

В. В. Кошовий – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач Шацької міжвідомчої науково-дослідної екологічної лабораторії, завідувач відділу фізичних методів розпізнавання слабоконтрастних об'єктів в неоднорідних середовищах Фізико-механічного інституту імені Г. В. Карпенка НАН України, м. Львів;

О. Л. Івантишин – кандидат технічних наук, науковий співробітник відділу фізичних методів розпізнавання слабоконтрастних об'єктів в неоднорідних середовищах Фізико-механічного інституту імені Г. В. Карпенка НАН України, м. Львів;

І. М. Горбань – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник Шацької екологічної лабораторії Фізико-механічного інституту імені Г. В. Карпенка НАН України, м. Львів;

О. В. Альохіна – молодший науковий співробітник Шацької екологічної лабораторії Фізико-механічного інституту імені Г. В. Карпенка НАН України, м. Львів;

В. П. Мезенцев – науковий співробітник відділу акустичних інформаційних систем Львівського центру Інституту космічних досліджень НАН України та Національного космічного агентства України, м. Львів;

Х. О. Петрів – інженер II категорії Шацької екологічної лабораторії Фізико-механічного інституту імені Г. В. Карпенка НАН України, м. Львів

Вплив сонячної активності на екологічні процеси на природо-заповідних територіях Західного Полісся: проблема чи гіпотеза?

Роботу виконано у Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка НАН України та Львівському центрі Інституту космічних досліджень НАН України та НКА України

Наведено результати експериментальних досліджень та аналізу деяких проявів сонячної активності та геоэффективної реакції на них низки біотичних та абіотичних компонентів біогеосистеми природно-заповідних територій Західного Полісся, виконаних з використанням сучасних інструментальних засобів (декаметровий радіотелескоп УРАН-3, транскордонна мережа моніторингу ґрунтів, цифрова метеостанція тощо) та наземних спостережень змін стану цих компонентів. Розглянуто вплив довготривалих циклічних геліопроектів на екологічні процеси і вплив спорадичних короткотривалих компонентів сонячної активності, які обумовлюють геомагнітні збурення та збурення природного атмосферного інфразвуку в біогеосистемі.

Ключові слова: сонячна активність, біогеосистема, природно-заповідна територія, геліопроекти, геомагнітні збурення, природний атмосферний інфразвук, екологічні процеси, біоіндикатор, реляційна база даних, сонячно-земні зв'язки, кореляційно-регресійний аналіз.

Кошовой В. В., Ивантышин О. Л., Горбань И. М., Алехина О. В., Мезенцев В. П., Петров Х. О. Влияние солнечной активности на экологические процессы природо-заповедных территорий Западного Полесья: проблема или гипотеза? Приведены результаты экспериментальных исследований и анализа некоторых проявлений солнечной активности и геоэффективной реакции на них ряда биотических и абиотических компонентов биосистемы природно-заповедных территорий Западного Полесья, выполненных с использованием современных инструментальных средств (декаметровый радиотелескоп УРАН-3, трансграничная сеть мониторинга почв, цифровая метеостанция и т. п.) и наземных наблюдений изменений этих компонентов. Рассмотрено влияние на экологические процессы долговременных циклических гелиопроектів и влияние спорадических кратковременных компонентов солнечной активности, которые обуславливают геомагнитные возмущения и возмущения природного атмосферного инфразвука в биосистеме.

Ключевые слова: солнечная активность, биосистема, природно-заповедная территория, гелиопроекти, геомагнитные возмущения, природный атмосферный инфразвук, экологические процессы, биоиндикатор, реляционная база данных, солнечно-земные связи, корреляционно-регрессионный анализ.

Koshovyy V. V., Ivantyshyn O. L., Gorban I. M., Alokhhina O. V., Mezentsev V. P., Petriv Kh. O. Influence of Solar Activity on the Ecological Processes of the Naturally-Protected Territories of Western Polesie: Problem or Hypothesis? Results of experimental researches and analysis of some solar eruptive events and geo-efficient reaction on them of row of biotic and abiotic components of the West Polesie naturally-protected territories biogeosystem executed with the use of modern tools (decameter radio-telescope URAN-3, transboundary network of soils monitoring, digital weather-station and others like that) and ground-based supervisions of changes of these components state, have been presented. Influence on the ecological processes of the long-term cyclic helio-processes and influence of the short-term sporadic solar eruptive events, which cause the geomagnetic and infrasound activity in the biogeosystem, are considered

Key words: sun activity, biogeosystem, naturally-protected territory, helio-processes, ecological processes, geomagnetic activity, infrasound activity, bio-indicator, relational database, solar-terrestrial interactions, cross-correlation-regressive analysis.

Постановка наукової проблеми та її значення. Робота презентує результати досліджень авторів із проблеми сонячно-земних зв'язків, які стосуються геоєфективних проявів сонячної активності (СА) на природно-заповідних територіях (ПЗТ). Такі дослідження потрібні, в першу чергу, для того, щоб для зниження екологічних ризиків відповісти на запитання, чи існують реакції компонентів біогеосистеми Західного Полісся, стан яких характеризує екологічну стабільність на цих ПЗТ, на динаміку та інтенсивність сонячних процесів.

