

## ЦИФРОВИЙ СЕЙСМОПРИПЛИВНИЙ КОМПЛЕКС ПОЛТАВСЬКОЇ ГРАВІМЕТРИЧНОЇ ОБСЕРВАТОРІЇ: ТЕХНОЛОГІЯ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

### *Вступ*

Геодинамічні дослідження мають велике наукове і практичне значення для моніторингу навколошнього середовища і останнім часом інтенсивно розвиваються. Вони пов'язані з розробленням таких важливих науково-технічних проблем, як прогнозування землетрусів, зсуvin, визначенням стійкості небезпечних геотехнічних об'єктів і необхідні для вирішення багатьох актуальних проблем фундаментальної геофізики. Для експериментальних досліджень використовують різноманітні фізичні методи і технічні засоби.

Для Полтавської гравіметричної обсерваторії Інституту геофізики НАН України (ПГО) дослідження геодинамічних процесів є традиційними. Вони розпочалися більше ніж 80 років тому з дослідження земних припливів і коливань широти в Полтаві, гравіметричних знімань та складання карти гравітаційного поля України. Згодом, після війни були виконані припливні дослідження на геофізичних профілях і спостереження за варіаціями сили тяжіння в різних пунктах України. Спостереження виконувались, як правило, фотогальванометричним способом і їх технічний рівень та точність досліджень відповідали тодішньому світовому рівню, а деякі одержані геофізичні дані можуть використовуватись для геофізичних досліджень навіть сьогодні.

З 80-х років ХХ століття дослідження геодинамічних процесів в ПГО стали виконуватись переважно в межах програм прогнозування землетрусів та розроблення методів стійкості геологічного середовища. Це потребувало розширення обсягу робіт і нового технічного рівня та повної автоматизації спостережень. У 80–90-х роках для вирішення цього завдання були розпочаті роботи з розробки компенсаційних сейсмонахиломірів [1] та освоєння цифрового способу реєстрації припливів на перфораторах чи друкуючих пристроях [2]. Як виявилось, впровадження компенсаційних сейсмонахиломірів навіть сьогодні актуальне, а освоєння вказаного цифрового методу неперспективне. Тільки з появою недорогих і надійних комп'ютерів та високоточних мікросхем АЦП в ПГО в кінці минулого та на початку цього століття були освоєні сучасні комп'ютерно-цифрові технології вимірювання і реєстрації геофізичної інформації. При цьому знадобилось не тільки створити і освоїти такі системи реєстрації, але й відповідно до сучасного технічного рівня удосконалити припливні датчики-прилади (гравіметри,

нахиломіри) для розширення їх можливостей. Також необхідно було доповнити їх датчиками інших геофізичних полів, особливо метеорологочними датчиками, тому що основні спотворення даних земноприпливних спостережень генеруються метеорологічними факторами. Отже, виникла необхідність створення на території обсерваторії єдиного геодинамічного комп'ютерно-цифрового комплексу, що виконувалось поетапно.

### *Принципи побудови і функціонування геодинамічного комплексу*

Одним з етапів створення комплексу є розроблення принципів функціонування комплексу, визначення його основних складових компонент та почерговості їх реалізації. На цьому етапі було розглянуто різні варіанти складу комплексу і виділено головні вимоги до його складових частин. Відповідно до існуючих в ПГО умов:

а) необхідно було забезпечити високоточну комп'ютерно-цифрову реєстрацію припливних і сейсмічних даних з гравіметра та компенсаційних сейсмонахиломірів;

б) геодинамічний комплекс повинен надійно і безперервно працювати протягом кількох років, тому комп'ютерні блоки, блоки АЦП і датчики повинні пройти тривалі випробування;

в) система живлення датчиків і АЦП блоків повинна забезпечувати якісне і надійне основне та резервне живлення без завад;

г) АЦП повинні мати розрядність не меншу за 20 біт та частоту оцифровки не меншу за 10 Гц (для реєстрації землетрусів);

д) комплекс має бути приєднаний до комп'ютерної мережі і мати можливість прямого доступу до мережі Інтернет;

е) необхідно передбачити можливість розширення системи шляхом приєднання датчиків додаткової геофізичної інформації;

ж) програма забезпечує запис цифрової інформації з можливістю візуалізації даних спостережень і синхронізацію часу за Гринвічем;

ж) через обмежені фінансові і трудові ресурси необхідно використовувати серійні та недорогі комп'ютерні та інтерфейсні блоки;

з) реєстрація сейсмічних сигналів потребує визначення частотних і фазових характеристик датчиків, АЦП і комп'ютерно-цифрового комплексу загалом. Найпростіший варіант – запис імпульсних перехідних характеристик.

