

УДК 58.087:528.854.2

Жуков О. В., Гофман О. П.

## АНАЛІЗ ЧАСОВИХ РЯДІВ ПОКАЗНИКА NDVI РОСЛИННОСТІ ВЕЛИКОГО ЧАПЕЛЬСЬКОГО ПОДУ ЗА 2010–2015 рр.

*За допомогою методу головних компонент здійснено аналіз часових рядів показника NDVI для різних типів рослинності Великого Чапельського поду за період 2010–2015 рр. Отримано власні числа головних компонент для виділених кластерів. Встановлені періоди здебільшого відбивають піврічну та річну динаміку.*

**Ключові слова:** часові ряди, біосферний заповідник, Асканія-Нова, метод головних компонент, NDVI, степові фітоценози.

### Вступ

Територія Біосферного заповідника «Асканія-Нова» за геоботанічним районуванням [3] належить до Асканійського геоботанічного району, Чаплинсько-Якимівсько-Приазовського геоботанічного округу типчакково-ковилових степів на темно-каштанових залишково-солонцюватих ґрунтах та чорноземах південних залишково-солонцюватих і подових лук. З геоморфологічного погляду округ являє собою морську акумулятивну терасову рівнину, його характерною ознакою є наявність численних подів різних розмірів. Один із таких подів охороняють у Біосферному заповіднику «Асканія-Нова» – це Великий Чапельський під. Загалом поди є депресіями та природними акумуляторами стоку, гідрогенні флуктуації та гетерогенність рельєфу яких визначає концентричне просторове розташування рослинних угруповань [9]. Площа території Великого Чапельського поду становить 2324 га, а площа його водозбірної басейну – понад 26 тис. га, площа днища досягає 1000 га. На днищі поду поширені глейсолоді, а на схилах – темно-каштанові слабкосолонцюваті або лугово-каштанові осолоділо-глеєві ґрунти [1]. Для поду характерні періодичні паводкові затоплення (літньо-осінні

та зимово-весняні), причому останні трапляються набагато частіше. За останніми даними [7], паводкові затоплення Великого Чапельського поду трапляються через кожних 7 років. Останнє затоплення відбулося у лютому 2010 р. В результаті досліджень В. В. Шаповала та С. С. Звєгінцова [7] було встановлено, що станом на 20 лютого 2010 р. на території поду було накопичено 4,13 млн м<sup>3</sup> талої води. Автори зазначають, що її запасів вистачило б на покриття витрат води великими господарствами території Біосферного заповідника при сезонному зрошенні сільгоспкультур. Отже, гідрогенні флуктуації спричинюють значний вплив на ґрунтові умови, флору та фауну поду. Також на території Великого Чапельського поду випасають копитних тварин зоопарку «Асканія-Нова».

Рослинність на цій території вивчали багато дослідників [2; 4; 6; 10]. Також здійснювали дослідження фітомаси [8; 11], проводили фенологічні спостереження за судинними рослинами, вивчали популяційну структуру щільнодернинних видів злаків.

Нині завдяки дистанційним методам дослідження з'явилися нові шляхи для детальнішого вивчення динамічних процесів, що відбуваються в екосистемах. Одним з таких напрямів є вивчення та аналіз часових рядів показника NDVI [12–14].

Тому з метою виявлення трендів та особливостей сезонної циклічності різних типів рослинності Великого Чапельського поду в цій роботі проаналізовано часові ряди показника NDVI за період 2010–2015 рр.

### Об'єкти та методи досліджень

У роботі проаналізовано часові ряди показника NDVI за 2010–2015 рр. для рослинності Великого Чапельського поду за допомогою методу головних компонент. Метод головних компонент (МГК) використовують для статистичного аналізу з метою зменшення розмірності простору досліджуваних процесів [16]. Головні компоненти отримують як лінійну комбінацію змінних із набору даних, що вивчаються. Також основною властивістю отриманих головних компонент є те, що вони взаємно не корелюють. Кожна компонента містить нову інформацію про набір даних, а перші кілька компонент у більшості випадків відображають вичерпну інформацію про властивості більшості даних. Таким чином, використання методу головних компонент дає змогу, з одного боку, здійснити «стискування» даних, а з іншого – зменшити рівень «шуму» у заданих параметрах [5].

