATION NEAR SOUTH UKRAINIAN ENERGY COMPLEX

Verbytskij S.T., PhD, Senior Researcher  
Sapuzhak I. Ya., PhD, Assistant Professor,  
Pronyshyn R. S., Senior Engineer  
*Institute of Geophysics, NAS of the Ukraine*  
siyigor@gmail.com

**Abstract.** This paper shows the results of seismic studies in the area of the South-Ukrainian energy complex for the period 2012-2015 years. An rationale for seismic monitoring of the area and implementation of seismic monitoring system design, construction and installation of system objects to debug hardware and complex network of permanent seismic observations. The analysis and the distribution of seismic events over the time period and location of epicenters of origins, and identification of industrial explosions. An example of one of the earthquakes of the Vrancea zone (Romania) registered seismic network, its three-axis accelerogram shakings and intensity in the region of South-Ukrainian energy complex. Outlined measures to further improve the reliability of the network and the quality of the results of seismic observations.

**Keywords:** seismological monitoring, seismic activity, earthquakes, industrial explosions, seismic shaking intensity, magnitude, seismic observation post, seismic station, seismic event, the magnitude, the earthquake catalog.

**Вступ.** Необхідність організації сейсмічного моніторингу району Ташлицької ГАЕС (ТГАЕС) була обумовлена тим, що його робота в гідроакумуючій режимі може привести до перерозподілу тектонічних напружень і викликати локальні місцеві землетруси.

Проект мережі сейсмічних спостережень в районі розташування Південноукраїнського енергокомплексу був розроблений Інститутом геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України (ІГФ НАН України) у 2005 році [1]. Згідно проекту замовником побудовані приміщення центральної станції та пунктів спостережень, закуплено сейсмічну апаратуру та комп'ютерну техніку.

В кінці 2009 р. у ДП НАЕК «Енергоатом» був прийнятий «План заходів з оцінювання сейсмічної небезпеки і перевірки сейсмостійкості існуючих АЕС». План, розрахований на 2010-2014 р.р., включає в себе:

- розробку проектів систем сейсмологічного моніторингу з метою отримання кількісних характеристик сейсмічних дій на відповідальні об'єкти АЕС від ближніх і дальніх землетрусів, а також для постійного контролю геодинамічної ситуації в районі їх розташування (2010);

- виконання робіт з спорудження приміщень, шурфів та постаментів для пунктів сейсмічних спостережень на майданчиках станцій, придбання апаратно-програмних засобів для систем сейсмологічного моніторингу, їх монтаж і налагодження (2011);

- у 2012 р. заплановано введення систем в експлуатацію;

В кінці 2011 р. керівництво ВП «Південноукраїнської АЕС» звернулося з пропозицією про налагодження системи та організацію сейсмічних спостережень в зоні впливу споруд Ташлицької ГАЕС до ІГФ НАН України. В даному напрямку фахівці Інституту протягом 2012-2016 р.р. виконали ряд науково-дослідних робіт, основні результати яких викладені у [2-6] та узагальнені в даній роботі.

**Мета і завдання.** Метою даної роботи є узагальнення результатів сейсмічних спостережень в районі Південноукраїнського енергокомплексу за період 2012-2015 р.р. Для досягнення мети необхідно провести аналіз матеріалів сейсмічних спостережень на пунктах реєстрації в районі досліджень, структурування сейсмічних подій за часовими періодами і дальністю розташування епіцентрів вогнищ землетрусів, а також ідентифікацію промислових вибухів.

**Об'єкт і методи дослідження.** Об'єктом даної роботи є сейсмічність району

розташування Південноукраїнського енергокомплексу, яка характеризується результатами обробки первинних матеріалів сейсмічних спостережень на пунктах реєстрації, зведеними у відповідні каталоги сейсмічних подій. Для проведення досліджень використовувалися сейсмологічні спостереження, обробка та аналіз первинних матеріалів сейсмічних спостережень згідно відповідних методик [7], узагальнення сейсмічних даних за чотирирічний період інструментальних сейсмічних спостережень.

**Результати досліджень.** Після розробки проекту системи сейсмічного моніторингу ТГАЕС для забезпечення неперервного ряду сейсмологічних спостережень, та, особливо, для отримання сейсмічної інформації як до, так і після заповнення водосховища в процесі експлуатації ТГАЕС, фахівцями ІГФ було організовано проведення в районі тимчасових сейсмічних спостережень до введення в дію штатної системи моніторингу. Пункт тимчасових сейсмічних спостережень було облаштовано в приміщенні колишнього складу вибухових речовин на території Навчального центру ПУ АЕС поряд з діючою тепер Центральною сейсмостанцією. В якості реєструючої апаратури було використано сейсмометр DAS-04, розроблений і виготовлений у Відділі сейсмічності Карпатського регіону ІГФ, укомплектований давачами СМЗ-КВ [8].