Створення цифрового геодинамічного комплексу в ПГО розпочалося в 1998–2000 рр. з

випробовувань різних варіантів комп'ютерних систем реєстрації і АЦП у складі автокомпенсаційного сейсмонахиломіра (спільно з відділом регіональних досліджень УкрДГРІ). Датчики були встановлені в шурфі підземного приміщення на території ПГО, а АЦП і комп'ютер – у лабораторній кімнаті на віддалі 75 м. Умови експлуатації сейсмонахиломірів були типово польськими. Це дало змогу відпрацювати технологію комп'ютерно-цифрової реєстрації сейсмічних і приливних сигналів та уточнити конструктивні особливості основних блоків комплексу. На основі одержаного досвіду у 2001–2004 рр. було створено автономну комп'ютерно-цифрову систему реєстрації земно-приливних даних. Система має роздільність 24 біти, частоту оцифровки 10 Гц. Вона може працювати і в польових умовах і як елемент геодинамічного комплексу. У середині 2004 року таку систему було з'єднано з модернізованим гравіметром GS-11, виконано інструментальні дослідження і розпочато спостереження.

У 2005 р. гравіметричну і сейсмонахиломірну системи реєстрації було приєднано до комп'ютерної мережі обсерваторії і в автоматичному режимі організовано запис геофізичної інформації до банку даних і, таким чином, створено першу чергу цифрового сейсмоприливного геодинамічного комплексу ПГО. Згодом, у 2005–2007 рр. комплекс дополнено високоточними цифровими датчиками тиску, інсоляції та температури. Також передбачено можливість розширення комплексу шляхом приєднання датчиків інших геофізичних і метеорологічних полів. Комплекс має можливість виходу в Інтернет мережу. Зауважимо, що подібні комплекси створені та діють в обсерваторіях Німеччини [3], Бельгії [4], Японії [5] та інших.

Комп'ютерно-цифрова технологія потребує створення відповідного програмного забезпечення не тільки для реєстрації даних, але й для їх візуалізації в режимі реального часу і для по-передньої обробки даних. Для цього використовуються як стандартні програми, так і створені нові спеціалізовані програмні продукти.

#### *Приливний гравіметр і сейсмічні та земноворонливі спостереження*

Для спостережень за варіаціями сили тяжіння в ПГО використовуються гравіметри фірми Асканія типу GS-11 і GS-12 з фотоелектричними датчиками. Корисний сигнал на їх виході становить всього декілька мікроволт і в класичному варіанті використовується гальванометрична реєстрація, що в минулому забезпечувало достатню якість реєстрації приливів [6].

Однак, для цифрової реєстрації приливів з точністю краще 0,1% такого рівня сигналу не-

достатньо. Крім того, як показали досліди, релейна система управління термостатом гравіметра генерує значні спотворення в сейсмічному діапазоні частот. Це не дає змоги використовувати гравіметри для реєстрації сейсмічних сигналів, не зважаючи на те, що вони можуть бути високоточними датчиками сейсмічних сигналів, особливо в довгоперіодному діапазоні, де лежать вільні коливання Землі. Тому виникла потреба в модернізації системи управління термостатом і позиційного датчика. У 2003–2004 рр. вказані блоки гравіметра GS-11 було модернізовано та удосконалено деякі інші вузли. Це значно підвищило його метрологічні та експлуатаційні характеристики. Корисний сигнал на виході гравіметра збільшився в декілька сотень разів, спотворення від термостата стало незначним і з'явилася можливість, крім земних приливів, реєструвати сейсмічні коливання в діапазоні частот від 1 Гц до 0,00025 Гц (періоди 1,0–4000 с).

У кінці 2004 р після завершення модернізації та циклу інструментальних досліджень гравіметр і комп'ютерно-цифрову систему поставлено на постійну реєстрацію земних приливів і вертикальної компоненти сейсмічних сигналів. Для порівняння певний час одночасно виконувалася фотогальванометрична реєстрація приливів. Встановлено, що якість цифрових записів земних приливів не гірша, ніж при гальванометричній реєстрації. Це видно з рис. 1, де показано фрагмент цифрового запису приливи з мікросейсмами (без фільтрації) і та ж реалізація після цифрової НЧ фільтрації мікросейсм (стало зразу 40 с). На рис. 2 дано місячну реалізацію приливи. Для масштабування і визначення амплітудних та фазових частотних характеристик виконується періодична реєстрація імпульсів заданої величини (див. рис. 3).