Екологічна безпека передбачає науково обґрунтоване розв'язання завдань збереження і відновлення природних екосистем і є важливою складовою частиною концепції сталого розвитку територій. Екологічні процеси обумовлені й природними чинниками (найбільш вагомим є сонячна радіація, її інтенсивність, мінливість та особливості взаємодії з середовищем навколороземного простору), і техногенними.

Аналіз останніх досліджень із цієї проблеми. Вплив активних процесів в атмосфері є глобальною проблемою, але конкретні геоєфективні прояви цього впливу мають і регіональні особливості на поверхні Землі [6]. ПЗТ є природними експериментальними полігонами для проведення таких досліджень, оскільки знаходяться в регіонах мінімального техногенного впливу і є найбільш чутливими до геоєфективних проявів СА. Саме тому в представленій роботі, що виконується в рамках Цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень на 2012–2016 рр., для досліджень вибрані ПЗТ Західного Полісся (ПЗТ-ЗП), які є одним із центральних ядер пан-європейської екологічної мережі, що відіграє важливу кліматоутворювальну і біорегулювальну роль для значної частини європейського континенту.

Про вплив сонячних процесів на різноманітні земні процеси відомо давно, наукова спільнота приділяє цьому питанню значну увагу. Космічні фактори («космічна погода») помітно впливають і на роботу, і надійність технологічних систем [5], так і на здоров'я людей [11]. Однак такий вплив, зазвичай, досліджується через широкомасштабні глобальні процеси, а вплив СА на біотичні та абіотичні природні компоненти біогеосистем на регіональному рівні поки що досліджується менше. Стосовно ПЗТ-ЗП такі дослідження практично не проводилися. Авторам відома лише одна робота [13], у межах якої проведено комплексне дослідження кліматичних змін на Поліссі. Однак автори лише констатують деякі наслідки і не досліджують причини, які їх обумовлюють, зокрема, яка частка впливу СА є у їхньому формуванні.

Формулювання мети та завдань статті. Наукова робота є однією з перших спроб вивчити проблему впливу СА на компоненти конкретної біогеосистеми (ПЗТ-ЗП) на основі порівняння та аналізу зібраних та систематизованих даних про фізичні характеристики СА та її земні прояви за тривалий період. Шацький національний природний парк (НПП) є ключовою природоохоронною територією Транскордонного біосферного резервату (ТБР) ЮНЕСКО «Західне Полісся» [10]. Його територія входить до переліку Всеєвропейської екологічної мережі в межах міжнародної програми ЄС–НАТУРА 2000 та Рамсарської конвенції. ЮНЕСКО визнало Шацькі озера найбільш цінними прісноводними екосистемами Східної Європи.

Матеріали і методи. Екосистеми ПЗТ-ЗП є динамічними природними системами, на екологічні процеси яких впливають природні й антропогенні фактори. Однак вплив останніх за досліджуваний період не був значним. Суттєвим винятком може стати будівництво надглибокого (до 55 м) піщано-крейдового Хотиславського кар'єру на кордоні Білорусі з Україною, наслідки якого можуть значно загострити екологічні проблеми ПЗТ-ЗП.

Найбільший вплив на зміни «космічної погоди» мають сонячні спалахи, корональні викиди мас (КВМ), які є найбільш імовірними джерелами геомагнітних збурень (ГМЗ) [2], та області стиснення, обумовлені взаємодією потоків швидкого і повільного сонячних вітрів [12]. У результаті взаємодії високошвидкісного потоку заряджених часток сонячного вітру з іоносферною плазмою ці процеси можуть спричиняти екологічно небезпечні ефекти в геосистемі, зокрема виникнення ГМЗ [3] на поверхні Землі та підвищену генерацію природного атмосферного інфразвуку (АІ) в її атмосфері [9]. Ці два фізичні фактори (ГМЗ та АІ) можуть бути одними із основних чинників, що обумовлюють екологічно небезпечний вплив СА на біотичні компоненти біогеосистем. Причому, якщо ГМЗ вже давно визнані в літературі як фактор цього впливу, який інтенсивно вивчається [2], то вплив природного АІ і, особливо, його зв'язок з активними процесами на Сонці, поки що маловивчений [9].

Для з'ясування цих питань у роботі досліджено наявність зв'язку (кореляції) між процесами, що характеризують прояви СА в різних фізичних полях і діапазонах випромінювання (оптичному, ультрафіолетовому, санти- і декаметровому (ДКМ) радіодіапазонах, м'якому рентгенівському), та обумовлені нею ГМЗ та збурення АІ, з одного боку, та зміни стану біотичних та абіотичних компонентів біогеосистеми ПЗТ-ЗП, з іншого. Комплекс досліджень на цьому етапі включав:

- 1) збір та аналіз даних про активні геліопроекти та їхні прояви в різних фізичних полях та діапазонах випромінювання і про геоелектричні прояви цих процесів;
- 2) побудову реляційної бази даних (РБД) характеристик визначених процесів;
- 3) статистичний і кореляційно-регресійний аналізи зібраних даних;
- 4) оцінку та інтерпретацію отриманих результатів.