Враховуючи, що згідно проекту замовником були побудовані приміщення центральної станції та пунктів спостережень, закуплено сейсмічну апаратуру та комп'ютерну техніку, з 2012 р. розпочалися постійні сейсмічні спостереження в автономному режимі мережею з чотирьох сейсмостанцій – “Центральна”, “Іванівка”, “Щуцьке”, “Арбузинка”, з 2013 р. була введена в експлуатацію п'ята станція – “Трикрати”. На усіх пунктах сейсмічних спостережень (ПСС) було встановлено апаратно-програмні комплекси (АПК), а саме: сейсмометри фірми Guralp Systems Ltd SMG-3T, в комплект якого входить GPS, комп'ютери, які призначені для накопичення інформації та модеми. SMG-3T забезпечує реєстрацію параметрів коливань за ортогональними координатами N-S, E-W і Z в динамічному діапазоні біля 140 дБ та синхронізацію вступів сейсмічних хвиль з еталонним часом. В процесі пробної експлуатації було встановлено, що пункти мережі мають досить високу чутливість – впевнено реєструють телесеісмічні та регіональні сейсмічні події, отримані записи дають можливість точно локалізувати віддалені вибухи. В табл. 1 наведено сумарну кількість регіональних і телесеісмічних землетрусів по роках, зареєстрованих мережею ПСС в районі розташування ТГАЕС за 2012-2015 р.р. До каталогів [2-4] увійшли регіональні землетруси в радіусі від 300 до 1000 км з магнітудою  $M > 3,5$  і телесеісмічні в радіусі понад 1000 км з магнітудою  $M > 5$ .

Таблиця 1 – Кількість телесеісмічних та регіональних сейсмічних подій, зареєстрованих мережею ПСС в районі розташування ТГАЕС за 2012-2015 р.р.

Сейсмічні події	2012	2013	2014	2015
Регіональні	93	180	133	194
Телесеісмічні	677	1123	781	450

Порівняно з даними Сейсмологічного центру EMSC кількість поданих у табл. 1 землетрусів є дещо меншою, що обумовлено певними технічними причинами (перебої у постачанні електроенергії, збої у роботі системи зв'язку, неякісні джерела гарантованого живлення тощо), які необхідно усунути при продовженні спостережень.

Як приклад регіональних подій наведено землетрус, який відбувся 22.11.2014 р. в 19:14:17.2 з магнітудою  $M_w = 5.6$  і епіцентром в Румунії в районі Вранча з координатами  $45.87^\circ$  N;  $27.16^\circ$  E. На рис. 1 наведено розташування епіцентру землетрусу та трикомпонентна акселерограма, перерахована з його запису на центральній сейсмостанції в районі Південноукраїнського енергокомплексу.