Можливості гравіметра і комплексу як широкополосного реєстратора сейсмічних сигналів, зокрема і в діапазоні вільних коливань Землі, видно з рис. 4–6. На рис. 4 показано цифровий запис приливів і далекого сильного землетрусу на Камчатці. На рис. 5 показано запис Індонезійського землетрусу 28.03.2005 р. з  $M=8,7$ . На рис. 6 показано реалізацію цього землетрусу після однократної (А) і двократної (Б) фільтрації сейсмічних сигналів. Видно, що основна мода вільних коливань Землі (59 хв.) загасає за 3–4 періоди, а високочастотні моди з періодами 3–18 хвилин довго не загасають. Дані потребують детальнішої математичної обробки та аналізу.

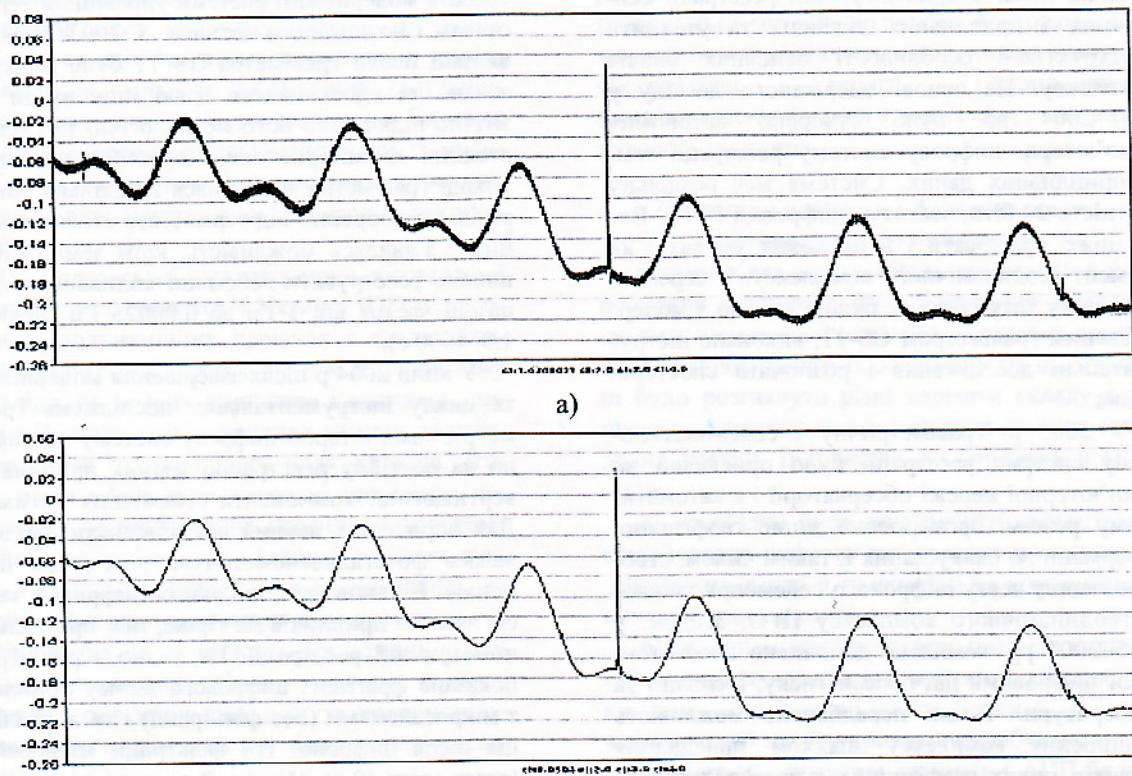
#### *Цифрова реєстрація сейсмонахиломірних та інших геофізичних даних*

Дослідження земних приливів нахиломірами мають більш ніж столітню історію з пері-