Збір інформації здійснювався способом проведення комплексних синхронізованих досліджень різних проявів СА (радіоастрономічних (РА) на радіотелескопі (РТ) УРАН-3, із використанням сучасних інструментальних засобів і баз даних спостережень різних космічних обсерваторій (SOHO/LASCO та ін.) з мережі Інтернет) і наземних спостережень та інструментальних вимірювань змін стану компонентів біогеосистеми ПЗТ-ЗП:

- спостереження ПЗТ-ЗП засобами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та геоінформаційних систем (ГІС) [8];
- наземні спостереження і вимірювання параметрів біотичних та абіотичних компонентів [7];
- дослідження АІ (вимірювач інтенсивності АІ) [9];
- дослідження водно-температурних режимів ґрунтів (інструментальна мережа моніторингу ґрунтів [1]);
- дослідження мікроклімату (температура, кількість опадів, вологість).

У РБД внесено основні показники геліо- та геофізичних проявів СА: відносні числа Вольфа W ; площі сонячних плям S ; потік радіовипромінювання на частоті 2800 МГц ($\lambda = 10,7$ см) $F_{10,7}$; глобальний сонячний UV -індекс ультрафіолетового випромінювання; індекс інтенсивності ГМЗ D_{st} ; $X(1-8\text{Å})$ – значення потоку м'якого рентгенівського випромінювання (1–8 Å, 12,5–1 кеВ). Дані про параметри спорадичного ДКМ радіовипромінювання Сонця практично відсутні, оскільки на постійній основі такі спостереження в цьому діапазоні поки що не проводяться [12]. Тому такі спостереження з реєстрацією радіосплесків II, III та IV типів започатковані на РТ УРАН-3 із використанням ширококутових динамічних спектрів. На сьогодні проведено одну сесію неперервних спостережень (з 15.06.2011 р. по 15.09.2011 р., 350 годин записів), а з 25.03.2012 р. проводиться друга сесія. У РБД внесено дані про тип, початок, тривалість і швидкість дрейфу радіосплесків.

Синхронно з РА спостереженнями вперше проведено синхронні неперервні спостереження АІ і оцінку огинаючої його коливань (рис. 1) [4] і спектру. Ці параметри занесено у РБД. Слід розрізняти природний АІ у спокійному (рис. 1а) і збуреному (рис. 1б) станах, у якому різко зростає розмах коливань, особливо вищих частот. Зміни стану природного АІ пов'язані насамперед із сонячним добовим ходом, змінами СА, сейсмічними збуреннями та іншими геофізичними процесами.

До РБД внесено також дані, що характеризують екологічні процеси на ПЗТ-ЗП за період 1986–2011 рр.:

- кліматичні показники за період сонячного циклу 1998–2010 рр.;
- морфометричні та деякі фізичні та біологічні параметри екосистем (видовий склад лісів, водність і заростання макрофітною рослинністю озер (з ГІС-аналізу космічних знімків), параметри водно-температурних режимів ґрунтів);

– характеристики біологічних популяцій та рослинних угруповань, які відіграють роль біоіндикаторів екологічного стану локальних екосистем на цій території; для оцінки стану екосистем ПЗТ-ЗП виділено 12 основних біоіндикаторів в орнітофауні.

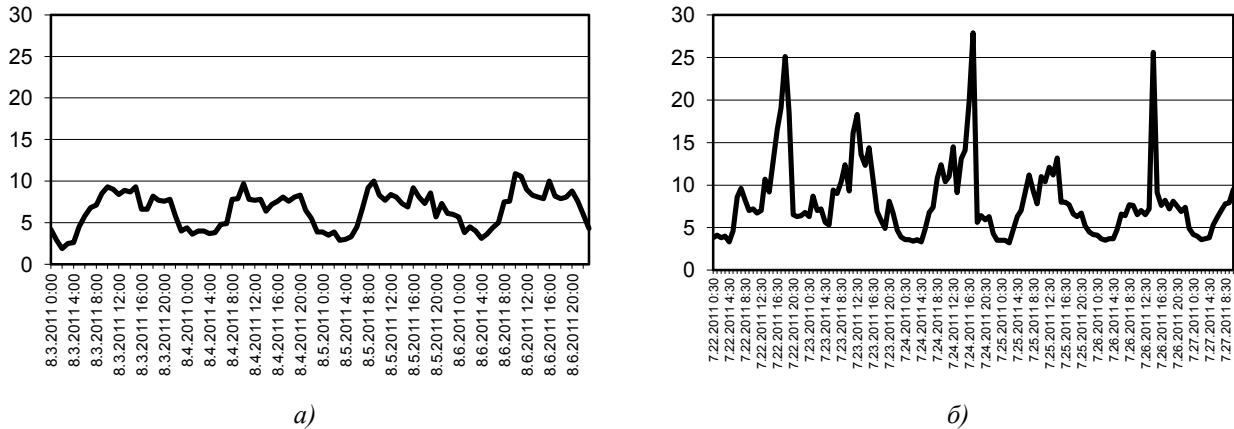


Рис. 1. Природний АІ (огиаюча коливань) в спокійному (а) і у збуреному (б) станах

Структура РБД (рис. 2), засоби обробки та аналізу даних розроблені в СУБД MS Access для структурування даних про процеси різної фізичної природи, перетворення великого масиву неструктурованих текстових даних у РБД і її наповнення, що забезпечує можливість комплексної математичної обробки даних.