Процедуру обробки часового ряду методом головних компонент наведено за В. М. Єфімовим та співавторами (1988). Нехай є послідовність  $y, y_{T-1}, \dots, y_1$  спостережень деякого показника  $y$  у рівновіддалені моменти часу  $T, T-1, \dots, 1$ . Оберемо у якості багатовимірної характеристики стану процесу в момент часу  $t$  ( $T \geq t \geq K$ ) вектор  $y_t, y_{t-1}, \dots, y_{t-K}$ , який іменованій передісторією процесу за час  $K$ . Параметр  $K$  називають лагом (запізнюванням). Зведемо отримані вектори в матрицю (табл. 1), що має  $T - K$  рядків (об'єктів) і  $K + 1$  стовпець (ознака).

Таблиця 1. Зведена матриця векторів

	0	1	2	...	$K$
$K + 1$	$y_{+1}$	$y$	$y_{-1}$	...	$y_1$
$K + 2$	$y_{+2}$	$y_{+1}$	$y_{+1}$	...	$y_2$
...	...	...	...	...	...
$T - 1$	$y_{-1}$	$y_{-2}$	$y_{-2}$	...	$y_{T-K-1}$
$T$	$y$	$y_{-1}$	$y_{-1}$	...	$y_{T-K}$

Обробка отриманої матриці методом головних компонент приводить до появи нової матриці тих самих розмірів. Нові ознаки (компоненти) є лінійними комбінаціями старих і не корелюють між собою. Перша компонента має максимально можливу із всіх лінійних комбінацій дисперсію,

друга – максимально можливу із всіх лінійних комбінацій, ортогональних до першої, і т. д. Власні числа лі автокореляційної матриці (дисперсії компонент) зазвичай використовують як показники ваги тієї або тієї компоненти в досліджуваному процесі. Одержані компоненти своєю чергою є новими часовими рядами, які можна досліджувати аналітично засобами спектрального або дискримінантного аналізів. При застосуванні методу головних компонент для обробки часових рядів необхідно задати довжину лага  $K$ . Найкращі результати досягаються при виборі лага на одиницю меншого, ніж період коливань, якщо такий існує та чітко виражений.

Статистичну обробку матеріалу здійснено за допомогою програми Statistica 10.0. В цій роботі значення NDVI за 2010–2015 рр. отримані зі знімків Modis з інтервалом в 16 днів та опрацьовані у програмі ArcMap 10. В результаті опрацювання знімків на території Великого Чапельського поду чітко виділяються: 1) днище поду з лучною рослинністю; 2) схили поду з перехідною лугово-степовою та степово-луговою; 3) верхні частини схилів із переважанням степової рослинності.

### Результати та обговорення

Результати аналізу головних компонент матриці, одержаної на основі даних за динамікою показника NDVI, наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Власні числа головних компонент та пояснена ними дисперсія

№ пор.	Власне число	% загальної дисперсії	Кумулятивне власне число	Кумулятивна дисперсія, %	Переважаючий період, діб
1. Днище поду					
1	4,63	21,05	4,63	21,05	173
2	4,54	20,62	9,17	41,67	173
3	2,49	11,30	11,65	52,97	346
4	1,75	7,95	13,40	60,92	346
5	1,41	6,39	14,81	67,31	115
6	1,37	6,23	16,18	73,55	115
7	0,95	4,32	17,13	77,86	86,4; 81,6
8	0,91	4,13	18,04	81,99	81,6; 86,4
2. Схили поду					
1	4,12	18,72	4,12	18,72	173
2	4,00	18,19	8,12	36,91	173
3	2,60	11,80	10,72	48,71	346
4	2,14	9,72	12,85	58,43	346
5	1,56	7,11	14,42	65,54	115
6	1,53	6,93	15,94	72,47	115
7	0,93	4,21	16,87	76,69	69; 78
8	0,89	4,03	17,76	80,72	66; 78