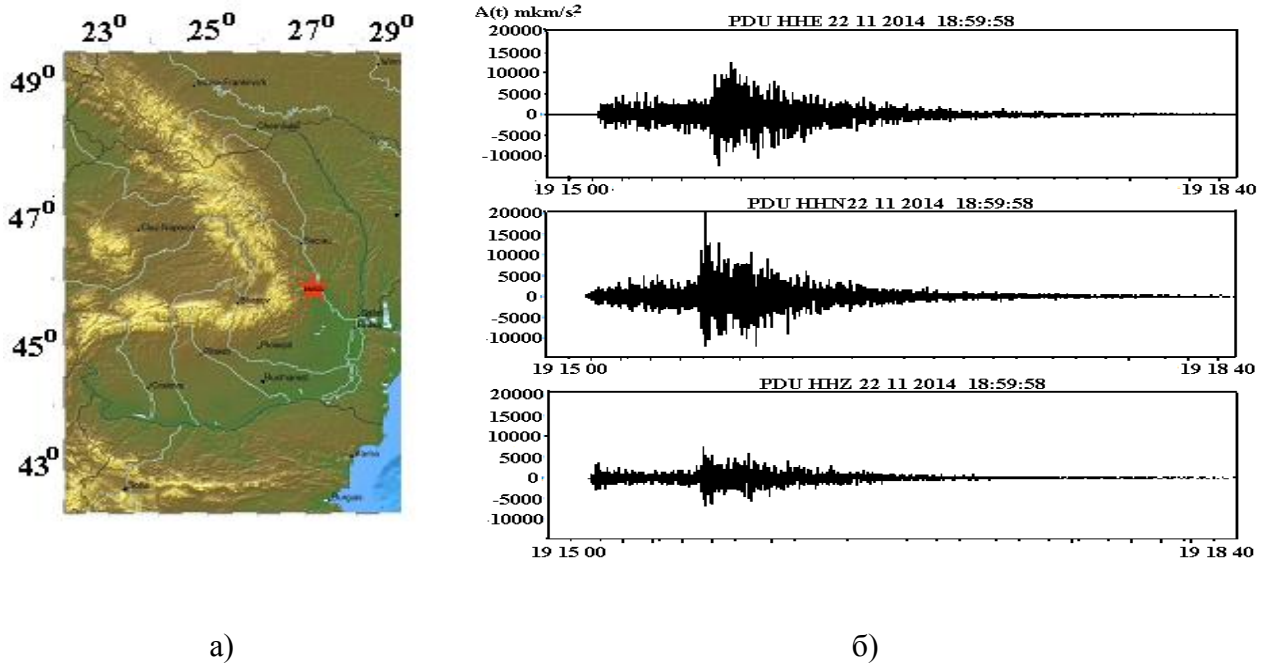


Рис. 1. Землетрус з району Вранча 22.11.2014 р.: а – розташування епіцентру землетрусу (за даними EMSC); б – трикомпонентна акселерограма, перерахована з запису на центральній сейсмостанції в районі Південноукраїнського енергокомплексу

Записи ортогональних складових землетрусу пронормовані до максимального значення (20 000 мкм/сек<sup>2</sup>, або 0,02 м/сек<sup>2</sup>, на складовій N-S, друга зверху) для візуалізації співвідношення між ними. Інтенсивність струшувань від землетрусу 22.11.2014 р. в районі Південноукраїнського енергокомплексу ~ 2 бали за шкалою MSK-64 [9] (розраховано за аналітичними рівняннями поширення сейсмічних хвиль, дальність до епіцентру 370 км).

В числі усіх сейсмічних подій, крім землетрусів, мережею ПСС в районі розташування ТГАЕС реєструвалися також численні вибухи як з ближніх, поблизу с. Олександрівка Миколаївської області, так і віддалених промислових кар'єрів, зокрема з Первомайського ( $\varphi=48.1187^{\circ}\text{N}$ ,  $\lambda=33.5461^{\circ}\text{E}$ ), Інгuleцького ( $\varphi=47.8370^{\circ}\text{N}$ ,  $\lambda=33.3109^{\circ}\text{E}$ ) кар'єрів в районі Кривого Рогу. Для прикладу на рис. 2 приведено запис вибуху з району с. Олександрівка Миколаївської області 31.03.2012 р. о 10 год 51 хв 23.1 с, зареєстрований на ПСС "Центральна".

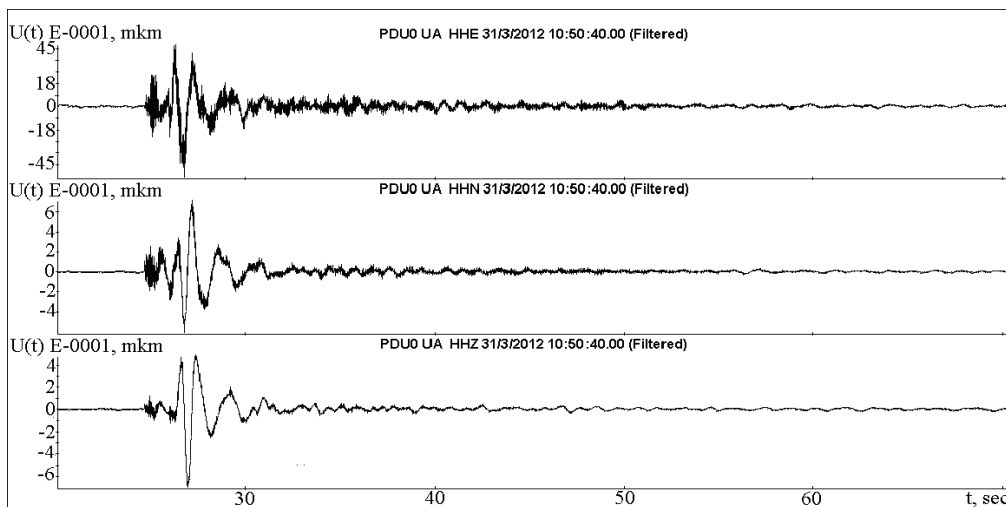


Рис. 2. Запис вибуху з району с. Олександрівка Миколаївської області 31.03.2012 р. о 10 год 51хв 23.1 с, зареєстрований на ПСС "Центральна"

При обробці зареєстрованої сейсмічної інформації проводилася ідентифікація промислових вибухів, однак до каталогів, а отже і до табл. 1 вони не внесені.