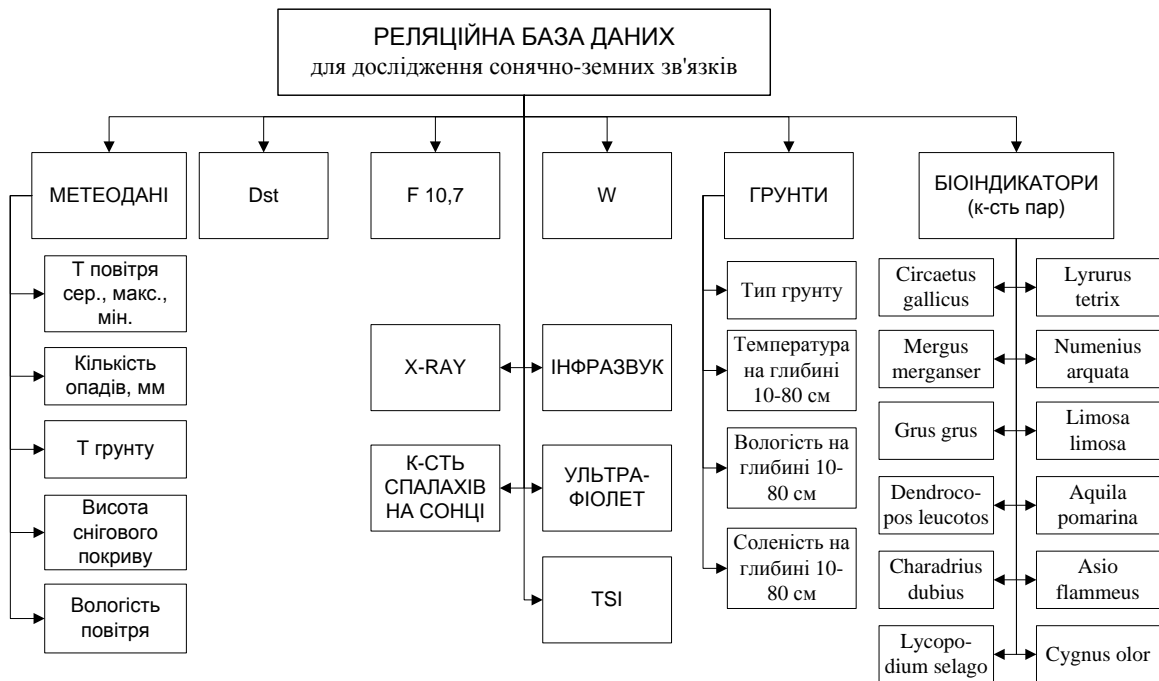


Рис. 2. Структура бази даних для вивчення сонячно-земних зв'язків

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів

Приклади виявлених сонячно-земних зв'язків (попередні результати):

1. **Ланцюжок сонячно-земних подій: сонячний спалах – КВМ – ДКМ радіосплеск II типу – ГМЗ – природний АІ (рис. 2).** Виявлено сплески ДКМ радіовипромінювання Сонця, обумовлені активними процесами в сонячній короні, зокрема КВМ. Наприклад, 03.08.2011 р. активна область 1261 (N15 W21) на Сонці стала джерелом спалаху класу M6.0, який супроводжувався КВМ (рис. 3а, б зліва) і рентгенівським спалахом (спутника GOES-15) (рис. 3а, б справа). РТ УРАН-3 у цей час зареєстрував ДКМ радіосплески II, III та IV типів (рис. 3в, тривалість запису – 37 хв). Початок радіосплеску II типу збігається з початком рентгенівського спалаху. Через два дні зафіксовано

початок ГМЗ на Землі (рис. 3г, верхній запис – D_{st}) (Світовий центр даних по геомагнетизму). Через два дні після зафіксованого початку ГМЗ, спричиненого КВМ, зафіксований максимум АІ (рис. 3г, нижній запис). Рисунок 4 – приклад зміни спектральної густини коливань природного АІ під дією сонячного спалаху 03.08.2011 р. (рис. 4а – спектральна густина АІ до спалаху, рис. 4б – після). Огинаюча коливань природного АІ має стійку добову ритміку, а збуреність атмосфери різними факторами космічного та геофізичного походження її руйнують.