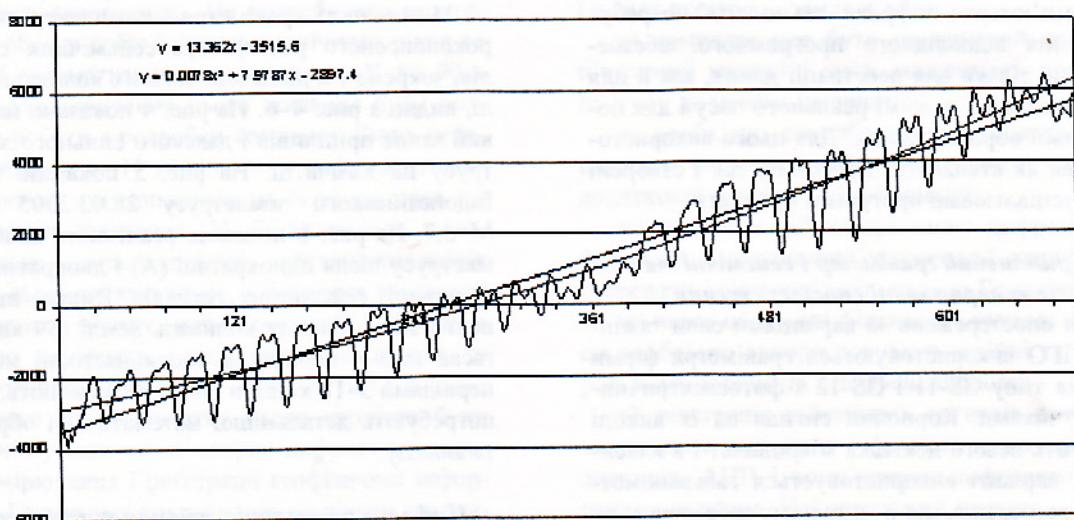
одичними злетами та падіннями інтересу до них. На початку минулого століття стояла проблема виявлення цього явища і горизонтальні маятників нахиломіри були першими приладами, які достовірно показали наявність земних припливів [7]. Особливо інтенсивний розвиток вони мали в два перші десятиліття після Міжнародного геофізичного року (1957 р.), що привело до створення високоякісних приладів і

досить точних наукових теорій: розходження між експериментальними і теоретичними припливами не перевищували процента.

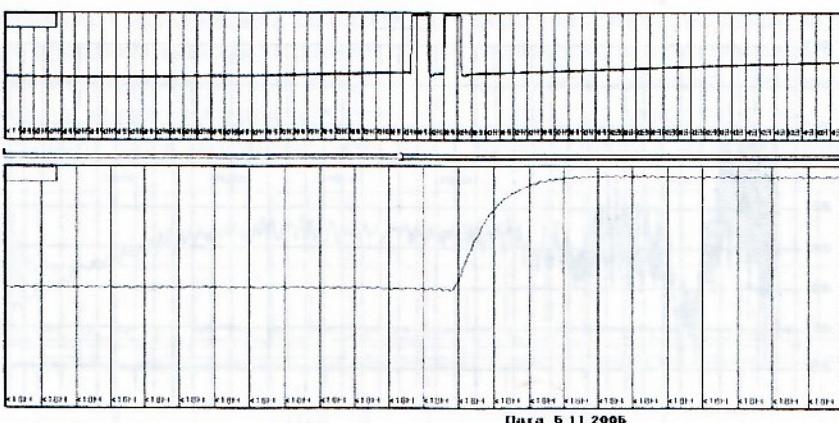
У кінці ХХ століття з'явились нові технічні засоби (надпровідникові гравіметри, РСДБ), на які вплив локальних неоднорідностей значно менший і точність реєстрації припливних ефектів значно вища.



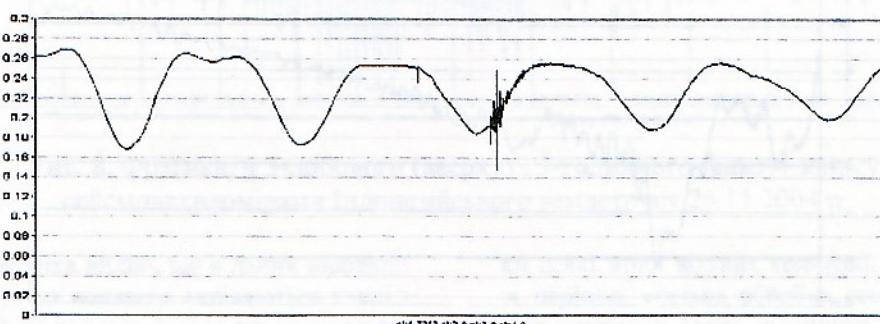
**Рис. 1.** 7-добовий запис припливів з калібровкою бісектором:  
без НЧ фільтрації мікросейм (а) та з НЧ фільтрацією (б)