Продовження табл. 2

№ пор.	Власне число	% загальної дисперсії	Кумулятивне власне число	Кумулятивна дисперсія, %	Переважаючий період, діб
3. Верхня частина схилів					
1	3,73	16,97	3,73	16,97	173
2	3,62	16,44	7,35	33,40	173
3	1,90	8,65	9,25	42,05	115
4	1,88	8,55	11,13	50,60	115
5	1,58	7,19	12,71	57,78	346
6	1,47	6,67	14,18	64,45	346
7	1,09	4,97	15,27	69,42	864
8	1,04	4,74	16,32	74,17	78; 81,6

Одержані результати свідчать про те, що перші вісім головних компонент трьох варіантів досліджу, власні числа яких перевищують одиницю, описують 81,99 %, 80,72 % та 74,17 % загальної дисперсії показника NDVI. На прикладі рослинності днища поду відображені графічні результати дослідження: 1) динаміка пари головних компонент (рис. 1); 2) періодограми головних компонент PC1–PC8 (рис. 2); 3) траєкторії

індексу NDVI у просторі головних компонент (рис. 3).

Головні компоненти 1 та 2 для рослинності за всіма варіантами дослідження відбивають наявність у динаміці вегетаційного індексу коливального процесу з періодом 173 доби, який найбільш наближений до піврічного циклу. Піврічну динаміку мають процеси зростання фітомаси навесні після зимового спокою та восени після літнього спокою. Тобто це свідчить про те, що стан рослинного покриву навесні та восени протягом одного року пов'язаний, внаслідок чого і виникає ця компонента циклічності. Також ця динаміка імовірно може бути пов'язаною з періодичністю перебування основного стада копитних тварин у поду, оскільки більшість тварин зоопарку майже 6 місяців (з листопада по квітень) утримуються у спеціальних приміщеннях. Для визначення коливальних властивостей головних компонент за допомогою спектрального аналізу Фур'є були побудовані їхні періодограми (рис. 2).

Слід зазначити, що коливальні процеси мають чіткий нелінійний характер варіювання, тоді як аналіз головних компонент належить до