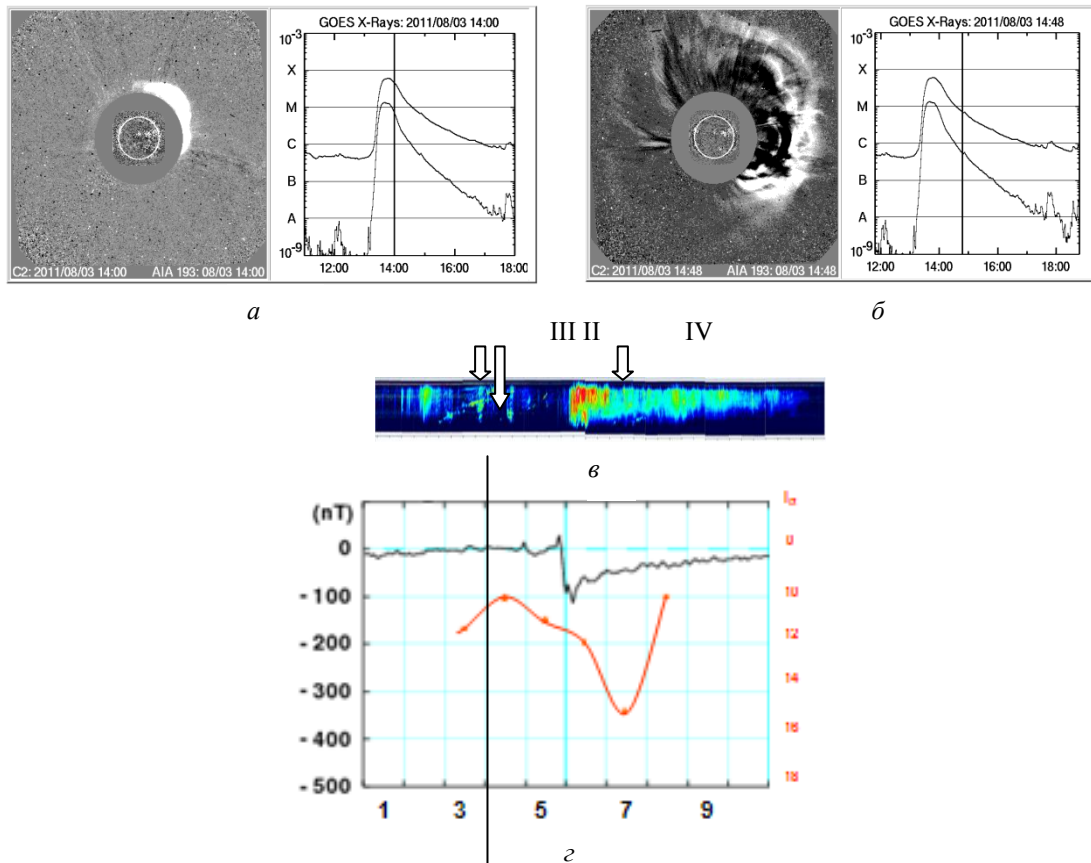


Рис. 3. Активні процеси в сонячній короні 03.08.2011 р. (спалах класу M6.0 супроводжувався КВМ (14:00)). Процес КВМ в оптичному ((а) і (б) зліва) і в рентгенівському ((а) і (б) справа) діапазонах. ДКМ радіосплески II, III та IV типів 03.08.2011 р. в околі 14:00 (в). ГМЗ – початок 05.08.2011 р. (г, верхній запис)). Атмосферний інфразвук (максимум – 07.08.2011 р. (г, нижній запис))

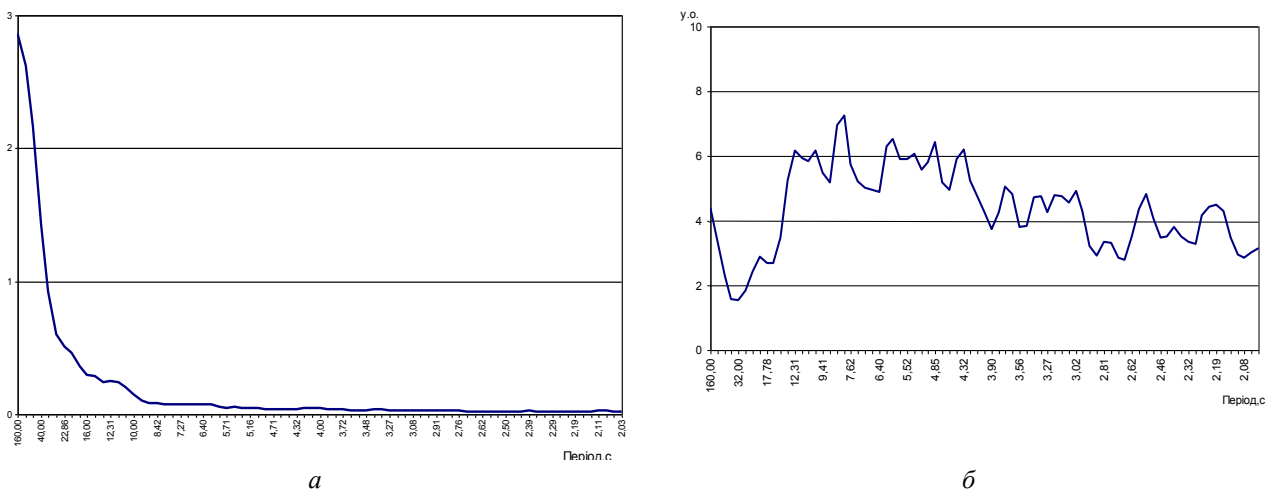


Рис. 4. Оцінки спектральної густини випадкових коливань природного інфразвуку (03.08.2011 р., до сонячного спалаху (а), у збуреному стані після спалаху (б))

2. Вплив СА на водно-температурні режими поліських ґрунтів (рис. 5). Встановлено кореляційний зв'язок між функціональними параметрами ґрунту (температура, вологість, електропровідність), вимірними автоматизованою мережею моніторингу ґрунтових екосистем на базі приладу TDR, та числами Вольфа W .