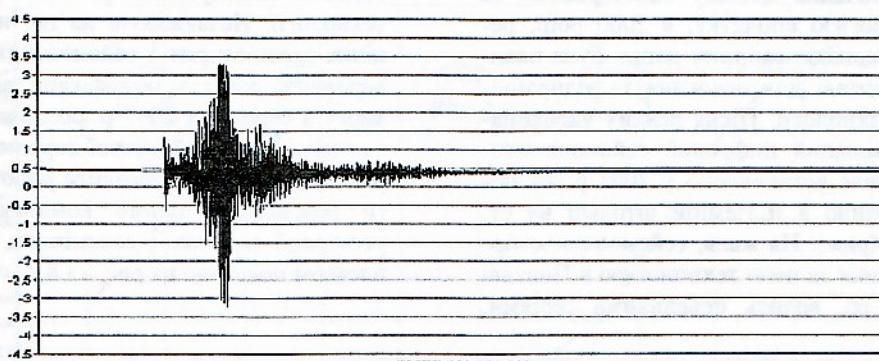
**Рис. 2.** Місячна цифрова реалізація припливу  
після фільтрації і видалення калібровочних зсувів з лінійним і поліноміальним дрейфом  
(2005 р., з 29.06 по 29.07)



**Рис. 3.** Одногодинний (вверху) запис імпульсів калібрувки бісектором (456 мГал) без фільтрації. Внизу – однохвилинний інтервал, розгортка переходного процесу



**Рис. 4.** 6-добовий запис припливів і сильного землетрусу з фільтрацією (гравіметр, 3 травня 2006 р., M=7,9, 15.26.40 UT)