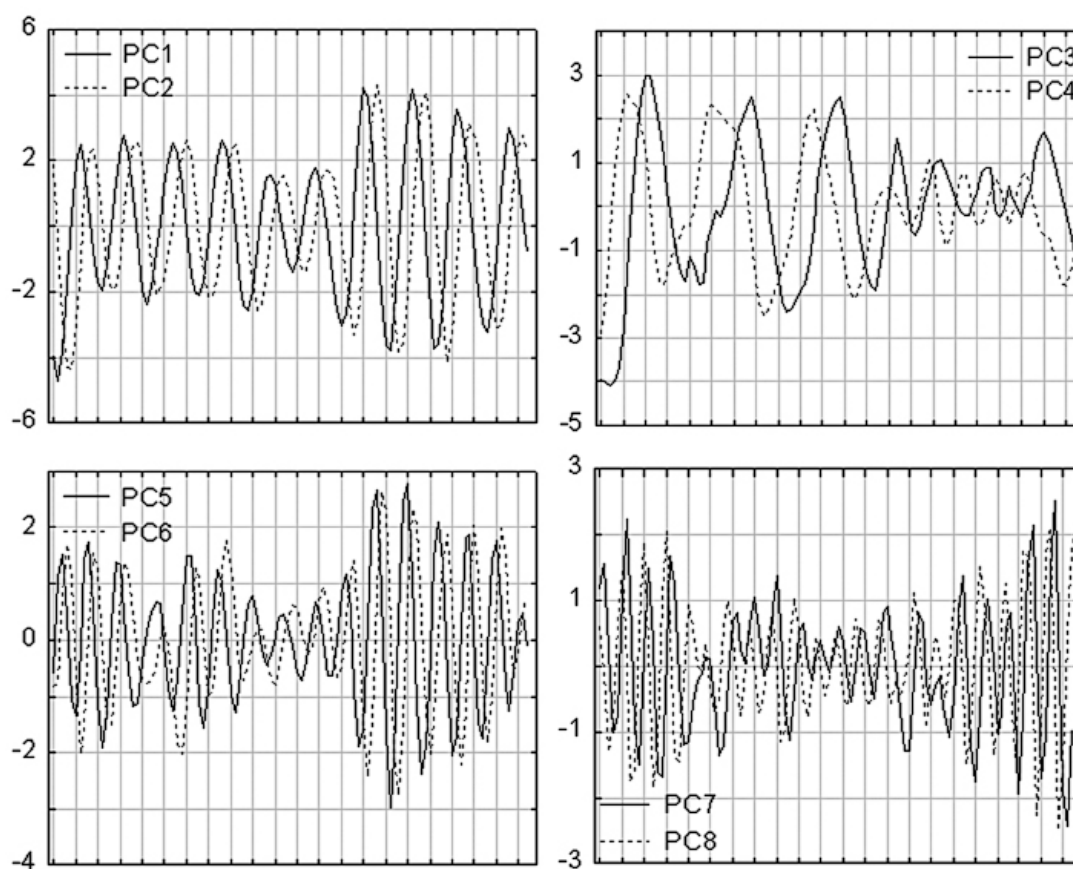
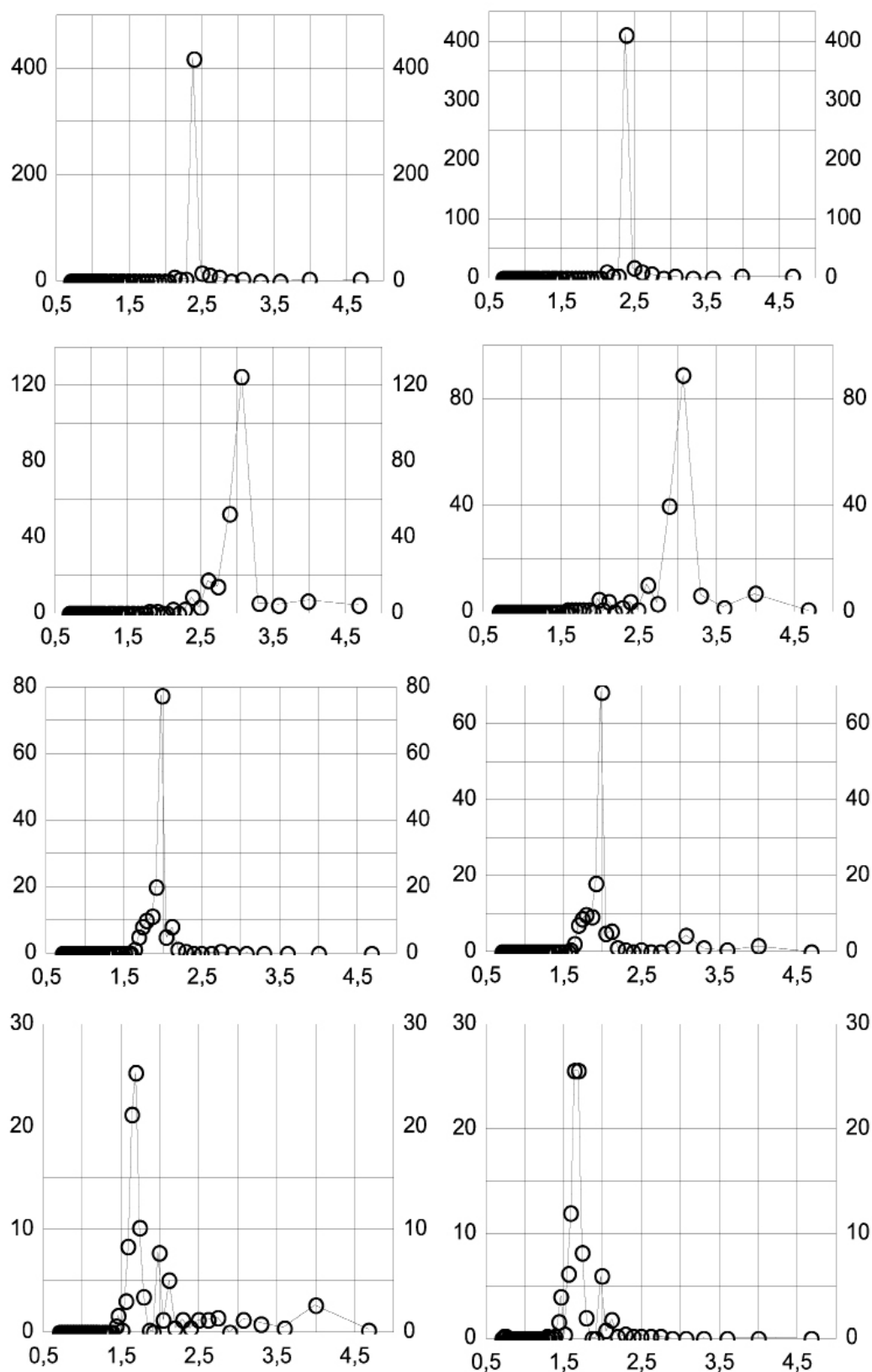