На рисунку 5 наведено лінійні регресійні залежності від W температури ґрунту торфовища низинного типу на глибині 10 см (а) ($R = 0,6$) та температури повітря (б) ($R = 0,8$) за період 2009–2010 рр.

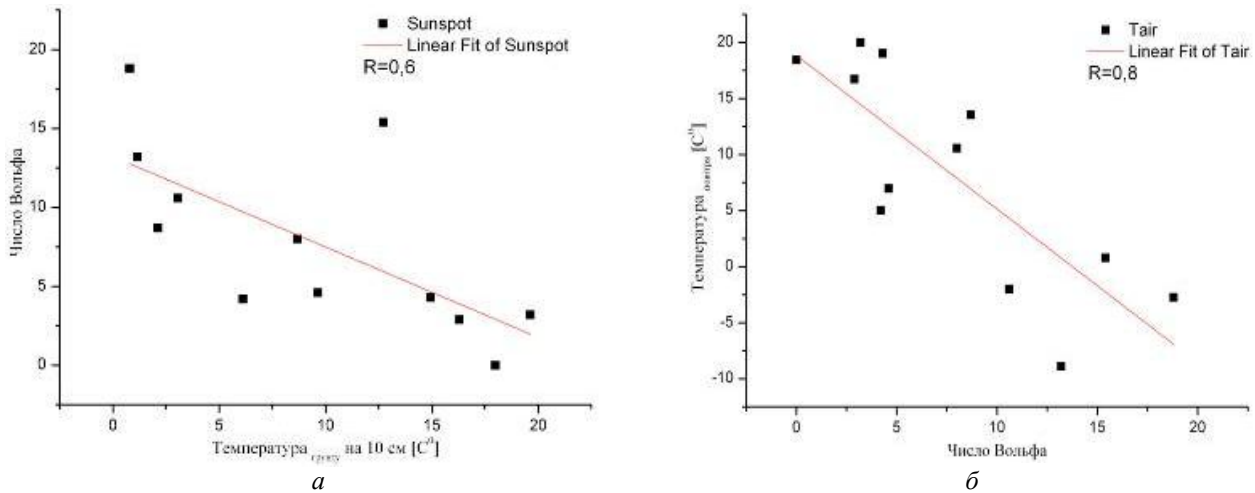


Рис 5. Кореляційно-регресійні оцінки залежностей температури ґрунту на 10 см (а) та температури повітря (б) від W для торфовища низинного типу (2009–2010 рр.)

3. Вплив СА на рослинність демонструє рисунок 6, на якому порівняні зміни (1986–2009 рр.) чисел Вольфа W і коефіцієнтів заростання ρ' (ρ' – відношення площі макрофітної рослинності до площі водного дзеркала $S_{\text{в.дз.}}$) озер Шацького НПП, які отримані на основі ДЗЗ і характеризують еволюцію біокомпонентів водного середовища (коефіцієнт кореляції між W та ρ' для більшості озер $R \geq 0,68$).

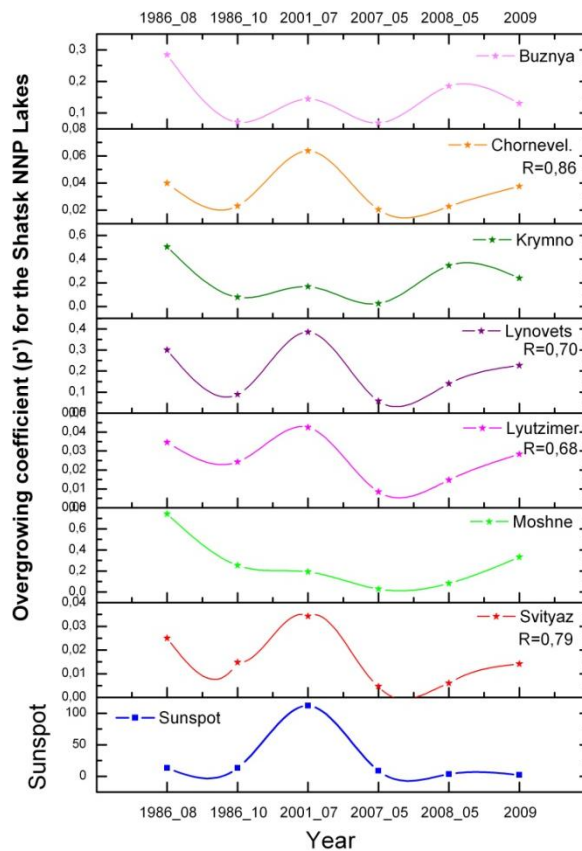


Рис. 6. Зміни чисел Вольфа W (sunspot) та коефіцієнтів заростання ρ' (overgrowing coefficient) озер Шацького НПП (1986–2009 рр.)