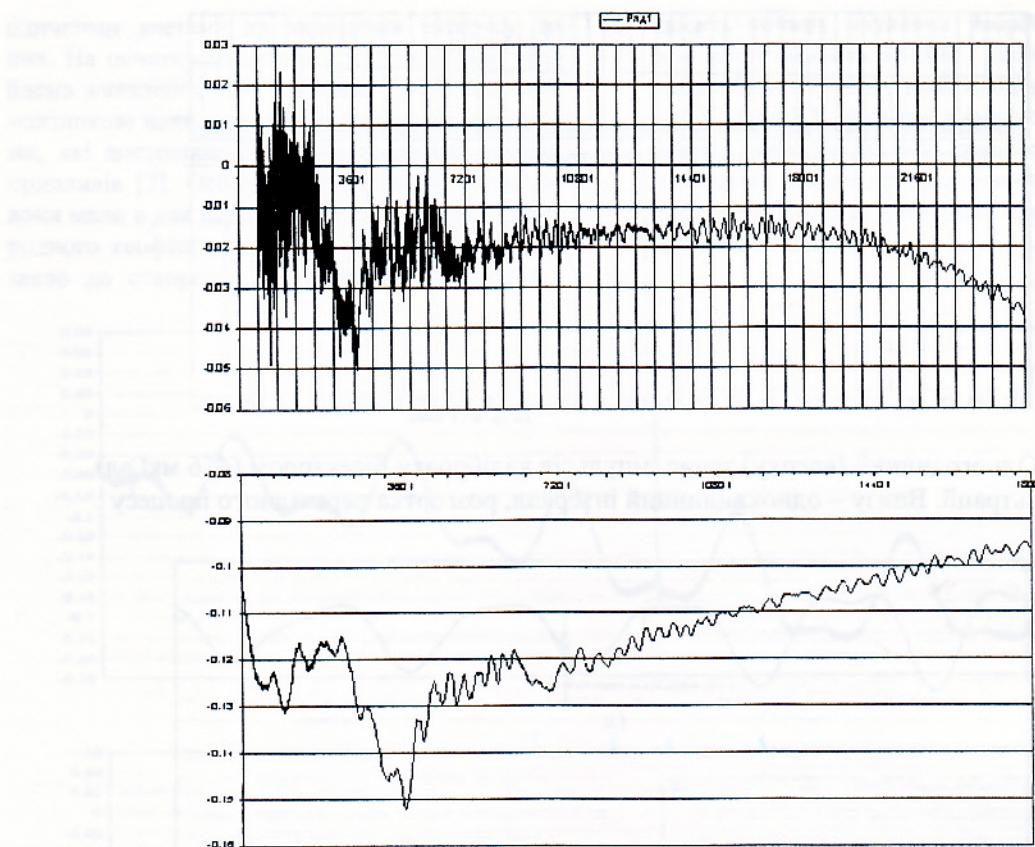


**Рис. 5.** Дводобовий запис надпотужного Індонезійського землетрусу 28 березня 2005 р. з M=8,7

Тому, через високу чутливість нахиломірів до локальних механічних і фізичних неоднорідностей геосередовища інтерес до земновипливних нахиломірних досліджень дещо знишився. Але, з іншого боку, вказані фактори породили нову, надзвичайно важливу сферу застосування нахиломірів для моніторингу геологічного середовища, землетрусів та стану важливих технічних об'єктів. Тут деформаційні нахиломірні спостереження (включно з дослідженням земних припливів) можуть стати важливим складовим елементом будь-якої системи моніторингу геосе-

редовища.

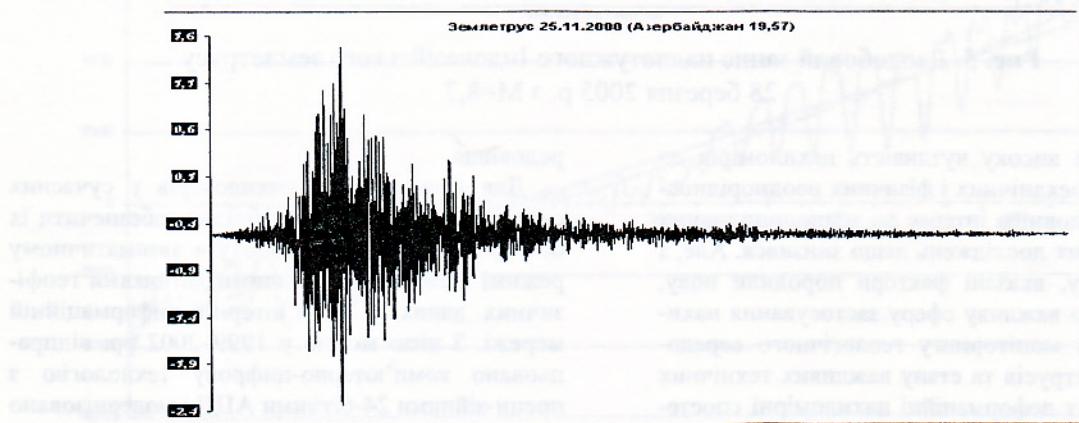
Для використання нахиломірів у сучасних системах моніторингу необхідно забезпечити їх безперервну і надійну роботу в автоматичному режимі в комплексі з іншими датчиками геофізичних даних в комп’ютерній інформаційній мережі. З цією метою у 1999–2002 рр. відправлено комп’ютерно-цифрову технологію з прецизійними 24-бітними АЦП і модернізовано розроблені нами ще в 80-х роках автокомпенсаційний сеймонахиломіри.



**Рис. 6.** Фрагмент запису цього ж землетрусу (рис. 5) після НЧ фільтрів зі смугами зрізу:  
вверху – 60 с; внизу – 60 і 180 с

Для накопичення досвіду спостережень за новою технологією спочатку, в 2000 році, реєстрація сейсмонахиломірних даних була налагоджена в Полтаві для освоєння та відпрацювання такої технології. Після деяких удосконалень відпрацьований цифровий сейсмонахиломірний комплекс встановлено у 2001 р. на постійну реєстрацію в підземній штолні на ст. “Херсонес” (Крим). На жаль, сейсмонахиломірні спостереження за цією технологією в Полтаві у 2002–2006 рр. велись невеликими серіями,