Рис. 1. Динаміка головних компонент за період 2010–2015 рр. (лаг – 16 діб, початок – 1 січня 2010 р.) показника NDVI рослинності днища Великого Чапельського поду



**Рис. 2.** Періодограми головних компонент PC1–PC8 показника NDVI для рослинності днища поду.  
Вісь абсцис – логарифм періоду; вісь ординат – значення періодограми

статистичних процедур, які здатні працювати саме з лінійними зв'язками. При обробці нелінійних даних за допомогою аналізу головних компонент має місце «ефект підкови», за якого однорідний градієнт розбивається на кілька складових, тобто один тренд відображається не однією головною компонентою, а двома або більше. Унаслідок цього ефекту кожні дві головні компоненти характеризуються подібними спектральними властивостями, що вказує на те, що вони відбивають один коливальний процес.

Головні компоненти 3 і 4 відбивають наявність у динаміці вегетаційного індексу рослинності днища та схилів поду двох коливальних процесів з однаковим періодом у 346 діб. Проте для степової рослинності верхньої частини схилів цей період відбивають головні компоненти 5 і 6. Можна припустити, що при збільшенні періоду досліджень період наближався би до річного циклу. Таким чином, відмінності періоду коливальності вегетаційного індексу від 365 діб зумовлено нечіткою відповідністю біологічного циклу астрономічній циклічності за період досліджень. Головні компоненти 3 і 4 можна інтерпретувати як такі, що характеризують загальний тренд мінливості фітомаси впродовж року.

Головні компоненти 5 і 6 відбивають наявність у динаміці вегетаційного індексу інтразональної рослинності днища та схилів поду

декількох коливальних процесів із періодом 115 діб. Однак цей період для зональної рослинності верхньої частини схилів описується головними компонентами 3 і 4. Якщо формування циклічної динаміки з періодичністю рік або півроку можна віднести до впливів зовнішньої сезонної циклічності (теплий/холодний період року, зимова/літня паузи в активній вегетації), то коливальні процеси менших періодів найбільшою мірою можна зумовити взаємним впливом компонентів рослинного покриву як результат механізмів зворотного негативного контролю. На швидкість накопичення фітомаси впливають абіотичні фактори, такі як світло і температура, та біотичні фактори, як-от стратегії життєвого циклу домінуючих видів рослин та інтенсивність тиску фітофагів. Також для автотрофів відомий вплив самозатіннення, яке зменшує відношення продукції до біомаси (відношення P/B) за значного зростання фітомаси, що формує негативну залежність від щільності [15]. Таким чином, варіювання вегетаційного індексу, яке відображається головними компонентами 5 та 6, можна віднести до результатів механізмів самоконтролю рослинного покриву та сукупного впливу фітофагів.