4. Вплив СА на чисельність популяцій біоіндикаторів. На рисунку 7 наведено залежності між флуктуаціями чисельності деяких біоіндикаторів і зміною числа Вольфа W (sunspot) за період 1982–2010 рр.: а) – дятел білоспинний (*woodpecker*), б) – тетерук (*blackcock*). Видно, що ці біоіндикатори чітко реагують на 11-річні сонячні цикли, але з різною фазовою затримкою.

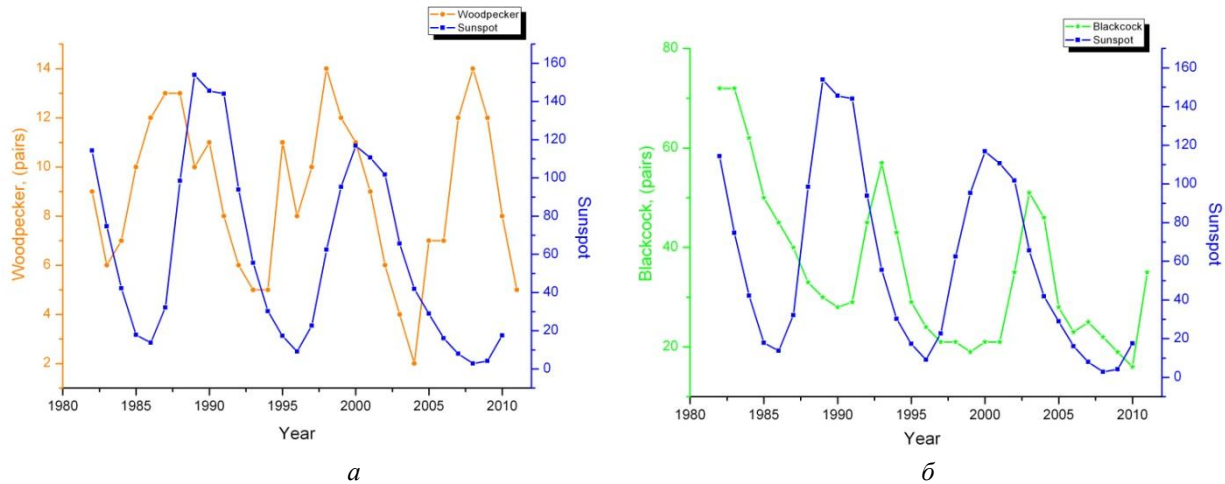


Рис. 7. Флуктуації чисельності біо індикаторів: а) дятел білоспинний, б) тетерук

5. Кореляційно-регресійний аналіз даних. Запити до РБД в MS Access використовуються для перегляду й аналізу даних і створюються з використанням синтаксису мови SQL і формуванням 2D-таблиці даних (табл. 1). За період 1998–2010 рр. найбільш чутливими до змін індикаторів СА є три біоіндикатори: журавель сірий, пісочник малий, підорлик малий. Лінії регресії, які визначають характер кореляційного зв'язку ($R > 0,75$) між середніми значеннями параметрів СА і чисельністю популяцій біоіндикаторів, наведені на рисунку 8.

Таблиця 1

Вибіркові результати парного кореляційно аналізу (1998–2010 рр.)

X	Y	$R(x,y)$	X	Y	$R(x,y)$
W	$F_{10.7}$	0,993	$F_{10.7}$	Журавель сірий	-0,761
$F_{10.7}$	D_{st}	-0,848	W	Підорлик малий	-0,804
W	D_{st}	-0,863	D_{st}	Пісочник малий	-0,831