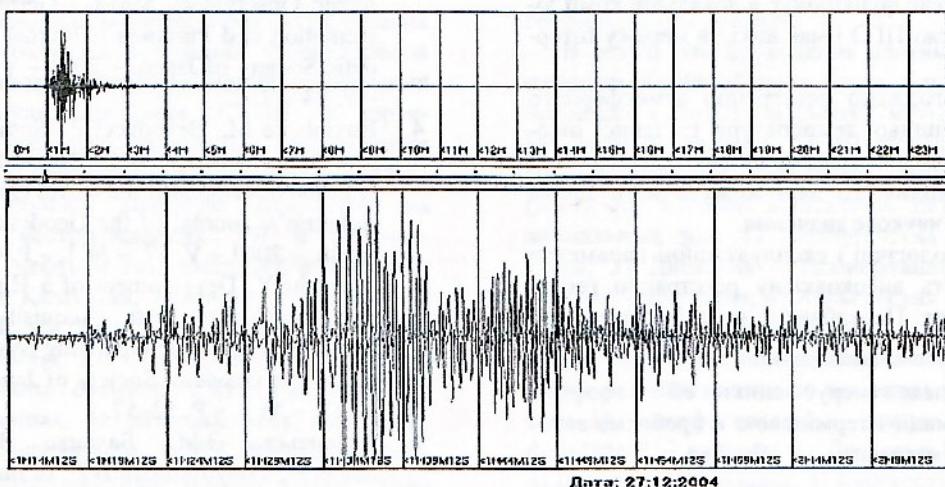
оскільки виконувались роботи з удосконалення технології. Незважаючи на це, нами одержана цінна нахиломірна і сейсмічна інформація. Завершення робіт з модифікації апаратури дало змогу з середини 2007 р. розпочати реєстрацію нахиломірної і сейсмічної інформації у безперервному режимі і налагодити роботу першої черги сейсмоприпливного комплексу. Приклади реєстрації нахилів і сейсмічних сигналів комплексом показано на рис. 7 і 8.



**Рис. 7.** Нахиломір, 25.11.2000 р. Фрагмент цифрового запису землетрусу в Азейбарджані,  $M=5,4$ .

При гравіметричних і нахиломірних спостереженнях земних припливів виникають спотворення, спричинені метеофакторами. Для врахування цих спотворень налагоджено цифрову реєстрацію атмосферного тиску, зовнішньої тем-

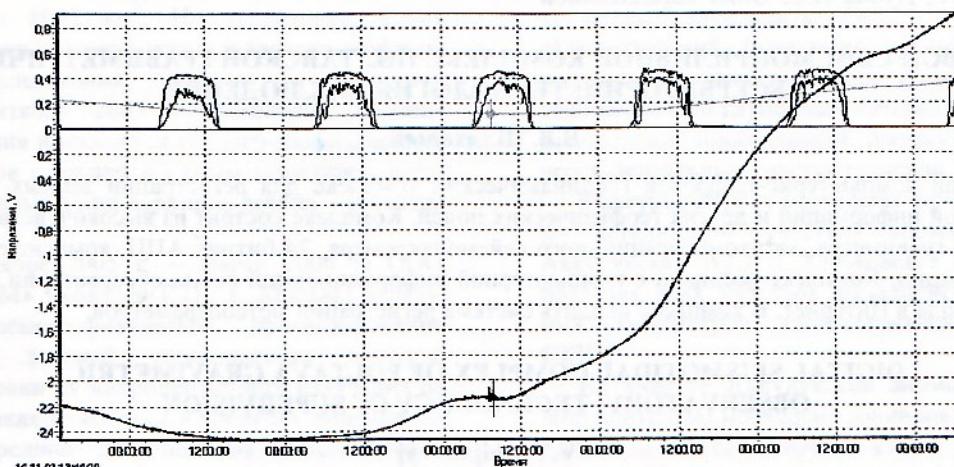
ператури і денної інсоляції. Зауважимо, що спостереження за цими факторами мають не тільки допоміжне значення, а й самостійний інтерес. Приклад одночасного запису інсоляції та сейсмонахиломірних даних наведено на рис. 9.



**Рис. 8.** Фрагменти 3-добового (вверху) і 3-годинного (внизу) запису сейсмонахиломірами Індонезійського землетрусу 26.12.2004 р.

З цього рисунка видно, що в даних інсоляції крім денно-ночних коливань виділяються хвилі з періодами 10-20 хвилин. Більш високочастотні коливання в інсоляції реєструються рідко і мають значно менші амплітуди коливань. Оскіль-

ки деякі моди вільних коливань Землі мають ті ж періоди, спільна обробка геофізичних і метеорологічних даних підвищить надійність цих досліджень.