Основне завдання сейсмічного моніторингу в районі Південноукраїнського енергокомплексу – реєстрація місцевих сейсмічних подій, що необхідно для періодичного уточнення сейсмічної безпеки майданчика енергокомплексу. Однак, за весь період інструментальних сейсмічних спостережень, включаючи тимчасові, який становить понад 10 років, місцевих сейсмічних подій **не зареєстровано**, хоча, для прикладу в районі Дністровського енергокомплексу, де ІГФ НАН України проводить аналогічні спостереження, щорічно реєструється кілька десятків слабких місцевих землетрусів.

#### **Висновки:**

1. В районі Південноукраїнського енергокомплексу понад 10 років проводяться інструментальні сейсмічні спостереження, понад 4 роки – на стаціонарних ПСС сейсмометрами SMG-3T виробництва фірми Guralp Systems Ltd (Великобританія).

2. ПСС мережі мають високу чутливість – впевнено реєструють телесеісмічні та регіональні сейсмічні події, отримані записи дають можливість точно локалізувати віддалені вибухи.

3. Місцевих сейсмічних подій за період спостережень **не зареєстровано**, хоча реальна чутливість ПСС дає підстави бути впевненим у їх надійній реєстрації та локалізації.

4. Для підвищення надійності подальшого функціонування мережі та якості результатів сейсмічних спостережень необхідно усунути певні технічні недоліки (перебої у постачанні електроенергії, збої у роботі системи зв'язку, неякісні джерела гарантованого живлення тощо).

#### **Література**

1. Кендзера А.В., Сафронов О.Н., Вербицкий С. Т. и др. Разработка проекта системы сейсмических наблюдений для мониторинга местной сейсмичности в районе размещения Южно-Украинского энергокомплекса / Отчет ИГФ НАН Украины. – Симферополь-Киев-Львов, 2005. – 93 с.

2. Вербицкий С.Т., Сапужак І.Я., Пронишин Р.С. та ін. Сейсмологічний моніторинг в зоні впливу споруд Ташлицької ГАЕС. Запуск системи сейсмологічних спостережень в робочому режимі та створення каталогу зареєстрованих сейсмічних подій / Заключний науково-технічний звіт ІГФ НАН України. – Київ-Львів, 2012. – 36 с.

3. Вербицкий С.Т., Сапужак І.Я., Пронишин Р.С. та ін. Глава 10. Утримання замовника та авторський нагляд. 10-3. Моніторинг навколишнього середовища в зоні впливу споруд Ташлицької ГАЕС в т.ч.: сейсмостанції. Сейсмічний моніторинг в зоні впливу споруд Ташлицької ГАЕС/Заклучний науково-технічний звіт ІГФ НАН України. – Київ-Львів, 2014. – 66 с.

4. Вербицкий С.Т., Сапужак І.Я., Пронишин Р.С. та ін. Сейсмічний моніторинг в зоні впливу споруд Ташлицької ГАЕС / Інформаційний звіт ІГФ НАН України. – Київ-Львів, 2016. – 54 с.

5. Вербицкий С.Т. Система сейсмічного моніторингу Ташлицької ГАЕС / С.Т. Вербицкий, І.Я. Сапужак, Р.С. Пронишин та ін. // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – Київ, ДП НДІБК, 2010. – Вип. 73. – С381-388.

6. Сапужак І.Я. Організація сейсмічного моніторингу атомних електростанцій України / І.Я. Сапужак // Геодинаміка. – Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2011. – №2 (11). – С. 278-280.

7. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР. – М.: Наука, 1982. – 273 с.

8. Вербицкий С.Т. Апаратно-програмний комплекс DAS-04 для моніторингу небезпечних геодинамічних процесів та природних явищ / С.Т. Вербицкий, Ю.Т. Вербицкий, І.Я. Сапужак, А.Ф. Стасюк // В зб. „Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища”. – Київ: КНУ, 2006. – С. 159-161.

9. Медведев С.В (Москва), Шпонхойер (Иена), Карник (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.

Стаття надійшла 26.08.2016