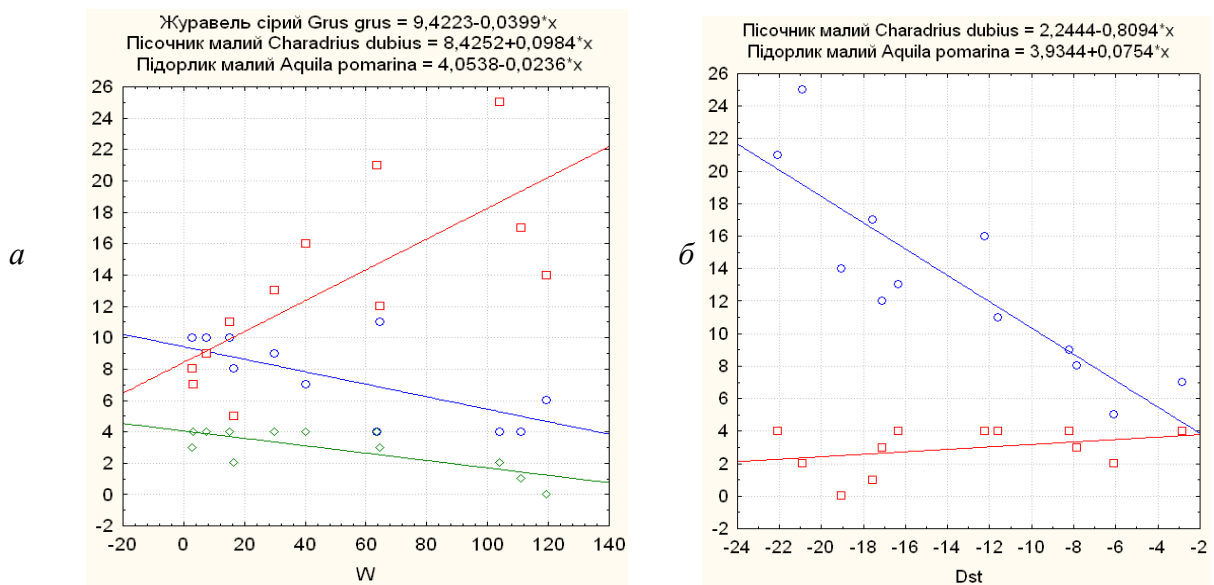


Рис. 8. Кореляційні зв'язки між параметрами СА (W (а) і D_{st} (б)) та чисельністю популяцій деяких біоіндикаторів

Попередні висновки і перспективи подальших досліджень. Розроблена структура і наповнена реляційна база даних, яка містить інформацію про показники СА і про стан компонентів біогеосистеми ПЗТ Західного Полісся. Частина наукових даних є оригінальними і отриманими авторами вперше.

Встановлено нові кореляційні зв'язки, які характеризують вплив СА на біотичні й абіотичні компоненти біогеосистеми ПЗТ Західного Полісся і мають значення для адаптації сучасних технологій управління цією територією до кліматичних змін.

Список використаної літератури

1. Особливості фонового агроєкомоніторингу ґрунтів у агроландшафтах Шацького національного природного парку / О. В. Альохіна, М. І. Зінчук, В. В. Кошовий, М. Й. Шевчук // Наук. вісн. Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки. Серія : Екологія. – 2009. – № 1. – С. 135–142.
2. Биленко И. А. Геоэффективность солнечных эруптивных событий / И. А. Биленко // Солнечно-земная физика. – 2008. – Вып. 12. – Т. 1. – С. 60–61.
3. Веселовский И. С. Связь между D_{st} и B_z для геомагнитных бурь в 23 солнечном цикле / И. С. Веселовский, Ю. С. Шугай, О. С. Яковчук // Солнечно-земная физика. – 2008. – Вып. 12, т. 1. – С. 172–173.
4. Драган Я. П. Методы вероятностного анализа ритмики океанологических процессов / Я. П. Драган, В. А. Рожков, И. Н. Яворский. – Л. : Гидрометеоздат, 1987. – 319 с.
5. Зеленый Л. М. Ветер, ветер, ты могуч... / Л. М. Зеленый, Ю. И. Ермолаев // Природа. – 2005. – Т. 5. – № 9. – С. 4–14.
6. Интерпретация физических причин глобального и регионального климатических откликов на долговременные вариации солнечной активности / [Распопов О. М., Дергачева В. А., Козырева О. В. и др.] // Солнечно-земная физика. – 2008. – Вып. 12. – Т. 2. – С. 276–278.
7. Довгохвильові сонячні радіосплески як індикатори активних процесів на Сонці / [М. Ковальчук, М. Стоділка, В. Кошовий та ін.] // Вісн. Львів. ун-ту. – 2011. – Вип. 46. – С. 105–112.
8. Особливості створення географічної інформаційної системи для екологічного моніторингу / [Л. І. Муравський, В. В. Кошовий, О. В. Альохіна та ін.] // Вчені зап. Таврійського нац. ун-ту ім. В. І. Вернадського. Серія : Географія. – 2010. – Т. 23 (62). – № 2. – С. 190–200.
9. Інфразвук космічного походження та його вплив на земні процеси / С. О. Сорока, В. П. Мезенцев, Л. М. Каратаєва, О. С. Сорока // Космічна наука і технологія. – 2008. – Вип. 14, № 6. – С. 73–88.
10. Створення Транскордонного біосферного резервату та регіональної екологічної мережі в Поліссі : зб. наук. ст. / під ред. Я. П. Дідуха та П. М. Черінька. – К. : Нац. комітет України з програми ЮНЕСКО «Людина і біосфера», 2008. – 252 с.
11. Солнечно-земные связи и здоровье человека / И. Стоилова, С. Димитрова, Т. Бреус, Т. Зенченко, Т. Янев // Солнечно-земная физика. – 2008. – Вып. 12. – Т. 2. – С. 336–339.
12. Система декаметровых радиотелескопов УРАН как инструмент для исследования космической погоды / И. С. Фалькович, Н. Н. Калиниченко [и др.] // Радиофизика и радиоастрономия. – 2011. – Т. 16, № 2. – С. 144–153.
13. Natural parks in wetlands and forest areas – Ukraine [Electronic resource]. – Mode of access : www.wetlandsclimate.net

Статтю подано до редколегії
17.09.2012 р.