Траєкторії індексу NDVI у просторі головних компонент чітко відбивають наявність квазіперіодичних процесів у варіюванні вегетаційного індексу рослинності днища поду (рис. 3).

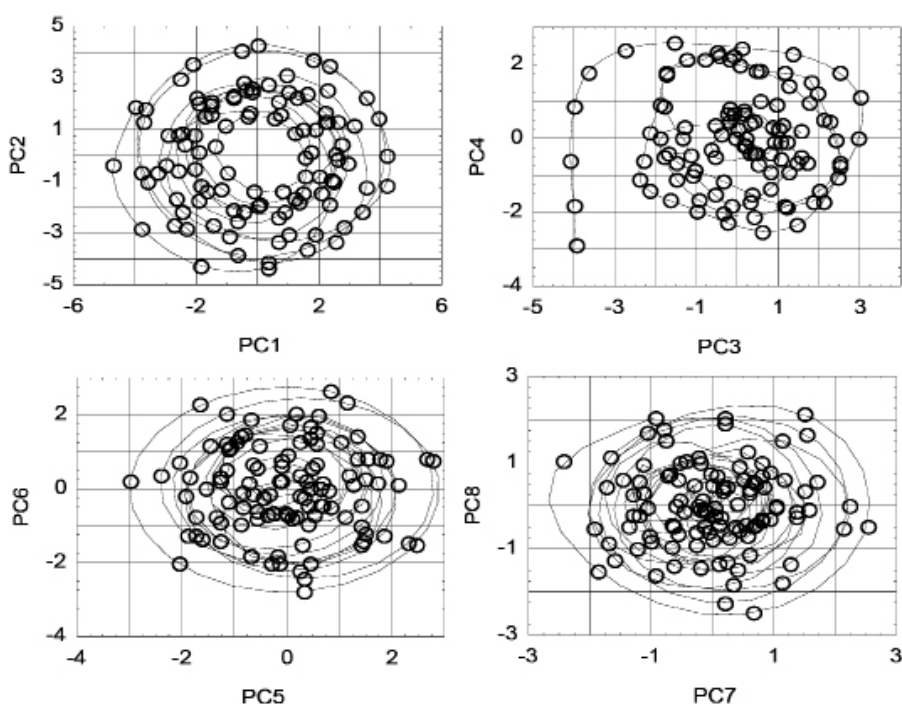


Рис. 3. Траєкторії індексу NDVI рослинності днища поду у просторі головних компонент 1–8

Головні компоненти 7 і 8 для всіх варіантів рослинності відбивають наявність у динаміці вегетаційного індексу коливальні процеси з різними періодами: 1) у першому варіанті 86,4 і 81,6 діб; 2) у другому – 66, 69 і 78 діб; 3) у третьому – 86,4, 78 і 81,6 діб. Серед визначених періодів, які загалом описують тримісячну динаміку (86,4; 81,6; 66; 69; 78), чітко вирізняється коливальний процес з періодом у 864 доби, який наближається до 2,3 року. Цей процес може описувати екзогенні абіотичні впливи на рослинність. Важливо зазначити, що для коливальної динаміки, яку відображають головні компоненти 7 і 8, для всіх варіантів досліджуваного характерні періоди значного збільшення амплітуди коливань, які змінюються періодами зменшення амплітуди коливань. Таким чином, ми маємо складний коливальний процес, у якому на фоні певної періодичності відбувається також періодична зміна його амплітуди, тобто ролі у загальній варіабельності вегетаційного

індексу. Можна висунути гіпотезу, що головні компоненти 7 і 8 відбивають сезонний розвиток різних груп рослин (однорічне та багаторічне різнотрав'я).

### Висновки

Отже, в результаті аналізу часових рядів показника NDVI рослинності Великого Чапельського поду було встановлено, що переважаючим та спільним для лучної та степової рослинності поду є період у 173 доби, який наближений до піврічного циклу. Також було виявлено, що головні компоненти для лучної рослинності днища поду та його схилів відображали майже однакові коливальні періоди, натомість для зональної (степової) рослинності вони були іншими, що пояснюється різним біоморфологічним складом цих угруповань і, відповідно, різною реакцією на вплив зовнішніх умов (випасання, зміна гідрогенного режиму).