**Рис. 9.** 6-дoba цифрова реєстрація нахилів, сейсмічних сигналів та інсоляції в двох спектрах. Полтава, 26.03.2003 р.

Зараз комплекс реєструє земні припливи та сейсмічні сигнали (три компоненти) і деякі допоміжні дані (атмосферний тиск, зовнішню температуру, денну інсоляцію). Цифровий сейсмоприпливний комплекс генерує величезну кількість цінної та якісної геофізичної інформації у файловому вигляді: приблизно 100 Мб на добу. Навіть її перегляд та попередня обробка потребують великого часу. Питання автома-

тизації обробки цих даних стойть надзвичайно гостро. З 2000 року в ПГО функціонує перманентний пункт GPS спостережень європейської мережі EUREF з точністю визначення координат 2-3 мм [7]. Отже, на території ПГО ми маємо серйозний геодинамічний комплекс, придатний для розв'язання наукових і практичних задач сучасної геофізики.

### **Висновки**

1. У Полтаві створено сейсмоприливний комплекс для високоточної реєстрації в комп'ютерний банк даних 3-х компонентних сейсмічних, приливних та інших геофізичних даних. Комплекс функціонує в локальній комп'ютерній мережі ПГО і має вихід в мережу Інтернет.

2. Налагоджено реєстрацію атмосферного тиску, зовнішньої температури та денної інсоляції – основних факторів, що спровоцирують земний приплив. Ці дані можуть мати також самостійне наукове значення.

3. Метрологічні і експлуатаційні параметри забезпечують високоякісну реєстрацію геофізичних даних. Передбачено можливість розширення вимірювального комплексу.

4. Комплекс генерує великий об'єм геофізичної інформації і терміновою є проблема автоматизації її математичної обробки.

### **Література**

1. Шляховий В.П., Острівський А.Е. Наклономер автокомпенсаціонного типу и перспективы его применения для целей прогноза землетрясений / Развитие сейсмопрогностических исследований на Украине. Сб. науч.тр. – Киев: Наук. думка, 1984. – С. 99–104.
2. Острівський А.Е., Матвеев П.С., Шляховий В.П., Дубик П.С. Опыт параллельной

регистрации приливных наклонов по каналам цифропечати и фото записи. // Вращение и приливные деформации Земли. – 1978. – Вып. 10. – С. 30–33.

3. Jahr T., Jentzsch G., Kröner C. The Geodynamic Observatory Moxa. / Germany: Instrumentation and Purposes // Journal of the Geodetic Society of Japan. – 2001 – V. 47. – № 1. – P. 34–39.
4. Ruymbeke M., Beauducel F., Somerhausen A. The Environmental Data Acquisition System (EDAS) developed at the Royal Observatory of Belgium // Journal of the Geodetic Society of Japan. – 2001 – V. 47. – № 1. – P. 40–46.
5. Imanishi Y. Development of a High-Rate and High-Resolution Data Acquisition System based on a real-time Operating System // Journal of the Geodetic Society of Japan. – 2001 – V. 47. – № 1. – P. 52–57.
6. Аксент'єва З.М., Баленко В.Г., Булащенко В.Г., Голубицький В.Г. та інші. Спостереження варіацій вертикальної складової сили тяжіння на території України в 1955–1997 pp. // Вращение Земли и геодинамика. – 2002. – Т. 18, № 3. – С. 195–204.
7. Shliahovoi V.P., Nekrasov V.V., Zalivadnyi N.M. Analysis of the Preliminary Results of GPS Observation Series at the Poltava Gravimetric Observatory // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. – 2005. – N 5. – P. 365–368.

## **ЦИФРОВОЙ СЕЙСМОПРИЛИВНОЙ КОМПЛЕКС ПОЛТАВСКОЙ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ: ТЕХНОЛОГИЯ НАБЛЮДЕНИЙ**

**B.B. Шляховий**

Создан компьютерно-цифровой геодинамический комплекс для регистрации земных приливов, сейсмической информации и других геофизических полей. Комплекс состоит из высокочувствительного приливного гравиметра, автокомпенсаціонного сейсмонакломера, 24-битных АЦП, компьютерных систем регистрации. Комплекс соединен с компьютерной информационной сетью обсерватории с возможностью выхода в Интернет. В комплекс входит система регистрации метеопараметров.

## **DIGITAL SEISMOTIDAL COMPLEX OF POLTAVA GRAVIMETRIC OBSERVATORY: TECHNOLOGY OF SUPERVISION**

**V.V. Shlyahovoj**

The digital computer geodynamic complex is used for registration of earth tides, the seismic information and other geophysical fields. It consists from high-sensitivity tidal gravimeter, autocompensatory seismotiltmeter, 24-bits ADC, computer systems of registration and the system of registration of meteoparameters. The complex is connected from a computer information network of an observatory to Internet.