### Список літератури

1. Бабич А. Д. Степной оазис Аскания-Нова. Характеристика природных условий района / А. Д. Бабич. – Х. : Изд-во Харьк. гос. ун-та, 1960. – 203 с.
2. Веденьков Е. П. Специфика растительности Большого Чапельского пода / Е. П. Веденьков // Вісті Біосферного заповідника «Асканія-Нова». – 1998. – Т. 1. – С. 20–25.
3. Геоботаничне районування Української РСР / [під ред. А. І. Барбарич]. – К. : Наук. думка, 1977. – С. 304.
4. Дрогобыч Н. Е. Экологические флюктуации асканийских биоценозов / Н. Е. Дрогобыч, И. К. Полищук // Мат. III международного симпозиума «Степи Северной Евразии. Эталонные степные ландшафты: проблемы охраны, экологической реставрации и использования». – Оренбург : Изд-во Оренбургского ун-та, 2003. – С. 187–190.
5. Примирин М. А. Применение метода главных компонент при обработке слабых магнитных сигналов / М. А. Примирин, И. В. Недаивода // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2014. – № 13. – С. 5–14.
6. Шалит М. С. Великий Чапельський під в Асканії-Нова та його рослинність року 1927–1928 / М. С. Шалит // Вісті державного степового заповідника «Чаплі». – 1930. – Т. VII. – С. 165–199.
7. Шаповал В. В. Еколого-гідрологічний нарис паводку 2010 р. у Великому Чапельському поді / В. В. Шаповал, С. С. Звєгінцов // Вісті Біосферного заповідника «Асканія-Нова». – 2010. – Т. 12. – С. 33–55.
8. Шаповал В. В. Матеріали до оцінки розподілу надземної фітомаси у корінних фітоценозах асканійського степу / В. В. Шаповал, О. П. Гофман // Наукові записки природного заповідника «Мис Мартьян», Вип. 4 : міжнар. наук. конф. «40 років природному заповіднику «Мис Мартьян», 14–17 травня 2013 р. : мат. – м. Ялта, 2013. – С. 157.
9. Шаповал В. В. Поди причорноморського степу: актуальний стан та проблеми охорони / В. В. Шаповал // Фальц-Фейнівські читання : зб. наук. праць. – Херсон : ПП Вишемирський, 2007. – С. 361–362.
10. Шаповал В. В. Флора та рослинність депресій Лівобережжя Нижнього Дніпра : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : спец. 03.00.05 «Ботаніка» / В. В. Шаповал. – Ялта, 2007. – 20 с.
11. Шаповал В. В. Матеріали фенологічного моніторингу за сучасною флорою Великого Чапельського поду у постгідрогенний період 2010 р. / В. В. Шаповал, О. П. Гофман // Тези доп. III-го відкритого з'їзду фітобіологів Херсонщини (Херсон, 20 травня 2010 р.). – Херсон : Айлант, 2010. – С. 36–37.
12. Geerken R. Classifying rangeland vegetation type and coverage from NDVI time series using Fourier Filtered Cycle Similarity // R. Geerken, B. Zaitchik, J. P. Evans // International Journal of remote sensing. – 2005. – Vol. 26 (20). – P. 5535–5554.
13. Martinez B. Vegetation dynamics from NDVI time series analysis using the wavelet transform / B. Martinez, M. A. Gilbert // Remote sensing of environment. – 2009. – No. 113. – P. 1823–1842.
14. Quarshie G. K. Fast Fourier transform (FFT) analysis on NDVI time series for assesment of vegetation patterns in Ghana / G. K. Quarshie, E. M. Osei Jnr, B. K. Prah, A. S. Amoah // International Journal of Remote Sensing & Geoscience (IJRSG). – 2015. – Vol. 4 (1). – P. 47–51.
15. Rocha M. R. Variability patterns differ between standing stock and process rates / M. R. Rocha, D. A. Vasseur, M. Hayn, M. Holschneider, U. Gaedke // Oikos. – 2011. – No. 120. – P. 17–25.
16. Tabachnik B. G. Using multivariate statistics / B. G. Tabachnik, L. S. Fidell. – HarperCollins College Publishers, 1996. – 880 p.

*O. Zhukov, O. Gofman*

## ANALYSIS OF TIME SERIES NDVI FOR VEGETATION OF VELYKYI CHAPELSKYI PID FOR 2010–2015

*The time series NDVI index for different types of vegetation of the hearth of Velykyi Chapelskyi Pid of the Reserve of "Askania-Nova" Biosphere are presented in this paper. The data for 2010–2015 were analyzed. The area of Velykyi Chapelskyi Pid is 2,324 ha, and the area of its drainage basin is more than*

26 thousand hectares. The area of the bottom reaches 1,000 hectares. The gley soils (solod soils) are typical for the bottom of the hearth, and dark-chestnut or leached meadow gley soils are typical for the slopes. This area is characterized by recurrent floods (summer-autumn and winter-spring), and the latest ones have happened much more frequently. Flood inundations of Velykyi Chapelskyi Pid happen every 7 years. The latest flood occurred in February 2010. Another important factor that impacts Velykyi Chapelskyi Pid vegetation is grazing by ungulates, which are dependents at the "Askania Nova" zoo. The method of principal components was used for the investigation. The numbers of the main components are obtained for the detailed clusters. The time series of NDVI vegetation index analysis of Velykyi Chapelskyi Pid showed that dominant and common both for the meadow and steppe vegetation is a period of 173 days, which is close to a six-month cycle. It was also found out that the main components of meadow vegetation of the hearth bottom and its slopes reflected almost identical oscillatory periods, while for zonal (steppe) vegetation these periods were different because of the different biomorphological composition of these groups, and therefore different response to the impact of external conditions (grazing and changes in the hydrogenous mode). This research confirmed the feasibility of using remote sensing research methods for a more detailed study of dynamic processes occurring in ecosystems. One of these areas is the study and analysis of time series of NDVI index.

**Keywords:** Biosphere Reserve "Askania-Nova", grasslands, NDVI index, grazing, hydrogenous mode, recurrent flooding.

Матеріал надійшов 15.03.2016

УДК 58.056+581.55

Вишенська І. Г., Жовтенко А. А., Добра І. С.

## ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ НА АКУМУЛЯЦІЮ ВУГЛЕЦЮ В КОМПОНЕНТАХ ЛІСОВОЇ ПІДСТИЛКИ ДУБОВОГО ФІТОЦЕНОЗУ

У трирічному дослідженні лісової підстилки та трав'янистого ярусу дубового фітоценозу було оцінено вміст вуглецю в складових підстилки та його річну динаміку. Виявлено вплив кліматичних чинників на запас вуглецю в окремих компонентах лісової підстилки. Кореляційний аналіз засвідчив зв'язок кількості депонованого вуглецю від температурного режиму та кількості атмосферних опадів у період, що передував проведенню вимірам. Результати дослідження підтвердили значний вплив змін температури та кількості атмосферних опадів на вміст органічного вуглецю в лісовій підстилці.

**Ключові слова:** лісова підстилка, органічний вуглець, кліматичні фактори, дубовий фітоценоз.

### Вступ

Запас вуглецю в лісовій підстилці відображає баланс процесів накопичення органічної речовини за рахунок надходження опаду та його деградації й переходу решток органічних та мінеральних речовин до складу ґрунту. Своєю чергою дослідження розподілу запасу за компонентами підстилки, який є специфічним для кожного типу

лісу, дає змогу оцінити функціональний стан лісової екосистеми й краще зрозуміти динаміку розкладання підстилки.

На часі стоїть розробка нових методів моніторингу лісових екосистем України на основі дослідження стану особливого біогеоценотичного компоненту – лісової підстилки в умовах зростаючих темпів глобальної зміни клімату. Важливою складовою такого моніторингу повинна стати оцінка